



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Maíra Araújo de Mendonça Lima

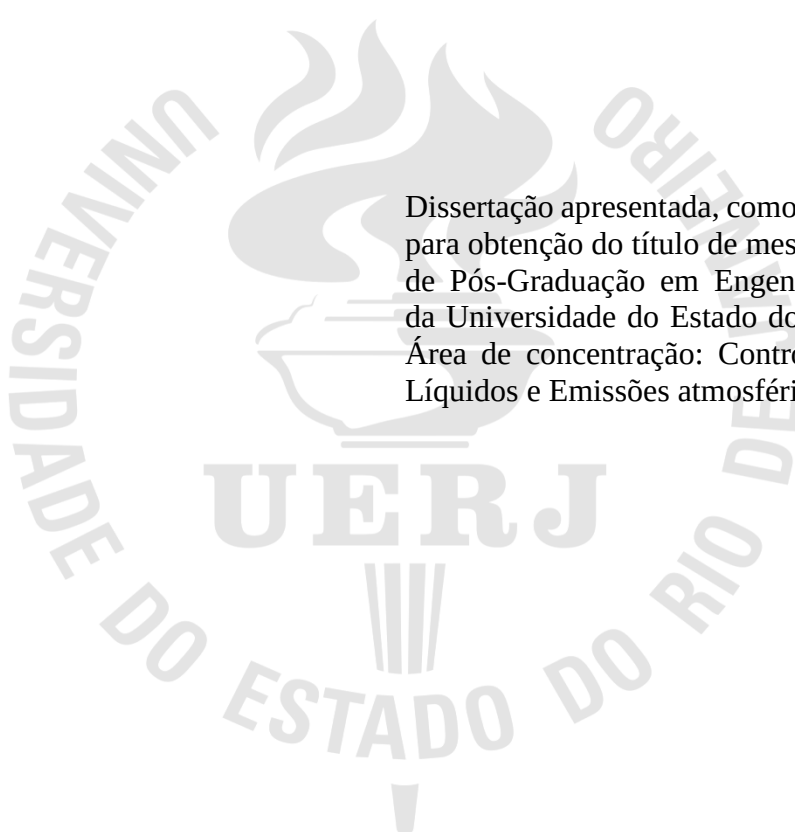
**Avaliação do potencial de reúso de água para irrigação e do risco de
contaminação microbiológica em seres humanos**

Rio de Janeiro

2022

Maíra Araújo de Mendonça Lima

**Avaliação do potencial de reúso de água para irrigação e do risco de contaminação
microbiológica em seres humanos**



Dissertação apresentada, como requisito parcial
para obtenção do título de mestre, ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Área de concentração: Controle de Efluentes
Líquidos e Emissões atmosféricas.

Orientador: Prof.^a Dr.^a. Ana Silvia Pereira Santos

Coorientador: Prof. Dr. José Manuel Pereira Vieira

Rio de Janeiro

2022

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

L732 Lima, Maíra Araújo de Mendonça.
Avaliação do potencial de reuso de água para irrigação e do risco de contaminação microbiológica em seres humanos / Maíra Araújo de Mendonça Lima. – 2022.
234f.

Orientadora: Ana Silvia Pereira Santos.
Coorientador: José Manuel Pereira Vieira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Água - Reuso - Teses. 3. Água de irrigação - Teses. 4. Contaminação microbiana - Teses. 5. Controle de qualidade da água - Teses. I. Santos, Ana Silvia Pereira. II. Vieira, José Manuel Pereira. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628+502

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.



Assinatura

19 / 12 / 2022

Data

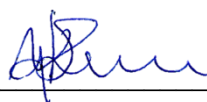
Maíra Araújo de Mendonça Lima

**Avaliação do potencial de reúso de água para irrigação e do risco de contaminação
microbiológica em seres humanos**

Dissertação apresentada, como requisito parcial
para obtenção do título de mestre, ao Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
Área de concentração: Controle de Efluentes
Líquidos e Emissões atmosféricas.

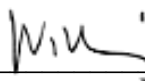
Aprovada em 19 de dezembro de 2022.

Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a. Ana Silvia Pereira Santos. (Orientadora)

Faculdade de Engenharia – UERJ



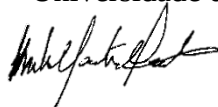
Prof. Dr. José Manuel Pereira Vieira. (Coorientador)

Faculdade de Engenharia – Universidade do Minho



Prof.^a Dr.^a. Maria Manuela Lima.

Faculdade de Engenharia – Universidade do Minho



Prof. Dr. Eduardo Monteiro Martins.

Faculdade de Tecnologia – UERJ - Resende

Rio de Janeiro

2022

DEDICATÓRIA

À Deus, que em toda a sua complexidade, porém com amor fraterno, é o alicerce de minha existência.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de poder estudar, pela renovação de força e energia a cada dia e por seu amor que sobrepuja os demais.

Ao Daniel pelo compartilhamento diário da vida, pela paciência, por ser um bom amigo e um grande incentivador. Saiba que a vida é bem melhor ao seu lado.

À Ana Paula e a Luisa pelo compartilhamento de vida após a graduação, pelas conversas e apoio durante toda a trajetória do mestrado.

À Camis e Dea pela amizade leve, pelas conversas sérias, como também pelo tempo descontraído e risadas. E, claro, pelas conversas, pelas comidas, pelas músicas (principalmente a do mamão na cabeça) e pelas danças.

Aos amigos que o Inea me proporcionou, pelo apoio, pelo incentivo, pelas cobranças e torcida para finalização dessa etapa. Minha eterna gratidão por tornar os dias de trabalho mais leves, por cada conversa e pelo carinho.

Aos amigos da vida, irmãos de caminhada, de luta e de resistência de dias melhores.

Aos amigos do mestrado, aos ranços criados, as conversas e figurinhas trocadas. Torço muito pela trajetória de cada um. Contem comigo!

À UERJ, que é a minha segunda casa desde 2014, local que amo, respeito, defendendo e defenderei sempre. Ainda espero retribuir todo o conhecimento que acumulei desde a graduação.

Aos professores José Vieira, Manuela e Eduardo pelo compartilhamento do conhecimento e pela disponibilidade. É um imenso prazer contar com vocês nessa etapa.

À professora Ana Silvia, por me aturar todos os dias, pelos conselhos de vida profissional e pessoal, por sonhar os mesmos sonhos e por ser família. Muito obrigada por escolher me acolher todos os dias. Espero que saiba que agora é para sempre, amo você.

If there is magic on the planet, it is contained in water.

*Loren Eiseley, *The Immense Journey*, 1957.*

RESUMO

LIMA, Maíra Araújo de Mendonça. *Avaliação do potencial de reúso de água para irrigação e do risco de contaminação microbiológica em seres humanos*. 2022. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

O presente trabalho realizou a discussão referente a avaliação do potencial de reúso de água para irrigação e do risco de contaminação microbiológica em seres humanos. Para o desenvolvimento do potencial de reúso pode-se concluir que o planejamento é indispensável para o êxito dos projetos de infraestrutura urbana e rural voltados para as ações de saneamento e recursos hídricos, onde os estudos de avaliação de potencial de reúso de água estão inseridos. Na aplicação do potencial de reúso, foi realizado o levantamento de vazão de todas as ETEs no Brasil e as demandas para irrigação para as 12 Regiões Hidrográficas Brasileiras. Assim, observou-se que a vazão total de esgoto gerada no Brasil, a partir de efluente secundário, representa 9% do total da demanda hídrica de irrigação no país ($1.078,71 \text{ m}^3/\text{s}$) e que somente 7% da vazão tratada no Brasil passam por etapa de desinfecção. A Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM) foi dividida em quatro etapas: 1) Definição dos Perigos; 2) Identificação das vias de exposição para diferentes receptores; 3) Cenarização da exposição; 4) Estimativa do Risco. Em seguida, a ASqRM foi aplicada a 3 diferentes casos, sendo o primeiro de modo fictício por meio de irrigação localizada, com sistema de gotejamento, para cultura comestível, de consumo preferencialmente cru, e sem casca; o segundo foi aplicada a metodologia para o tipo de cultura de café, irrigado por gotejamento e cultura de grãos com irrigação por pivôs centrais; e o terceiro foi para a rizicultura em dois cenários, no qual o primeiro considera o efluente a ser desinfetado (Perigo 7), e o segundo considera a realidade das condições de tratamento de esgoto no Brasil (Perigo 9). Assim, observou-se que o reúso de água pode ser aplicado em diferentes tipos de culturas e métodos de irrigação, obtendo Risco global aceitável, para os receptores envolvidos (agricultor, consumidor e vizinhança). No entanto, destaca-se a relevância da desinfecção para minimizar o risco em qualquer aplicação do reúso de água, como também é necessário planejar os avanços dos índices de atendimento com tratamento de esgotos, considerando a possibilidade técnica, econômica e logística de atendimento à irrigação das culturas mais apropriadas, com a água para reúso.

Palavras-chave: Potencial de reúso. Água para reúso. Avaliação semiquantitativa. Irrigação. Risco microbiológico.

ABSTRACT

LIMA, Maíra Araújo de Mendonça. *Evaluation of the potential of water reuse for irrigation and the risk of microbiological contamination in human beings*. 2022. 234 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

The current paper presents a discussion the evaluation of the potential of water reuse for irrigation and the risk of microbiological contamination in human beings. For the development of the reuse potential, it can be concluded that planning is essential for the success of urban and rural infrastructure projects focused on sanitation and water resources, where the evaluation studies of water reuse potential are inserted. In the application of reuse potential, a survey of the flow of all WWTPs in Brazil and the demands for irrigation for the 12 Brazilian Hydrographic Regions was carried out. Thus, it was observed that the total flow of sewage generated in Brazil, from secondary effluent, represents 9% of the total water demand for irrigation in the country (1,078.71 m³/s) and that only 7% of the flow treated in Brazil is going through a disinfection stage. The Microbiological Risk Assessment (SqMRA) was divided into four stages: 1) Identification of Hazards; 2) Identification of exposure routes for different receptors; 3) Exposure Scenarization; 4) Risk characterization. Next, SqMRA was applied to 3 different cases, the first being virtual through localized irrigation, with a drip system, for edible culture, preferably raw, and without bark; the second applied the methodology for the type of coffee crop, drip irrigated and grain crop with center pivot irrigation; and the third was for rice farming in two scenarios, in which the first considers the effluent to be disinfected (Hazard 7), and the second considers the reality of sewage treatment conditions in Brazil (Hazard 9). Thus, it was observed that water reuse can be applied to different types of crops and irrigation methods, obtaining an acceptable global risk for the receptors involved (farmer, consumer and neighborhood). However, the relevance of disinfection to minimize the risk in any application of water reuse is highlighted, as it is also necessary to plan the advances in the rates of service with sewage treatment, considering the technical, economic and logistical possibility of irrigation service of the most appropriate crops, with water reuse.

Keywords: Reuse potential. Water reuse. Semi-quantitative evaluation. Irrigation. Microbiological risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da evolução da regulamentação do reúso de água no mundo	24
Figura 2 - Fluxograma com os principais desafios distribuídos entre o projeto piloto e os atores envolvidos na capacitação continuada.....	34
Figura 3 - Correlação dos TTC desenvolvidos com as Etapas 1 e 2 da metodologia e, consequentemente, com o Objetivo geral e os objetivos específicos	42
Figura 4 - Fluxograma dos principais passos da realização de estudos de PotReuso	43
Figura 5 - Fluxograma geral da metodologia de potencialidades regionais para a prática de reúso de água.....	45
Figura 6 - Distribuição das Regiões Hidrográficas Brasileiras e representação das Unidades Federativas.....	48
Figura 7 - Fluxograma de aplicação da metodologia ASqRM	49
Figura 8 - Matriz de determinação do Dano parcial de acordo com as barreiras	55
Figura 9 - Fluxograma da metodologia da pesquisa envolvendo os trabalhos técnico-científicos distribuídos em duas partes.....	60
Figura 10 - Fluxograma detalhado do desenvolvimento de PotReuso	63
Figura 11 - Representação gráfica e em desenho esquemático das vazões correspondentes às demandas hídricas de irrigação para as doze Regiões Hidrográficas	66
Figura 12 - Representação gráfica e esquemática das vazões correspondentes às demandas hídricas para irrigação e das vazões efluentes de ETEs para cada Região Hidrográfica Brasileira, distribuídas nas três categorias de estudo, além da soma entre as vazões das Categorias 01 e 02	69
Figura 13 - Fluxograma detalhado da metodologia ASqRM	73
Figura 14 - Demanda de irrigação, vazões de água para reúso nas categorias pré-definidas, cultura e o método de irrigação predominante para as RH de elevado potencial para a prática de reúso	77

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Trabalhos técnicos-científicos elaborados no âmbito desta dissertação para o desenvolvimento do estudo de potencial regional e risco de contaminação microbiológica em seres humanos em aplicações do reúso de água	16
Quadro 2 - Principais variáveis relacionadas à delimitação da área de estudo	44
Quadro 3 - Equações adotadas no cálculo da Vulnerabilidade	53
Quadro 4 - Equações adotadas na estimativa do Dano.....	55
Quadro 5 - Equações adotadas na estimativa do Risco	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões e aspectos mais relevantes apresentados nos documentos reguladores no Brasil.....	27
Tabela 2 - Classificação do Perigo baseada na opção de tratamento de efluente e consequente qualidade microbiológica	50
Tabela 3 - Fator de importância aplicável à cada cenário de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$) e às vias de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$).....	52
Tabela 4 - Barreiras e número de barreiras equivalentes associadas à redução de organismos patogênicos para irrigação de culturas alimentícias com a ApR.....	54
Tabela 5 - Níveis de Risco Global na escala quantitativa e qualitativa.....	56
Tabela 6 - Características adotadas para a aplicação da ASqRM no Caso 1.....	57
Tabela 7 - Características adotadas para a aplicação da ASqRM no Caso 2.....	58
Tabela 8 - Características adotadas para a aplicação da ASqRM no Caso 3.....	59
Tabela 9 - Distribuição das vazões de efluentes de ETE nas doze Regiões Hidrográficas Brasileiras, e nas três categorias definidas para o estudo em relação à qualidade	64
Tabela 10 - Distribuição das demandas hídricas para irrigação e das vazões de efluentes de ETE nas doze Regiões Hidrográficas Brasileiras, e nas duas principais categorias (01 e 02) definidas para o estudo em relação à qualidade do efluente	68
Tabela 11 - Características gerais do Caso 1 (Etapas 1 e 2).....	74
Tabela 12 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 1.....	75
Tabela 13 - Características gerais do Caso 2 - Grupo 1 (Etapas 1 e 2)	78
Tabela 14 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 2 - Grupo 1	79
Tabela 15 - Características gerais do Caso 2 - Grupo 2 (Etapas 1 e 2)	80
Tabela 16 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 2 - Grupo 2	81
Tabela 17 - Características gerais da Situação 1 - Caso 3 (Etapas 1 e 2).....	83
Tabela 18 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 3 - Situação 1.....	84
Tabela 19 - Características gerais da Situação 2 - Caso 3 (Etapas 1 e 2).....	86
Tabela 20 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 3 - Situação 2.....	87

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ApR	Água para reúso
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS 6	Objetivo do Desenvolvimento Sustentável nº 6
OMS	Organização Mundial de Saúde
AQRM	Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico
TTC	Trabalhos Técnico-Científicos
CEDAE	Companhia de Água e Esgotos do Rio de Janeiro
COMLURB	Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro
QMRA	Quantitative Microbiological Risk Assessment
ASqRM	Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
ISO	International Organization for Standardization
ETE	Estações de Tratamento de Esgotos
PNEA	Política Nacional de Educação Ambiental
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
EPAR	Estações Produtoras de Água para Reúso
PotReuso	Potencial regional de reúso de água
ANA	Agência Nacional de Água e Saneamento Básico
E. coli	<i>Escherichia coli</i>
TR	Termo de Referência

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1. OBJETIVOS	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. Cenário nacional dos Recursos Hídricos	19
2.2. Reúso como fonte alternativa	20
2.3. Aspectos legais	22
2.4. Gestão dos riscos	29
2.5. Desafios	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1. Parte 1 - Desenvolvimento e aplicação da metodologia de avaliação de potencial (PotReuso)	43
3.1.1 Desenvolvimento da metodologia PotReuso	43
3.1.2 Aplicação da metodologia PotReuso	46
3.2. Parte 2 – Aprofundamento e aplicação da metodologia semiquantitativa de Avaliação de Risco Microbiológico (ASqRM)	48
3.2.1 Aprofundamento da metodologia ASqRM	48
3.2.2 Aplicação da metodologia ASqRM	56
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
4.1. PARTE 1 - Desenvolvimento e aplicação da metodologia PotReuso	60
4.1.1 Desenvolvimento PotReuso	60
4.1.2 Aplicação PotReuso	64
4.2. PARTE 2 – Aprofundamento e aplicação da metodologia ASqRM	72
4.2.1 Aprofundamento ASqRM	72
4.2.2 Aplicação ASqRM	74
5. CONCLUSÕES	90
REFERÊNCIAS	92
APÊNDICE	98

INTRODUÇÃO

Segundo a Water Europe (2020), um dos grandes desafios para a retomada da economia mundial após a pandemia da COVID-19 é o desenvolvimento de uma sociedade inteligente em termos de água (*Water Smart Society*) com o drástico aumento do reúso, do aproveitamento e da reciclagem da água de forma a oferecê-la de maneira segura, em quantidade e qualidade suficientes para os usos pretendidos. Melo, Santos e Vieira (2020) destacam a nova centralidade da água no contexto pós-pandemia e demonstram como a sociedade deve estar preparada para aumentar os índices de reúso de água de forma a fomentar o desenvolvimento socioeconômico de regiões desfavorecidas. Evidentemente, ações conjuntas relacionadas à minimização das perdas e desperdícios de água devem ser tomadas.

Devido ao acelerado crescimento populacional, a utilização dos recursos naturais descomedido atrelada às mudanças climáticas, os impactos relacionados à seca serão cada vez mais intensos e visíveis ao redor do mundo (SAPKOTA, 2019). No Brasil, em função da sua abundância de água e de diversos fatores, exerceu ao longo de anos um papel cultural de excesso e desperdício de água. Esse cenário histórico demanda, na atualidade, uma gestão eficiente, segura e responsável dos recursos hídricos de forma a garantir quantidade e qualidade de água para todos os usos pretendidos. Dessa forma, dois pontos merecem destaque no contexto da institucionalização da prática do reúso de água no Brasil.

O primeiro ponto é o desenvolvimento socioeconômico, onde o acesso restrito à água, particularmente em regiões menos desenvolvidas, pode dificultar consideravelmente o desenvolvimento. É importante destacar que, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a água é um direito humano fundamental (UNITED NATIONS, 2010) e está estabelecido através do Objetivo do Desenvolvimento Sustentável nº 6 (ODS 6), com a garantia da disponibilidade e da gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos (UNITED NATIONS, 2015). Nesse sentido, a introdução da água para reúso (ApR) na matriz hídrica regional ganha destaque e pode servir de impulsão para a produção de alimentos tanto para consumo próprio como para comercialização, no caso do reúso na agricultura, gerando movimentação econômica.

E, o segundo ponto são os conflitos pelo uso da água, pois conforme indicado por (MELO et al., 2020), os conflitos em bacias hidrográficas que já eclodem frequentemente no país, são caracterizados por tensões e disputas, em função dos diferentes usos, associados aos períodos de escassez, irregularidades de distribuição, aumento de demandas e a degradação do

meio ambiente. Nesse contexto, o reúso de água tem papel fundamental na minimização de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas.

Embora não haja dúvidas em relação aos benefícios do reúso de água, uma questão importante é a consolidação da prática no contexto jurídico-administrativos. No entanto, em termos de legislação, no âmbito federal, o Brasil ainda não possui um documento com padrões para a qualidade da água voltada para a prática de reúso. Porém, alguns estados apresentam documentos reguladores com padrões para diferentes finalidades, como é o caso do estado da Bahia, do Ceará, de São Paulo, do Rio Grande do Sul de Minas Gerais e do Distrito Federal (SANTOS et al., 2020).

Recentemente, em maio de 2022, o Distrito Federal também publicou suas orientações legais, para aplicações descentralizadas (ADASA, 2022). Neste cenário, é importante destacar a Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico, pois além de evidenciar a “produção de água para reúso” anteriormente ao “lançamento no meio ambiente” também aborda o reúso como tema de regulamentação (BRASIL, 2020; LIMA et al., 2021b).

Entretanto, ao analisar o percentual da população urbana que possui acesso ao esgotamento sanitário no Brasil apenas 62% possui coleta de esgotos e, desse volume coletado, somente cerca de 55% é tratado (ANA, 2022). Além dos baixos índices de coleta e tratamento de esgotos, é importante destacar a qualidade dos efluentes tratados. Segundo Lima et al. (2021a), até 2017, 30% da vazão total tratada no Brasil passavam somente por etapas primária ou primária avançada, garantindo desempenho médio de redução de matéria orgânica da ordem de 60%; e apenas 7% da vazão total tratada no Brasil passavam por etapa terciária de desinfecção.

A necessidade de elevar os índices de atendimento é eminente, como também de otimização das unidades existentes e em operação, para geração de efluentes de melhor qualidade de forma a minimizar a poluição de corpos hídricos, proteger a saúde pública e produzir ApR para as regiões mais afetadas pela seca. Alinhado a isso, de forma a garantir a conservação e o uso racional da água, é premente a necessidade de redução dos índices de perda nos sistemas de distribuição de água (SILVA JUNIOR et al., 2021).

A prática de reúso de água, por utilizar efluente tratado com consideráveis densidades de organismos patogênicos, envolve, naturalmente, o risco de contaminação microbiológica (BASTOS et al., 2008; ISO, 2020a). Essa contaminação pode ocorrer por vias de ingestão, adsorção dérmica ou inalação e, de acordo com o fim adotado no reúso de água, essas vias oferecem maiores ou menores riscos (WHO, 2016). Dessa forma, a avaliação do risco deve ser

necessariamente incluída como instrumento de viabilidade técnica dos empreendimentos de reúso (ISO, 2020a; REBELO; FRANCO, 2019). Apesar de a Organização Mundial de Saúde (OMS) propor a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), essa é de grande complexidade e indicada para água de abastecimento e reúso potável (VIEIRA, 2013; ZHITENEVA et al., 2020). No caso do Brasil, que ainda não apresentou significativos avanços em relação ao reúso potável, as metodologias mais simplificadas, como semiquantitativa (ISO, 2020a; REBELO; FRANCO, 2019) e qualitativa (REBELO; FRANCO, 2019) podem ser mais adequadas.

Diante do exposto, o presente trabalho aborda os principais fatores para a institucionalização do reúso de água no Brasil baseado no seu potencial regional e risco de contaminação microbiológica em seres humanos. Para tal, foram desenvolvidos nove Trabalhos Técnico-Científicos (TTC), todos publicados em revistas científicas e congressos científicos, envolvendo a totalidade dos aspectos envolvidos na condução do estudo. Os TTC mencionados estão apresentados nos Apêndices A ao Apêndice I desta dissertação e descritos no Quadro 1. Conforme pode-se observar, os três primeiros (TTC 01, 02 e 03) estão relacionados à “revisão bibliográfica” da presente dissertação. Para o desenvolvimento científico do estudo, os TTC 04, 05 e 06 foram utilizados para o desenvolvimento da metodologia de potencial; os demais, para a aplicação da metodologia

Quadro 1 - Trabalhos técnicos-científicos elaborados no âmbito desta dissertação para o desenvolvimento do estudo de potencial regional e risco de contaminação microbiológica em seres humanos em aplicações do reúso de água

Trabalhos Técnicos-científicos					
Sigla	Título	Publicação	Ano	Autores	Estrutura
TTC 01	Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil	Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental	2022	Ana Silvia Pereira Santos, Maíra Araújo de Mendonça Lima	Revisão Bibliográfica
TTC 02	Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 01 - Terminologia e conceitos de base	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	2021	Ana Sílvia Pereira Santos, Maíra Araújo de Mendonça Lima , Luis Carlos Soares da Silva Junior, Pablo da Silva Avelar, Bruna Magalhães de Araújo, Ricardo Franci Gonçalves, José Manuel Pereira Vieira	
TTC 03	Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 04 - Desafios Tendências	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	2021	Maíra Araújo de Mendonça Lima , Ana Silvia Pereira Santos, Pablo da Silva Avelar, Luis Carlos Soares da Silva Junior, Bruna Magalhães de Araujo, Ricardo Franci Gonçalves, José Manuel Pereira Vieira	
TTC 04	Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 02 – Planejamento técnico e estratégico	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	2021	Pablo da Silva Avelara, Luis Carlos Soares da Silva Junior, Maíra Araújo de Mendonça Lima , Ana Sílvia Pereira Santos, Karina de Moura Costa Alencar, Ricardo Franci Gonçalves, José Manuel Pereira Vieira	Desenvolvimento científico
TTC 05	Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 03 - Metodologia de potencialidades (demandas e ofertas) e análise espacial	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	2021	Luis Carlos Soares da Silva Junior, Maíra Araújo de Mendonça Lima , Pablo da Silva Avelar, Ana Sílvia Pereira Santos, Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares, Ricardo Franci Gonçalves, José Manuel Pereira Vieira	
TTC 06	Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions	Water Supply	2021	Maíra Lima , Bruna Magalhães de Araujo, Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares, Ana Silvia Pereira Santos, José Manuel Pereira Vieira	

Quadro 1 - Trabalhos técnicos-científicos elaborados no âmbito desta dissertação para o desenvolvimento do estudo de potencial regional e risco de contaminação microbiológica em seres humanos em aplicações do reúso de água (continuação)

TTC 07	Irrigação com água de reúso no Brasil: Aplicação do modelo Semiquantitativo de Avaliação de Risco Microbiológico para saúde humana	Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais	2021	Maíra Araújo de Mendonça Lima , Ana Silvia Pereira Santos, José Manuel Pereira Vieira	Desenvolvimento científico
TTC 08	Avaliação do risco microbiológico no reúso de água para irrigação no Brasil	31º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental	2021	Maíra Araújo de Mendonça Lima , Ana Sílvia Pereira Santos, Bruna Magalhães de Araujo, Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares, José Manuel Pereira Vieira	
TTC 09	Water reuse in Brazilian rice farming: Application of semiquantitative microbiological risk assessment	Water Cycle	2022	Maíra Araújo de Mendonça Lima , Ana Silvia Pereira Santos, Anabela Rebelo, Maria Manuela Lima, José Manuel Pereira Vieira	

1. OBJETIVOS

Objetivo Geral

Estudar e aplicar metodologias de avaliação de potencial e do risco de contaminação microbiológica em seres humanos para irrigação com água para reúso.

Objetivos Específicos

- Desenvolver metodologia de avaliação de potencial regional para reúso de água;
- Aplicar metodologia de avaliação de potencial regional para reúso de água;
- Estudar metodologias de avaliação do risco de contaminação microbiológica para seres humanos;
- Aplicar a metodologia de Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico para seres humanos na irrigação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cenário nacional dos Recursos Hídricos

O Brasil é o país que apresenta a maior disponibilidade de água em todo o mundo, com cerca de 255 mil m³/s de água escoando pelo seu território (ANA, 2022). Entretanto, o seu potencial hídrico, bem como a sua população total estão distribuídos de maneira heterogênea ao longo do território, sendo que a maior disponibilidade de água se encontra na Amazônia que, por sua vez, é a região com a menor parcela da população e a menor demanda de água no país.

Esse cenário, associado às consequências das alterações climáticas e do crescimento populacional, vêm agravando as pressões sobre os recursos hídricos e tornando cada vez mais frequentes os episódios mais severos de estresse hídrico em diferentes regiões brasileiras.

Historicamente, o Semiárido brasileiro, que engloba os estados da região Nordeste, além do norte do estado de Minas Gerais, é a região mais afetada com a falta de água em todo o território nacional, contribuindo para o baixo nível de desenvolvimento socioeconômico (LIMA et al., 2021a). Nessa perspectiva da água como um fator limitante ao desenvolvimento socioeconômico, é notória a necessidade da aplicação de práticas de reúso, de forma a introduzir essa fonte alternativa nas matrizes hídricas regionais. Não obstante dessa realidade, a região sudeste do país tem enfrentado dificuldades, apresentando cenários de seca principalmente associadas às elevadas demandas, mas também devido ao alto índice de poluição dos corpos hídricos.

Várias regiões do mundo, como áreas do Oriente Médio, países da África como África do Sul e Namíbia, países mediterrânicos, Austrália, Singapura, México, Chile e diversos estados dos Estados Unidos já praticam o reúso de água de forma sistematizada (ANGELAKIS et al., 2018; ARAUJO et al., 2018), inclusive para uso potável (direto e indireto). Israel merece destaque, por praticar o reúso de 87% do efluente tratado na irrigação, superando 40% da demanda de água necessária para agricultura no país (MARIN et al., 2017).

De fato, ações de combate à poluição hídrica, ao desperdício de água e às perdas excessivas nos sistemas de distribuição de água são prioritárias no conceito do uso racional de água, que caminha na mesma direção do uso de fontes de água de origem alternativa, como o reúso. Outro destaque que corrobora a instabilidade hídrica, são as alterações climáticas que são cada vez mais evidentes em todo o planeta, agravando os eventos extremos de chuva (seca e excesso).

Assim, a prática do reúso de água pode ser uma importante alternativa para aliviar as pressões nos mananciais, garantir água em quantidade e em qualidade para os diversos usos, reduzir conflitos pelo uso da água e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico regional. Embora o trabalho tenha sido aplicado no cenário nacional, a metodologia de potencial desenvolvida e metodologia de risco aplicada pode ser direcionada a outras regiões do mundo.

2.2. Reúso como fonte alternativa

Diante da insegurança hídrica que acomete todo o mundo atualmente, nomeadamente as regiões mais áridas do planeta, o reúso de água a partir do efluente tratado, se torna cada vez mais presente. A água reciclada, recuperada ou de reúso é reconhecida pela Organização das Nações Unidas como uma fonte alternativa e confiável para o suprimento de grande parte das demandas hídricas existentes no mundo (WWAP, 2017).

Neste cenário, além de disponibilizar água de origem alternativa para diversos fins, a prática de reutilização de água alivia as pressões hídricas regionais, minimiza os impactos de conflitos pelo uso da água e a poluição hídrica. Além disso, nos países classificados como baixa e média renda, o reúso de água pode incentivar o aumento dos índices de tratamento de esgotos e a melhoria das práticas operacionais para alcance da qualidade desejada, impulsionando, consequentemente, o desenvolvimento socioeconômico (LIMA; SANTOS; VIEIRA, 2021).

A aplicação de ApR pode ser dividida em diversas categorias, incluindo reúso urbano, reúso agrícola (que pode incluir silvicultura e pastagens), reúso ambiental (que pode incluir a recarga subterrânea ou superficial para fins não potáveis), reúso na aquicultura, reúso industrial, reúso não potável em geral, e reúso potável. Ainda, os empreendimentos podem ser centralizados ou descentralizados. O primeiro caso apoia-se em um sistema coletivo que coleta e transporta o efluente gerado em uma bacia de esgotamento para ser tratado em uma ETE única. O segundo, coleta e trata o esgoto produzido in loco, onde inclusive, há a possibilidade de separação das águas fecais e cinza.

Em ambientes urbanos, a ApR pode ser adotada para diversos fins, tais como lavagem de ruas, de pátios, de estacionamentos e de veículos; combate a incêndio; desobstrução de galerias de águas pluviais e de esgotos; irrigação paisagística; construção civil; descarga de vaso sanitário; entre outros.

Cabe-se ressaltar que o reúso de água em ambientes urbanos já vem sendo praticado nas grandes cidades do país para fins “menos nobres”. No Rio de Janeiro, segundo Araujo, Manhães e Santos (2016), a ETE Penha, na época operada pela Companhia de Água e Esgotos do Rio de

Janeiro (CEDAE), já abastecia mais de 40 caminhões pipa diariamente para fornecimento a Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) para fins de lavagem de logradouros públicos.

Outro uso que merece destaque é aquele relacionado à desobstrução de galerias de águas pluviais e esgotos. Santos e Vieira (2020) destacam que esse uso se trata de uma prática de grande aplicabilidade no Brasil, pelo fato de essas tubulações se apresentarem constantemente assoreadas. Isso se dá em função das diferenças entre concepção, construção e operação dos sistemas unitários e dos sistemas separadores absolutos de coleta de águas pluviais e de esgotos domésticos adotados no Brasil.

De acordo com ANA (2019), o uso de água na indústria é responsável pelo terceiro maior consumo de água no Brasil, estando mais concentrado na região Sudeste. Porém, considerando as peculiaridades desse setor, como tipologias e processos distintos, as quantidades consumidas podem variar amplamente.

Deve-se destacar que a utilização da ApR nas indústrias, em geral, possui um caráter descentralizado. Neste caso, é importante que ocorra a diferenciação das águas residuárias produzidas na fabricação dos produtos, que apresentam características específicas aos processos que as geram, das águas residuárias dos setores administrativo, restaurantes e vestiários, que apresentam características semelhantes ao esgoto doméstico.

Muitas vezes, o reúso de água interno à indústria pode ser praticado a partir destas fontes de água em duas situações específicas: 1) no próprio processo industrial ou em equipamentos como torres de resfriamento e caldeiras; 2) na lavagem de veículos e/ou de equipamentos, lavagem de pátios e estacionamentos, irrigação de jardins, descarga de bacias sanitárias, combate a incêndio. No primeiro caso, independentemente da fonte da ApR, suas características físico-químicas e biológicas deverão ser compatíveis com o processo produtivo. Em outras palavras, a ApR não pode interferir na qualidade do produto da indústria, o que exige uma padronização específica para cada processo produtivo.

O reúso de água na agricultura, de longe, é a aplicação mais dominante da prática de reúso no mundo (ANGELAKIS et al., 2018) e a sua utilização possui diversas vantagens como a redução das pressões de captação de água nos mananciais e dos conflitos pelo uso da água, o gerenciamento e recuperação de nutrientes, entre outros fatores. Em que pese tais vantagens, além da elevada demanda por água desse setor no Brasil, a adoção da ApR na agricultura deve prezar pela qualidade, principalmente em irrigação de culturas consumidas cruas e de desenvolvimento rente ao solo, devido aos riscos potenciais para saúde e solo; o método de

irrigação também deve ser levado em consideração, principalmente no caso de expor o agricultor e a vizinhança ao risco de contaminação.

Nas regiões com baixa disponibilidade hídrica, o reúso de água se apresenta como uma condição única de irrigação, tanto em sistemas descentralizados como centralizados; muitas vezes utilizam-se efluentes de baixa qualidade ou até mesmo sem tratamento. Destaca-se assim, que um planejamento adequado nesse sentido, com a otimização das ETEs do entorno para a produção de ApR com a qualidade compatível (em casos de sistemas centralizados), pode alavancar, de maneira segura, o desenvolvimento socioeconômico dessas regiões.

É importante destacar que o reúso de água, considerando o efluente tratado, somente acontece quando há esgoto tratado disponível para a prática. Porém, no Brasil, a universalização ainda está longe de ser alcançada. A parcela da população atendida com coleta e tratamento de esgotos representa cerca de 43% (ANA, 2017). E, em relação a qualidade do efluente tratado, ainda há um déficit elevado. De acordo com ANA (2017), quase 30% do efluente tratado no país representa uma eficiência de remoção de matéria orgânica inferior a 80% e, de acordo com Lima et al. (2021a), somente 7% da vazão total coletada e tratada passa por etapa terciária de desinfecção. Portanto, há ainda uma necessidade de adequar as unidades que apresentam mais baixo desempenho, para que haja um possível planejamento do reúso em regiões que possuem potencial.

Por fim, observa-se que cada modalidade de reúso demanda uma determinada qualidade de água, que é produzida pela tecnologia de tratamento adotada na ETE. Então, para garantir a qualidade exigida, devem ser definidos padrões, critérios e diretrizes que devem estar alinhados com um documento regulador, que por sua vez deve estar alinhado com uma política de reúso. Independentemente do nível administrativo (municipal, estadual ou federal) o documento regulador, que deve levar em consideração os objetivos e as características locais, deve ter a intenção de permitir, orientar e incentivar a prática de reúso de forma segura e responsável.

2.3. Aspectos legais

A regulamentação da prática de reúso no mundo teve início em 1918, quando o estado da Califórnia, nos Estados Unidos da América, publicou seus primeiros padrões, considerando a aplicação de efluentes tratados em culturas não consumidas cruas (ANGELAKIS et al., 2018; SHOUSHARIAN; NEGAHBAN-AZAR, 2020). Tratava-se naquele momento, de um destino adequado, considerando as propriedades de fertirrigação do esgoto.

A OMS publicou suas primeiras diretrizes relacionadas ao reúso de água para irrigação em 1973, promovendo ações semelhantes em diversos países (SHOUSHTARIAN; NEGAHBAN-AZAR, 2020). Em 1999, a OMS adotou pela primeira vez o conceito de segurança do abastecimento de água, no contexto dos Planos de Segurança da Água, em uma abordagem baseada no risco, com o objetivo de controlar as doenças de veiculação hídrica; e em 2006 publicou suas diretrizes para o reúso de água na agricultura (WHO, 2006). Em 2017, com base na metodologia conhecida por *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA) ou Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), a OMS estabeleceu um guia para produzir água potável a partir do reúso (WHO, 2017).

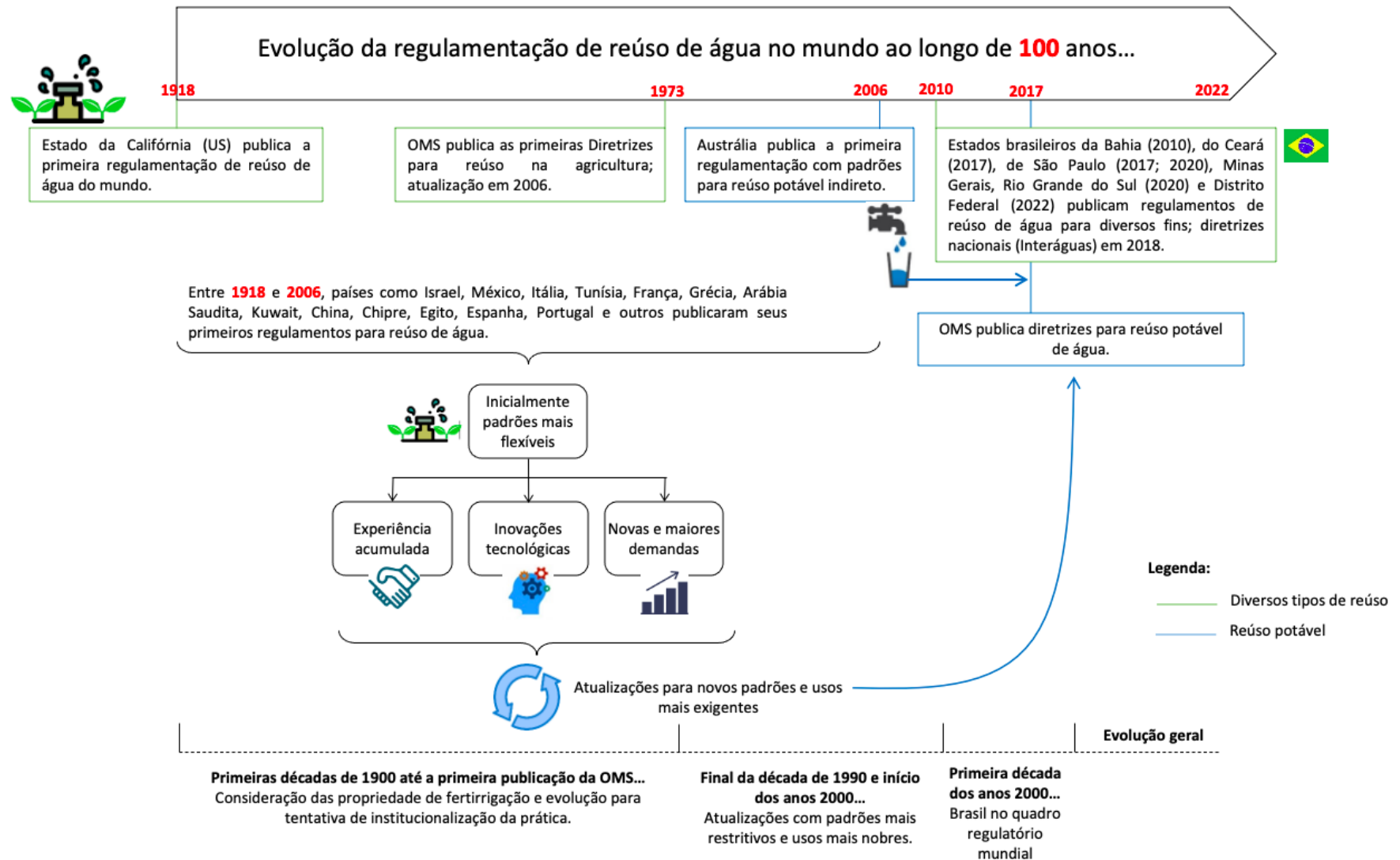
Diante das experiências adquiridas, da evolução da tecnologia em produzir água de melhor qualidade e do aumento das demandas para usos cada vez mais nobres, os regulamentos foram sofrendo atualizações no sentido de apresentarem padrões mais restritivos, para usos mais nobres como o uso potável. Nesse contexto, destaca-se a Austrália que publicou o primeiro regulamento com padrões para o reúso potável, em 2006 (ANGELAKIS et al., 2018).

No Brasil, ainda não existe regulamentação mandatória de abrangência federal que aborde as diferentes modalidades de reúso de água e seus respectivos padrões. Entretanto, o Programa Interáguas, elaborado no âmbito do governo federal e finalizado em 2018, apesar de não possuir força legal, apresenta diretrizes e orientações para o reúso de água no Brasil, com padrões de qualidade definidos para diferentes modalidades (irrigação, urbano, industrial, ambiental e aquicultura), visando a proteção da saúde pública, a proteção ambiental e as experiências com o tratamento de efluentes para produção de água para reúso. Ressalta-se que o Programa Interáguas apresenta apenas orientações (não padrões) para a recarga de aquíferos (reúso indireto) e para o reúso potável, não sendo esta última opção contemplada em nenhum instrumento regulatório, legal ou infralegal, sobre o reúso de água existente no país (INTERÁGUAS, 2018).

Ao nível sub-federal, alguns estados brasileiros como São Paulo, Ceará, Bahia, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e o Distrito Federal, apresentam documentos reguladores com definições de padrões para a ApR em relação às demandas apresentadas (SANTOS et al., 2020).

Na Figura 1 pode ser observada a evolução da regulamentação em relação ao reúso de água no mundo.

Figura 1 - Representação esquemática da evolução da regulamentação do reúso de água no mundo



Fonte: Adaptado de Santos e Lima (2022).

No Brasil, o primeiro documento de caráter regulador, mas não mandatório, que abordou o reúso de água foi a NBR 13.969:1997 (ABNT, 1997). Esta NBR definiu classes de reúso, considerando aplicações locais, como lavagem de pisos, calçadas e veículos, irrigação de jardins e de pomares, descarga em vaso sanitário entre outros.

A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, CNRH nº 54, foi publicada em novembro de 2005 (BRASIL, 2005) com a intenção de estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável. O documento, atualmente em revisão, somente dispõe sobre aspectos gerais e não indica padrões de qualidade para os diferentes usos.

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA nº 430 (BRASIL, 2011), com o objetivo de estabelecer condições e padrões para lançamento de efluentes. Neste caso, a palavra “reúso” foi mencionada somente uma vez, em seu Artigo 27, ao afirmar que as fontes poluidoras devem proceder o reúso sempre que possível e adequado.

O Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) estudou a fundo e propôs diretrizes voluntárias, além de definir padrões de reúso de água para aplicações urbanas, agrícolas e na piscicultura, agrupadas em (BASTOS et al., 2008). Diferentemente das diretrizes propostas pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo, em seu documento intitulado “Manual de conservação e reúso de água na agroindústria” (FIESP, 2009), o PROSAB primou pela indicação de padrões mais flexíveis, condizentes com a realidade nacional e fundamentados em análise de risco, embasadas em evidências epidemiológicas (BASTOS et al., 2008; SANTOS et al., 2020).

No ano de 2010, o primeiro estado brasileiro (Bahia) publicou padrões legais de reúso de água para a agricultura, considerando basicamente as diretrizes da OMS. Outros estados como Ceará, São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Distrito federal adotaram regulamentos legais somente a partir de 2017 (SANTOS et al., 2020). Por fim, a nível nacional, o Programa Interáguas definiu diretrizes não mandatórias para o reúso de águas no Brasil em 2018 (INTERÁGUAS, 2018).

Outro destaque relevante no nível federal, é a Lei nº 14.026 de 2020 (BRASIL, 2020), recentemente publicada, que se caracteriza como o novo marco regulatório do saneamento no país. Essa aborda o reúso de água de forma importante e destacada, quando inclusive define o esgotamento sanitário como “constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até sua destinação final para produção de água de reúso ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente”. Essa definição, que coloca a “produção de água para reúso” anteriormente ao “lançamento no meio

ambiente” aponta para uma tendência, podendo auxiliar de maneira importante a mudança de cultura em termos de reutilização de água no país.

Pelo fato de o Brasil ser um país de dimensões continentais com diferentes características culturais, econômicas, ambientais e sociais, dentro do próprio território nacional é necessário aplicar conceitos específicos para cada região.

Na Tabela 1, estão apresentados, em ordem cronológica, além de padrões de qualidade de água para reúso para diferentes modalidades, os aspectos mais relevantes apresentados tanto nas diretrizes do Programa Interáguas como nas legislações sub-federais que indicam padrões de reúso no Brasil.

Tabela 1 - Padrões e aspectos mais relevantes apresentados nos documentos reguladores no Brasil

Regulamentos	Padrões de reúso	Observações	Aplicabilidade e aspectos relevantes
Bahia - Resolução CONERH nº 75/2010	Categoria A - Coliformes: 10 ³ Org/100 mL (Ct). Categoria B - Coliformes: 10 ⁴ Org/100 mL (Ct).	Categoria A: irrigação, inclusive hidroponia, de qualquer cultura incluindo produtos alimentícios consumidos crus. Categoria B: irrigação, inclusive hidroponia, de produtos alimentícios não consumidos crus e não alimentícios, forrageiras, pastagens, árvores, revegetação e recuperação de áreas degradadas.	Fins agrícolas e/ou florestal; sem restrição de nível de tratamento; características recomendadas pela OMS; apresenta responsabilidades para o produtor da água para reúso.
Ceará - Resolução COEMA nº 02/2017	Urbano - Coliformes ¹ : 5000 Org/100 mL (Ct). Agrícola/florestal-a - Coliformes: ND Org/100 mL (Ct). Agrícola/florestal-b - Coliformes: 1000 Org/100 mL (Ct). Ambiental - Coliformes: 10000 Org/100 mL (Ct). Aquicultura - Coliformes: 1000 Org/100 mL (Ct).	Urbano: irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio em área urbana. Agrícola/florestal-a: culturas a serem consumidas cruas, cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação. Agrícola/florestal-b: demais culturas. Ambiental: implantação de projetos de recuperação do meio ambiente. Aquicultura: criação de animais e cultivo de vegetais aquáticos.	Voltado para lançamento de efluentes, reúso direto de água, reúso externo (agrícola/florestal, urbano, ambiental, industrial e aquicultura) e reúso interno; apresenta padrões mais restritivos para agrícola florestal-a.
Programa Interáguas – 2018	Agrícola restrito - Coliformes: 10 ³ (Ct); DBO: 30 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L. Agrícola irrestrito - Coliformes: 10 (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 15 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L. Urbano restrito - Coliformes: 10 ³ (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 30 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L. Urbano irrestrito - Coliformes: 10 (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 15 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L. Industrial - Coliformes: 10 ³ (Ct) Org/100 mL. Ambiental - Coliformes: 10 ³ (Ct) Org/100 mL; DBO: 60 mg/L. Aquicultura - Coliformes: 10 ³ (Ct) Org/100 mL; DBO: 60 mg/L.	Agrícola irrestrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve rente ao solo sem processamento prévio. Agrícola restrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve distante do solo sem processamento prévio; após processamento prévio; não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas. Urbano irrestrito: irrigação paisagística, bacias sanitárias e lavagem de logradouros. Urbano restrito: irrigação paisagística e outros usos em áreas restritas, tais como desobstrução de redes de esgoto, construção civil, lavagem de veículos e combate a incêndio. Industrial: Aplicação em vários processos e atividades industriais. Ambiental: Aplicação em lagoas urbanas, manutenção de <i>wetlands</i> e aumento da disponibilidade hídrica para fins ambientais. Aquicultura: criação de peixe ou cultivo de vegetais aquáticos.	Voltado para fins agrícolas, urbano, ambiental, industrial e aquicultura; apresenta níveis de tratamento mínimos; recomendações de licenciamento para cada tipo de reúso; considera as dimensões ambientais, econômico-financeira, social e cultural e de saúde pública.

São Paulo - Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020	Classe A - Coliformes: ND (Ct/<i>E. coli</i>); Turbidez: 2 NTU; DBO: 10 mg/L; Cloro residual: $\geq 1,0$ mg/L. Classe B - Coliformes: 200 Org/100 mL (Ct) 120 Org/100 mL (<i>E. coli</i>); DBO: 30 mg/L; Sólidos: 20 mg/L (SST); Cloro residual: $\geq 1,0$ mg/L (total).	Classe A (Irrestrito): irrigação paisagística; lavagem de logradouros e espaços públicos e privados; construção civil; desobstrução de galerias; lavagem de veículos; combate a incêndio. Classe B (Restrito): exclusivamente a todos os anteriores, exceto combate a incêndio.	Fins urbanos; restritivos em relação aos padrões; tratamento mínimo secundário, desinfecção e filtração; apresenta atribuições para produtor e usuário da água para reúso; identificação dos veículos e tanques.
Rio Grande do Sul - Resolução CONSEMA nº 419/2020	Urbano Classe A - Coliformes: 200 Org/100 mL (Ct); Cloro residual: $< 1,0$ mg/L (total). Urbano Classe B - Coliformes: 10^3 Org/100 mL (Ct). Agrícola/florestal - Coliformes: 10^4 Org/100 mL (Ct).	Urbano Classe A (irrestrito): irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros e veículos. Urbano Classe B (restrito): irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, abatimento de poeira, construção civil, ETes e desobstrução de tubulações. Agrícola/florestal: irrigação de qualquer cultura, exceto frutos, hortaliças, raízes e tubérculos com contato direto com o solo ou com a água para consumo humano na forma crua.	Voltado para fins urbanos, industriais, agrícola e florestais; licenciamento ambiental para o gerador ou usuário da água para reúso.
Minas Gerais - Deliberação Normativa CERH nº 65/2020	Agrossilvipastoril amplo - Coliformes: 10^4 Org/100 mL (Ct/<i>E. coli</i>). Agrossilvipastoril limitado - Coliformes: 10^6 Org/100 mL (Ct/<i>E. coli</i>). Urbano amplo - Coliformes: 10^3 Org/100 mL (Ct/<i>E. coli</i>). Urbano limitado - Coliformes: 10^4 Org/100 mL (Ct/<i>E. coli</i>).	Agrossilvipastoril amplo: fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão. Agrossilvipastoril limitado: fertirrigação superficial ou localizada, evitando contato da água para reúso com o produto alimentício. Urbano amplo: lavagem de pátios, logradouros ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; descargas sanitárias. Urbano limitado: lavagem de veículos especiais e externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias (para este, o limite de coliformes termotolerantes ou <i>E. coli</i> é de 10^7 Org/100 mL).	Voltado para fins agrossilvipastoris ² , urbanos, ambientais e industriais; padrões mais flexíveis; objetivou a aplicação e o incentivo da prática; padrões para reúso em fertirrigação; apresenta responsabilidades para o produtor, distribuidor e usuário da água para reúso.
Distrito Federal - Resolução Nº 005, de 09 de maio de 2022	Reúso não potável - Coliformes: 200 NMP/100 mL (<i>E. coli</i>); pH: 6,0 a 9,0; Turbidez: ≤ 5 UT; DBO: ≤ 20 mgO ₂ /L; Cloro residual: Mínimo 0,5 mg/L e máximo de 5,0 mg/L; Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Condutividade elétrica: ≤ 2.000 mg/L ou ≤ 3.200 µS/cm.	Reúso não potável: descarga de bacias sanitárias e mictórios; lavagem de logradouros, pátios, garagens e áreas externas; lavagem de veículos; irrigação para fins paisagísticos; e uso ornamental (fontes, chafarizes e lagos).	Voltado para fins urbanos; Concessionária de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário é a responsável pela análise do projeto e vistoria das instalações para obtenção da Carta de Aceite.

Fonte: Adaptado de Santos e Lima (2022).

Legenda: Ct – Coliformes termotolerantes; *E. coli* – *Escherichia coli*; SST – Sólidos Suspensos Totais; livre – cloro residual livre; total – cloro residual total. Nota: 1. para fins de irrigação paisagística, o parâmetro “Coliformes termotolerantes” deve ser até 1000org/ 100mL; 2. atividades agrossilvipastoris englobam agricultura, pastagens e silvicultura, as quais podem ser desenvolvidas em sistemas consorciados ou separadamente.

Além dos diferentes padrões estabelecidos para cada um dos documentos apresentados na Tabela 1^{Erro! Fonte de referência não encontrada.}, observam-se também aspectos específicos para cada um, relacionados à i) definição de responsabilidades para produtores, distribuidores e usuários da ApR, ii) ao licenciamento obrigatório, iii) à abordagem do risco microbiológico para saúde pública e meio ambiente, iv) aos níveis de restrição para cada tipo de reúso, v) frequência de monitoramento e vi) à indicação de tecnologias de tratamento de esgotos para o alcance das qualidades definidas nos padrões.

A definição de responsabilidades e atribuições para produtores e usuários da ApR é claramente identificada por todos os documentos reguladores estudados. O licenciamento obrigatório da prática de reúso também é indicado nas resoluções de Ceará, São Paulo e Rio Grande do Sul. No caso do Distrito Federal é necessário a solicitação para a Concessionária para obtenção da Carta de Aceite; e em Minas Gerais deve ser realizado cadastro junto ao órgão gestor competente.

Diante do entendimento de o risco à saúde e ao meio ambiente ser intrínseco à prática de reúso, considera-se este um aspecto relevante a ser abordado nos regulamentos de reúso. O Programa Interáguas e os estados de São Paulo, de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul abordam padrões associados ao risco. No caso de produtos destinados à alimentação, os dois últimos ainda vetam a utilização.

Assim, apesar das vantagens inerentes à prática de reúso de água, para que os empreendimentos sejam responsáveis e seguros, a gestão do risco deve estar intrinsicamente relacionada aos usos, como afirmam Santos e Vieira (2020). Os riscos microbiológicos devem ser atenuados com usos adequados e com padrões de qualidade de água que relacionam o risco de contaminação à exposição dos envolvidos.

2.4. Gestão dos riscos

Diversas são as possibilidades de reúso de água, normalmente classificadas em potáveis e não potáveis, que demandam diferentes níveis de qualidade, relacionados aos usos pretendidos (ANGELAKIS et al., 2018). Os avanços tecnológicos permitem a produção de água reciclada de alta qualidade que pode atender aos padrões mais exigentes, de forma confiável. No entanto, caso o processo de tratamento seja inadequado ou de baixa confiabilidade, os contaminantes biológicos e químicos residuais podem representar um risco para a saúde humana (MUKHERJEE; JENSEN, 2020). Esse risco pode ser maior ou menor, quanto mais ou menos exposto ao perigo, encontra-se o receptor, respectivamente (KHAN; ANDERSON, 2018).

Apesar da comprovada confiabilidade técnico-científica, o público em geral considera a ApR como de elevado risco para a saúde humana, principalmente quando se trata de reúso potável (WHO, 2017; SMITH et al., 2018). Essa rejeição psicológica da sociedade baseia-se na sua insegurança em relação às ações do governo e das prestadoras de serviços de saneamento básico, bem como na sua descrença quanto à ciência e na sua incredibilidade sobre informações fornecidas para a qualidade de água (FIELDING; DOLNICAR; SCHULTZ, 2019). Para garantia da segurança, o risco deve ser avaliado e gerido corretamente, de modo que a transparência das ações e das informações forneça subsídios para o alcance de uma relação amistosa com a população e maior aceitação dos projetos de reúso de água (SMITH et al., 2018).

De maneira geral, a avaliação do risco desenvolve-se ao longo de quatro etapas, a fim de responder questões fundamentais para a implantação segura do projeto, minimizando, até níveis aceitáveis, o risco para a saúde pública: i) identificação do Perigo, ii) identificação das vias de exposição para os diferentes receptores, iii) caracterização da exposição de acordo com a dose; iv) Caracterização do Risco (REBELO et al., 2020; REBELO; FRANCO, 2019; ZHITENEVA et al., 2020).

O Perigo (i) é associado aos agentes potencialmente causadores de danos à saúde pública, nomeadamente microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica, geralmente representados por indicadores de contaminação fecal (ZHITENEVA et al., 2020). As vias de exposição (ii), consideradas ingestão, inalação ou adsorção, são assumidas como de contato direto ou indireto, para diferentes receptores (ii), tais como seres humanos, animais (domésticos ou pecuários), vegetação paisagística ou culturas agrícolas (alimentícias ou não) (ORGANIZATION, 2015; REBELO; FRANCO, 2019). A caracterização (iii) deve retratar, com o maior detalhamento possível, as potenciais situações de exposição dos receptores à água para reúso; por este motivo, trata-se da etapa mais crítica, que envolve subjetividade e incertezas (REBELO; FRANCO, 2019). Por fim, a caracterização do Risco (iv) consiste na quantificação e priorização do risco à saúde humana decorrente, diretamente, dos fatores associados ao perigo, rotas de exposição, cenários aplicáveis e múltiplas barreiras instaladas (REBELO et al., 2014).

A OMS sugere várias abordagens de avaliação do risco (WHO, 2016) que podem responder às diferentes necessidades de gestão. São modelos qualitativos e semiquantitativos ou métodos matemáticos quantitativos, além da inspeção sanitária que envolve uma abordagem simples e eficaz para pequenos fornecimentos de água (WHO, 2016).

A avaliação qualitativa ou semiquantitativa, se apoia na abordagem da matriz de Risco que permite avaliar diferentes riscos associados à qualidade da água, envolvendo uma avaliação

da probabilidade de ocorrência de um perigo e da sua gravidade ou consequência, caso aconteça. Já a avaliação quantitativa, conhecida pela sigla QMRA, ou em português, AQRM, combina o conhecimento científico sobre a presença e a natureza dos agentes patogênicos, o seu potencial destino e transporte no ciclo da água e os cenários de exposição referentes aos intervenientes, e os seus efeitos na saúde que resultam dessa exposição (WHO, 2016). Todas as abordagens, de maneiras diferentes, estimam os possíveis riscos associados à prática de reúso, com o objetivo de reduzi-los até um nível mínimo considerado aceitável.

De acordo com Rebelo e Franco (2019), em casos de ocorrência de exposição direta à água para reúso, em particular ingestão ou inalação, podem ser utilizados modelos matemáticos quantitativos, similares ao QMRA, proposto por (WHO, 2016) especificamente para as águas de consumo humano. Segundo Rebelo et al. (2020), esses modelos são complexos e apresentam uma alta incerteza na medida em que requerem dados locais extensos que nem sempre estão disponíveis para usos não potáveis. Na prática, essa limitação de dados acaba por exigir que muitas suposições sejam tomadas durante este processo (ZHITENEVA et al., 2020), absorvendo grandes incertezas para o resultado final (REBELO et al., 2020).

Vieira (2013) afirma que o modelo quantitativo, em função das características já descritas, tem grande aplicabilidade para a avaliação do risco no cenário de águas de abastecimento. Zhiteneva et al. (2020) corroboram, ao indicarem o método, em caso de reutilização, somente para fins de potabilidade (direto ou indireto).

Para lidar com as limitações da Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico, metodologias Semiquantitativas podem ser adotadas para usos não potáveis, assim como o modelo desenvolvido por Rebelo (2018), o qual foi baseado no método Qualitativo apresentado pela *International Organization for Standardization* (ISO). Segundo Rebelo et al. (2020), esse modelo semiquantitativo, aplicado na legislação portuguesa (PORTUGAL, 2019), compreende a utilização de uma abordagem qualitativa empírica de julgamento para avaliar a importância relativa para perigos, rotas de exposição e cenários de contato, e multibarreiras no local. Assim, os dados de entrada podem ser as normas de qualidade que representam indiretamente as doses eventualmente toleráveis (REBELO; FRANCO, 2019).

Neste contexto, Rebelo et al. (2020) afirmam que os regulamentos que viabilizam legalmente a prática de reúso de água, devem levar em consideração, não somente padrões limites para determinados parâmetros de qualidade de água e sim, um plano de gestão de risco, associado especificamente ao empreendimento em questão. O plano de gestão de riscos é elaborado tendo em consideração a probabilidade de ocorrência de todos os perigos (físicos, químicos e microbiológicos), associada à severidade das suas consequências, e à eficácia das

barreiras instaladas e a instalar, em todas as operações associadas ao reúso (REBELO; FRANCO, 2019).

Os métodos semiquantitativos são mais apropriados às diferentes modalidades de reúso de água não potável, que levam em consideração a abordagem *fit-for-purpose* (ajustado à proposta) (REBELO et al., 2020). Nessa modalidade, é possível combinar barreiras físicas, químicas ou biológicas de modo a minimizar o risco, mesmo considerando águas com mais alta possibilidade de Dano. As barreiras podem, efetivamente, reduzir unidades logarítmicas de densidades de microrganismos (Coliformes termotolerantes ou *Escherichia coli*), ou podem, simplesmente, representar essa redução. Isso significa que águas com uma densidade inadequada de microrganismos para determinado uso, podem tornar-se adequadas, não pela redução dessa carga, mas pela implantação de uma ou mais barreiras equivalentes, que representem essa redução. Segundo Rebelo e Franco (2019), barreira equivalente é uma medida de controle que produz um resultado equivalente a uma determinada redução microbiológica correspondente à eliminação de perigo determinado ou redução do mesmo até um nível aceitável.

A discussão atual sobre as diferentes modalidades de avaliação do risco, segundo Zhiteneva et al. (2020), pode ajudar a estabelecer modelos de avaliação do risco mais informativos e abrangentes em estudos futuros sobre o tema reúso de água, que continua a crescer. O Regulamento da União Europeia Nº 741 de 2020 leva em consideração exatamente esta abordagem moderna do conceito de risco para viabilização do reúso de água de maneira segura e responsável (EUROPEAN UNION, 2020). Trata-se de um importante avanço para a sistematização da prática, para aplicações não potáveis.

2.5. Desafios

Angelakis et al. (2018) ressaltam que ainda há muitos desafios a vencer de forma a tornar o reúso de água uma prática segura e institucionalizada nas regiões mais afetadas pela seca, principalmente com a sua economia em desenvolvimento.

No Brasil, muitos impasses ainda são preponderantes no caminho para a sistematização da prática de reúso: i) baixos índices de atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgotos sanitários, que refletem na reduzida produção de água para reúso; ii) baixa qualidade operacional das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), que muitas vezes impede o alcance do desempenho desejado; iii) cultura histórica de percepção de abundância de água, que reflete no descaso do usuário em relação ao reúso e ao uso racional de água, além de contribuir para a

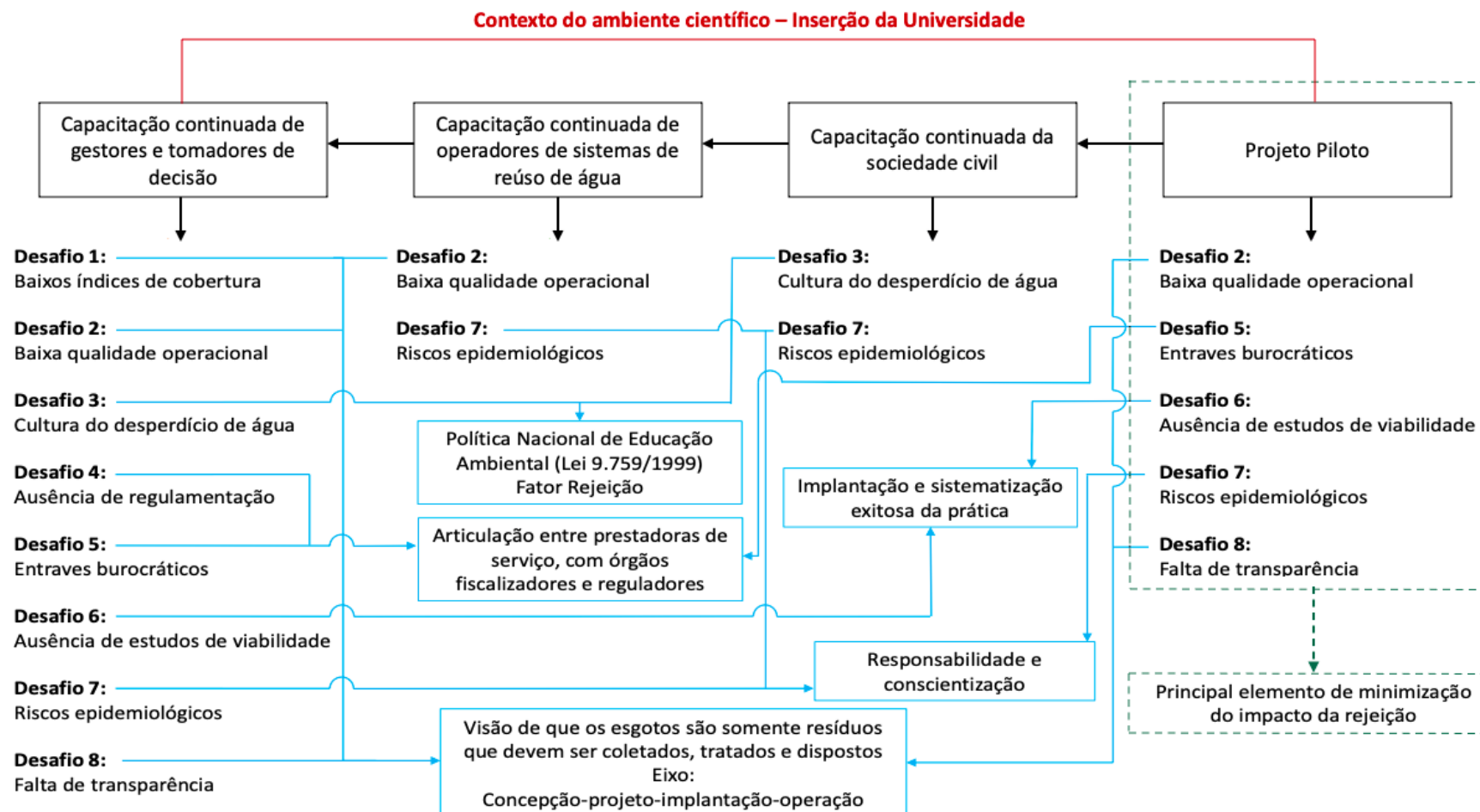
rejeição psicológica do produto; iv) ausência de um documento legal, a nível federal, que regulamente a prática de reúso de água com o estabelecimento de padrões para diferentes fins; v) entraves burocráticos para o desenvolvimento e financiamento de projetos específicos para este fim; vi) falta de estudos técnico-científicos de viabilidade de implantação de projetos de reúso de água e ausência de formação de recursos humanos capacitados para lidar com esses projetos de reúso de água; vii) falta de segurança em relação aos riscos epidemiológicos intrínsecos à prática, em função das dificuldades de aplicação de metodologias (quantitativa, semiquantitativa e qualitativa) de risco microbiológico; viii) utilização de dados estimados para cálculos de potencialidades, em detrimento ao uso de dados reais, devido à falta de transparência das operadoras de água e esgoto; entre outros.

Muitos destes desafios urgentes no Brasil podem ser resolvidos com mais envolvimento dos setores usuários, produtores, gestores e reguladores, por meio de capacitação. No entanto, o termo “capacitação”, no Brasil, possui forte relação com o aprimoramento de técnicas operacionais, para garantia de melhores desempenhos nas atividades realizadas. No setor do saneamento, em geral, o termo é associado à operação de unidades que compõem os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, tais como redes (de abastecimento de água e de coleta de esgoto), estações elevatórias (de água e de esgoto), reservatórios, adutoras, captações, estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto, entre outros. Em inglês, termo “capacitação”, traduzido como *capacity building*, onde *building* refere-se à uma atividade que requer construção.

Nesse contexto, observa-se uma diferença de entendimento entre o termo adotado no Brasil (menos abrangente) e o internacionalmente adotado (mais abrangente). Assim, o termo *capacity building* pode ser considerado, no contexto brasileiro, como um processo pelo qual indivíduos e organizações obtêm, aprimoram e incorporam conhecimentos, habilidades, e ferramentas necessários para a realização de atividades com competência e participações mais marcantes no processo construtivo e na apreensão de conceitos.

Na Figura 2, apresenta-se o fluxograma que envolve os principais desafios relacionados à prática de reúso de água no Brasil, destacados anteriormente, assim como as relações entre eles, os principais atores envolvidos nos aspectos de capacitação continuada, e a implantação e operação de projetos piloto.

Figura 2 - Fluxograma com os principais desafios distribuídos entre o projeto piloto e os atores envolvidos na capacitação continuada



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2021b).

A figura do **gestor** está intimamente relacionada ao binômio liderança e responsabilidade. Uma boa gestão é fundamental para a garantia do funcionamento adequado de uma determinada instituição ou da prestação de um serviço. No caso das instituições, os gestores são aqueles que ocupam os cargos de liderança e são responsáveis pelas tomadas de decisão; no caso da prestação de serviços de saneamento, no Brasil, essa gestão é realizada por empresas conhecidas como “prestadoras de serviço”. Elas apresentam regras, metodologias, métricas, roteiros, critérios, diretrizes e orientações para a execução dos serviços com o objetivo de garantir a saúde e o bem-estar da população, além da proteção ambiental. Os oito desafios expostos na Figura 2 estão diretamente relacionados às empresas gestoras de saneamento e aos seus respectivos gestores.

Os Desafios 1, 2 e 8 estão relacionados com a visão atribuída à gestão como um todo, de que os esgotos são resíduos a serem coletados, tratados e dispostos. Já em 2012, Tchobanoglous (2012) afirmava que a água residuária não era mais vista, no contexto internacional, como um resíduo para disposição, mas uma fonte renovável e recuperável de água de abastecimento, recursos e energia. É nesse ponto que a capacitação continuada de gestores se deve apoiar, ao alavancar a transformação da cultura. Estações de tratamento de esgotos bem concebidas, bem projetadas, construídas e operadas são, certamente, responsáveis pelo alcance de melhores desempenhos, essencialmente necessários tanto para a proteção da saúde pública e do meio ambiente, assim como para a condução de ações exitosas de reúso de água. O aumento dos índices de cobertura com serviços de esgotamento sanitário deve ser planejado em função de critérios técnicos e socioeconômicos que podem ser discutidos, elaborados, definidos e aplicados no contexto da capacitação de gestores, para que saibam como lidar responsavelmente com o ciclo urbano da água.

Sobre a transparência das prestadoras de serviços de saneamento básico em relação aos dados dos serviços prestados, segundo o princípio constitucional da publicidade, conhecido somente como “Princípio da Publicidade”, os dados qualitativos e quantitativos de operação de ETEs são de caráter público. Trata-se de um dos princípios da administração pública que tem como finalidade mostrar que o poder público deve agir com a maior transparência possível, para que a sociedade tenha o amplo conhecimento de todas as suas atuações e decisões. Essa publicização de dados leva naturalmente ao alcance de melhores desempenhos operacionais de ETEs, valoriza, conseqüentemente, a confiança do usuário/consumidor e favorece a inserção científica na construção de diálogos mais atuais e mais alinhadas com os avanços internacionais.

Nesse contexto de “transparência”, o Desafio 3 também é despertado, no sentido de se levar um conhecimento técnico à sociedade civil como um todo. Além disso, a Política Nacional

de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei 9.795/1999, indica que instituições como as prestadoras de serviços de saneamento (públicas ou privadas) devem promover a educação ambiental e o engajamento da sociedade na conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente; e a sociedade deve manter atenção permanente à formação de valores, atitudes e habilidades que propiciem a atuação individual e coletiva voltada para a prevenção, a identificação e a solução de problemas ambientais (BRASIL, 1999).

A ausência de regulamentação e os entraves burocráticos, abordados nos Desafios 4 e 5, devem ser abrangidos pela capacitação continuada de forma a promover um desenvolvimento do setor, com um debate mais moderno dando garantia de segurança e responsabilizando as partes envolvidas. Prestadoras de serviços e órgãos reguladores e fiscalizadores necessitam de articulações e interações mais dinâmicas e diretas, conduzidas por especialistas técnicos, no sentido de elaborarem e aplicarem documentos reguladores que favoreçam a sistematização da prática de reúso de maneira rápida e com menos burocracia, mas com garantia de segurança.

Os estudos de viabilidade técnica, que representam o Desafio 6, são essenciais para a implantação exitosa de infraestruturas que envolvem a prática de reúso de água. Assim, os gestores devem ser orientados para “como esses estudos devem ser realizados” e a importância deles no contexto completo. É importante que no nível de gestão haja planejamento para designação de recursos financeiros e humanos para esses tipos de estudos.

O Desafio 7 trata dos riscos epidemiológicos que também devem ser abordados e conduzidos no âmbito da capacitação de gestores. Conforme já mencionado anteriormente, os estudos de avaliação do risco, com diferentes metodologias, são conduzidos pela área técnica, mas são essenciais para as tomadas de decisão por parte dos gestores. A construção desse conhecimento é de grande relevância para que as tomadas de decisão sejam adequadas para cada caso. Projetos de reúso de água não devem ser aplicados sem estudos de avaliação do risco de contaminação microbiológica, mesmo que simplificados (ISO, 2020b; REBELO, 2018).

São os gestores que tomam as decisões e, dessa forma, para que essas sejam assertivas e com mais baixos riscos de erros, as informações devem ser todas bem produzidas e os riscos devem ser estimados e baseados em experiência ou conhecimento acumulados, onde informações incompletas e sem precisão podem levar a erros catastróficos.

A capacitação continuada de **operadores** de sistemas de produção e fornecimento de água para reúso é relacionada principalmente aos desafios 2 e 7 destacadas na Figura 2. Em geral, a baixa qualidade operacional (Desafio 2) é imputada somente à operação. É importante destacar que a operação de sistemas de saneamento básico no Brasil, especificamente de esgotamento sanitário, sofre com a negligência das etapas anteriores de concepção, projeto e

implantação nos seguintes principais aspectos, que devem ser abordados na capacitação continuada de gestores e tomadores de decisão:

- Falta de estudo de concepção para definição do projeto que mais se adequa às características locais;
- Adoção de tecnologias de tratamento inadequadas à região, em função de: condições climáticas desfavoráveis; complexidade operacional para um quadro técnico de nível inferior; e elevado consumo de energia elétrica que leva a operações mais onerosas;
- Utilização de equipamentos com materiais frágeis e de mais baixo custo, como consequência de uma cultura relacionada ao serviço de esgotamento sanitário ser menos importante do que o de abastecimento de água;
- Falta de planejamento e de investimento em manutenção de equipamentos que o ambiente agressivo das ETEs danifica com mais rapidez;

No caso específico dos operadores, a grande lacuna encontra-se na falta de conhecimento técnico-teórico para o entendimento e a operação adequada no contexto da prática. Nesse sentido, a capacitação continuada de operadores deve favorecer essa união entre os conceitos práticos e teóricos para o alcance de bons desempenhos.

O risco de contaminação microbiológica (Desafio 7) é intrínseco à prática de reúso e essa responsabilidade é de fundamental importância para garantia da segurança dos envolvidos. Um empreendimento de reúso que foi dimensionado para um determinado cenário/modalidade leva em consideração a qualidade da água produzida e do cenário de uso. Neste caso, o risco é avaliado considerando-se essas especificidades. Portanto, uma água produzida para lavagem de ruas, em geral requer uma qualidade inferior àquela produzida para irrigação de laranjeiras. Dessa forma, a água produzida para um empreendimento licenciado e autorizado para a prática de reúso na lavagem de rua deve atender a qualidade demandada e não pode ser utilizada para a irrigação de laranjeiras. Ainda, no caso das laranjeiras, uma água que irriga a plantação por equipamento de aspersão apresenta um risco maior de contaminação dos envolvidos, do que a que irriga por gotejamento. Assim, ressalta-se que a responsabilidade do trabalho deve ser destacada na capacitação continuada de operadores.

A **sociedade civil** pode e deve participar das decisões relacionadas à gestão de recursos hídricos e saneamento, já que, conforme mencionado anteriormente, de acordo com a ONU, a água é um direito humano fundamental (UNITED NATIONS, 2010) e o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável nº 6 (ODS 6) garante que a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento devem ser asseguradas para todos (UNITED NATIONS, 2015). No

Brasil, tanto a antiga Lei do Saneamento (Lei nº 11.445 de 2007), como o novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026 de 2020) determinam que a gestão do saneamento básico deve ser participativa, de forma a não só envolver a sociedade, como fomentar a sua participação nos processos de formulação de políticas, de planejamento e de avaliação dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2007, 2020). Ainda, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9433 de 1997, define os Comitês de Bacias Hidrográficas como um importante instrumento que permite a participação dos usuários das águas sob seus domínios e das entidades civis de recursos hídricos com atuação comprovada na bacia (BRASIL, 1997).

Nesse sentido, essa participação pode ser direta ou indireta. A participação direta, refere-se aos representantes da sociedade civil em ambientes de planejamento e deliberação, tais como audiências públicas e comitês de bacias hidrográficas, com atuação e impactos diretos. A participação indireta refere-se ao cidadão comum, que mesmo de maneira indireta é afetado pelas decisões tomadas sem o seu conhecimento. Ambos os cenários primam pela participação democrática nos espaços de gestão de recursos hídricos e saneamento, com fins de justiça socioambiental (BERTOLDI; ROSA, 2019).

A participação direta da sociedade (por representação) está relacionada a todos os Desafios descritos na Figura 2, considerando-se o conceito da gestão participativa no planejamento e nas decisões técnico-políticas envolvidas na gestão de recursos hídricos e saneamento.

O objetivo principal em termos de desafios relacionados à capacitação da sociedade civil aborda principalmente a participação indireta. Trata-se de uma sociedade que precisa se engajar e se conscientizar sobre os aspectos atuais e futuros relacionados à água, por meio da construção de uma sociedade inteligente em termos de água (WATER EUROPE, 2020). No Brasil, a Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999) aborda a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino e o engajamento dessa sociedade na conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente, além de estimular a construção de uma sociedade ambientalmente equilibrada.

É nesse sentido que se sugere que os Desafios 3 e 7 estejam mais alinhados com a capacitação continuada dessa sociedade civil que participa indiretamente do tema. No caso do Desafio 3, é preciso abordar de maneira ampla a questão da disponibilidade hídrica real e da sua escassez em função dos aspectos de crescimento populacional, aumento da demanda por água, poluição acentuada das reservas hídrica e mudanças climáticas. Já o Desafio 7 deve ser alcançado nessa capacitação de forma a apresentar o risco inerente à prática, porém com

transmissão de segurança para minimizar os efeitos naturais da rejeição psicológica. Conforme destacado por (SANTOS; VIEIRA, 2020), essa rejeição pode ser entendida por “Fator Eca”, que em inglês é abordado como *Factor Yuck* e refere-se diretamente ao “nojo”.

Mediante finalização dos estudos de potencial, Mukejeree e Jansen (2020) destacam como desafio a implantação e operação de projetos piloto de reúso de água, anteriormente à condução do empreendimento definitivo, de forma a produzir experiência e resultados transparentes, inclusive com o objetivo de conquistar o usuário para minimizar os impactos da rejeição. A viabilidade do projeto final pode estar em causa, a partir de uma adequada condução ou não de um projeto piloto. Os mesmos autores destacam a operação de projetos piloto com duração de até 10 anos.

O projeto piloto, que por si só aponta para a garantia de êxito no empreendimento (Desafio 6), configura-se não somente como uma etapa importante, mas também estratégica no contexto da avaliação do potencial regional de reúso de água e da sistematização da prática. A sua operação é capaz de fornecer resultados preliminares relacionados aos principais entraves e aos benefícios, além de poder ser de grande relevância para o alinhamento da aceitação por parte da população e para o estabelecimento dos reais custos de produção da água para reúso. Ressalta-se que a sua aplicabilidade está diretamente relacionada ao porte do projeto, embora seja sempre recomendada.

Diante dos aspectos relacionados a implantação e operação de projeto piloto anteriormente à condução do(s) empreendimento(s) definitivo(s), observa-se a aderência do tema com os Desafios 2, 5, 6, 7 e 8 destacados na Figura 2. A operação do projeto piloto com objetivos claros e definidos permite um ganho de qualidade operacional (Desafio 2) e facilita a superação dos entraves burocráticos (Desafio 5), na medida em que, com transparência (Desafios 8), permite a articulação entre as prestadoras de serviço, os órgãos fiscalizadores e os reguladores, além de outros parceiros. Ainda, como uma importante ferramenta do estudo de viabilidade (Desafio 6), o projeto piloto permite uma avaliação mais aprofundada dos riscos microbiológicos de contaminação (Desafio 7) e se mostra um importante elo de confiança entre os envolvidos de maneira geral.

Destaca-se que o projeto piloto ainda pode ser um importante elemento de capacitação continuada para todas os atores envolvidos (gestores e tomadores de decisão, operadores de sistemas de reúso de água e sociedade civil), conforme demonstrado no fluxograma da Figura 2. E, especificamente no caso do público representado por operadores, possibilita ainda a elaboração de manuais de operação que considerem uma proposição de revisão e implantação de rotinas operacionais mais detalhadas e adequadas à prática de reúso, bem como indica a

inclusão de fatores relevantes ao alcance de melhores práticas operacionais das ETE e/ou Estações Produtoras de Água para Reúso (EPAR).

Como forma de considerar dois aspectos de extrema relevância na sistematização regional da prática de reúso de água, o presente trabalho abordou dois grandes desafios: 1) estudos de potencial, e 2) avaliação do risco. Assim, foram considerados o desenvolvimento e a aplicação de metodologia de avaliação de potencial regional de água, bem como a aplicação da metodologia semiquantitativa de avaliação do risco microbiológico em casos específicos do Brasil.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

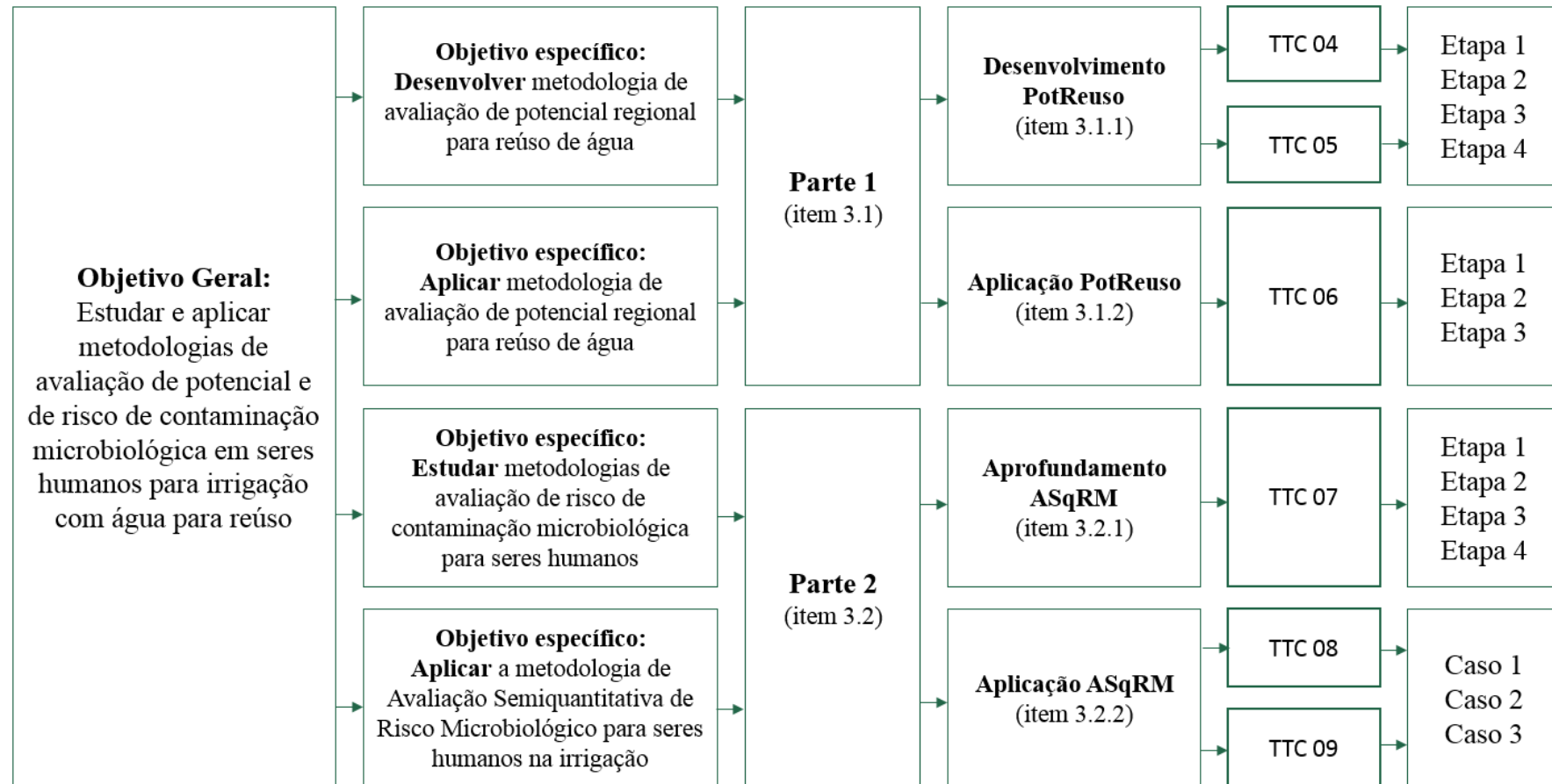
Com o objetivo de abordar os dois dos principais desafios relacionados ao reúso de água (avaliação de potencial e avaliação do risco microbiológico), o presente estudo foi conduzido em duas partes, ao longo de 16 meses (março de 2021 a julho de 2022): A **Parte 1** caracteriza o desenvolvimento e a aplicação de metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água (PotReuso). E, a **Parte 2** envolve o aprofundamento e a aplicação da metodologia semiquantitativa de avaliação do risco de contaminação microbiológica para seres humano, a partir do reúso de água, em irrigação (ASqRM).

A **Parte 1** foi dividida em dois segmentos, o Desenvolvimento PotReuso (Objetivo específico 1), o qual engloba 4 Etapas; e, posteriormente, a Aplicação PotReuso (Objetivo específico 2), incluindo 3 Etapas. Essa parte corresponde, diretamente, a três diferentes TTC desenvolvidos, contemplando, parcialmente, o objetivo geral do presente estudo.

A **Parte 2**, também dividida em dois, compreende o Aprofundamento ASqRM (Objetivo específico 3), envolvendo 4 Etapas; e, a Aplicação ASqRM (Objetivo específico 4), que contém 3 Casos. Essa parte também corresponde, diretamente, a três diferentes TTC desenvolvidos, contemplando, parcialmente, o objetivo geral do presente estudo.

Na Figura 3 pode ser observado o detalhamento do desenvolvimento da metodologia para o alcance do objetivo geral e dos objetivos específicos, compreendendo duas partes metodológicas que envolvem dois segmentos, cada uma, contemplando também os TTC produzidos.

Figura 3 - Correlação dos TTC desenvolvidos com as Etapas 1 e 2 da metodologia e, consequentemente, com o Objetivo geral e os objetivos específicos



Legenda: PotReuso: Estudo de Potencial; ASqRM: Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico; TTC: Trabalhos Técnico-Científicos.

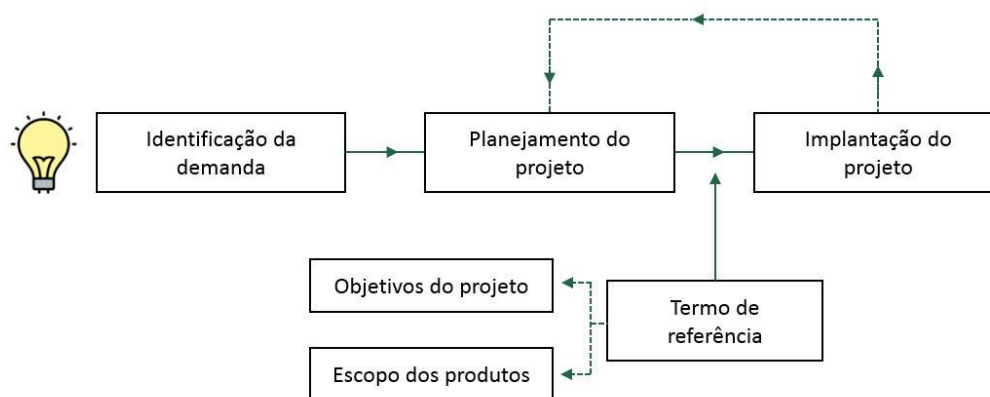
3.1. Parte 1 - Desenvolvimento e aplicação da metodologia de avaliação de potencial (PotReuso)

3.1.1 Desenvolvimento da metodologia PotReuso

A metodologia de PotReuso foi desenvolvida, para aplicação institucional, a partir do entendimento de que uma demanda específica de uma determinada região, resulta em um Projeto, que envolve os passos de planejamento e, posteriormente, a sua implantação. Cabe destacar que o quantitativo de passos a serem elaborados em um estudo de potencial depende da magnitude do projeto, do orçamento destinado para o estudo, como também das necessidades da instituição responsável pela sua elaboração.

Entretanto, existem alguns passos de elevada importância, desenhadas no presente trabalho, para que o projeto seja viável, conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma dos principais passos da realização de estudos de PotReuso



Fonte: Adaptado de Avelar et al. (2021).

Posteriormente à **identificação da demanda** já mencionada, cabe o desenvolvimento do **planejamento do projeto** que aborda o suprimento das demandas regionais voltadas para o reúso de água. Em um ambiente institucional, é importante desenvolver um **termo de referência** que deve conter elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar o objeto da contratação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e ambiental, e que possibilite a avaliação do custo do serviço e a definição dos métodos e do prazo de execução. Todo este caminho é para que a **implantação do projeto** incorpore instrumentos bem alinhados e estruturados, tanto no contexto da administração pública como no da administração privada.

De maneira geral, a metodologia proposta destacou o planejamento que envolve diretamente a “delimitação da área de estudo”. Esta pode se apresentar em diferentes escalas: i) no âmbito dos limites administrativos estaduais e municipais, ii) por bacias hidrográficas ou

regiões hidrográficas e iii) até mesmo em polos industriais, áreas irrigadas (públicas ou privadas) ou sistemas descentralizados.

No Quadro 2 estão apresentadas as principais variáveis que abrangem a delimitação da área de estudo, sendo elas: Localização das ofertas (LO); Localização das demandas (LD); Análise de qualidade (AQ); Avaliação de distâncias (AD); Listagem das áreas prioritárias (LAP); e, Estudo preliminar de custos (EPC).

Quadro 2 - Principais variáveis relacionadas à delimitação da área de estudo

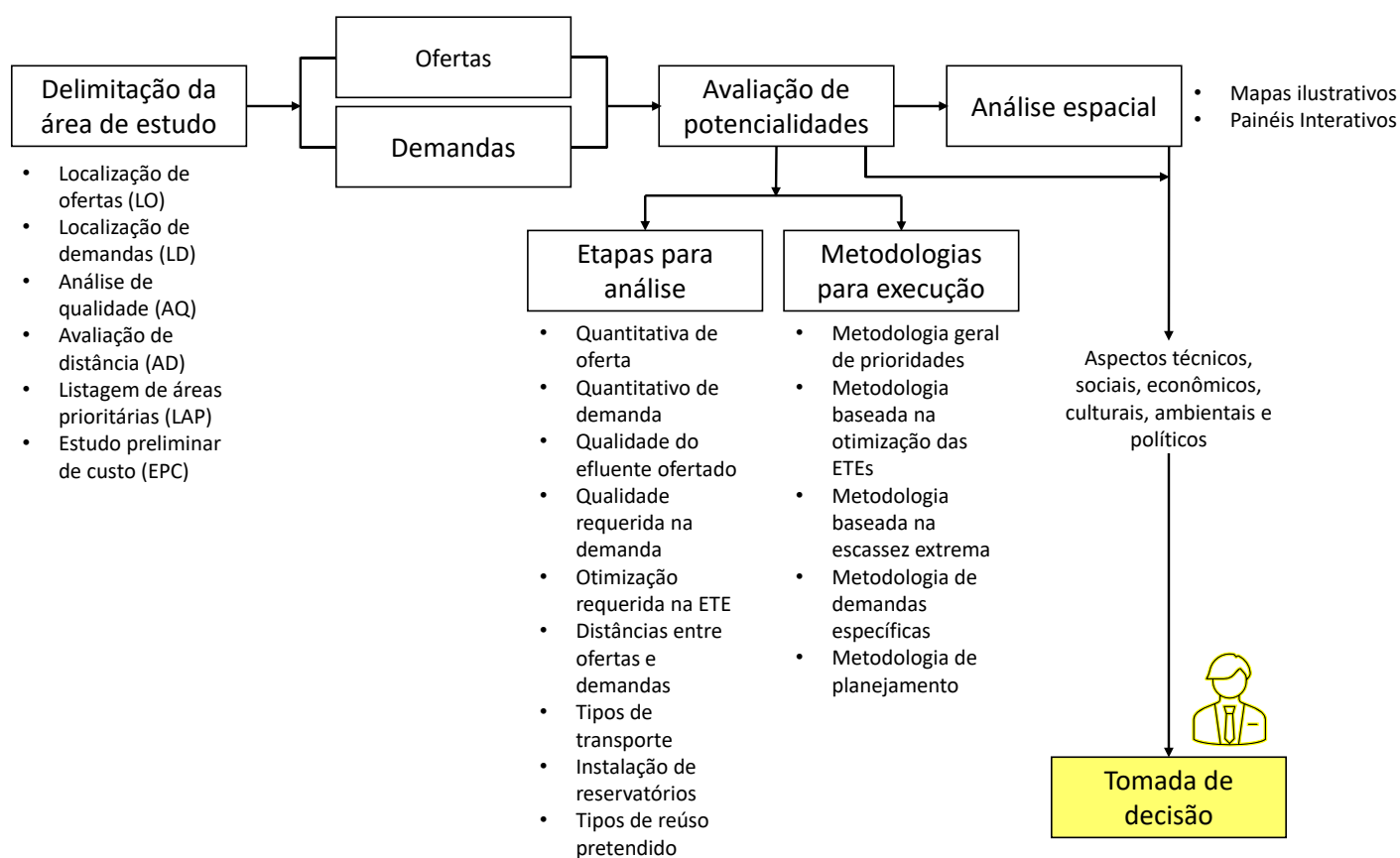
Variável	Explicação
Localização das ofertas (LO)	A localização das unidades, atuais e futuras, que podem fornecer água para reúso (ETE ou EPAR) é de grande relevância, sendo considerada uma das principais variáveis. É importante definir as ofertas, de modo a estabelecer critérios de fornecimento, tais como quantidade, qualidade, transporte e outros. Ter uma unidade de tratamento de esgotos em operação não significa, de imediato, ter disponibilidade para o reúso.
Localização das demandas (LD)	A localização das demandas, de maneira análoga à localização das unidades de oferta de água para reúso, é igualmente considerada prioridade. Essa variável deve prever as diferentes áreas, com distintos objetivos de demandas (atuais e futuras) que se encontram nas proximidades das unidades de oferta. Neste caso, podem ser elencadas áreas de conflitos pelo uso da água, áreas mais impactadas pela seca, áreas de expansão de atividades agrícolas ou industriais, entre outras.
Análise de qualidade (AQ)	A qualidade atualmente apresentada pelo efluente deve ser uma variável de destaque, já que pode inclusive demandar otimização da ETE para atender os objetivos de reúso ou mesmo melhorar aspectos operacionais. Uma avaliação criteriosa da série histórica de qualidade dos efluentes das potenciais Estações Produtoras de Água para Reúso (EPAR) de água para reúso é recomendada.
Avaliação de distâncias (AD)	É sabido que as distâncias entre unidades de oferta e áreas de demanda de água para reúso podem ser fatores limitantes para alavancar os empreendimentos. Distâncias muito elevadas podem apresentar custos de transporte inviáveis, seja ele realizado por caminhão ou por adução.
Listagem de áreas prioritárias (LAP)	Em regiões de escassez hídrica, os gestores podem se deparar com mais de uma área carente de água, inclusive com demandas de diferentes modalidades de reúso. Assim, é importante hierarquizar as áreas prioritárias, de acordo com os objetivos definidos, que podem ser: aumento da produção de alimentos, impulsionamento do desenvolvimento socioeconômico, redução de conflitos, melhoria da qualidade de corpos hídricos, entre outros. Destaca-se que essa hierarquização deve ser baseada, com mais peso, em critérios técnico/científicos do que em critérios políticos.
Estudo preliminar de custo (EPC)	O estudo de custo deve ser realizado de maneira preliminar e em ordem de grandeza, de forma a subsidiar e orientar as tomadas de decisão e os passos futuros para o estabelecimento dos empreendimentos prioritários.

Fonte: Silva Junior et al. (2021).

Posteriormente, definiram-se as especificidades relacionadas às potenciais ofertas e demandas de água, levando-se em consideração os levantamentos realizados e as localizações de ambas. Geralmente, às potenciais ofertas são as Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) compreendidas na área de estudo; e as potenciais demandas são levantadas por meio de diferentes fontes. Muitas dessas informações constam em documentos publicados por órgãos públicos, como por exemplo, os documentos publicados pela Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), no Brasil.

Na Figura 5, observa-se o fluxograma geral da metodologia de potenciais regionais de reúso de água, que se inicia com a delimitação da área de estudo, com o levantamento de ofertas e demandas; passa pela avaliação das potencialidades, incluindo as etapas de análise e metodologias para execução; até a análise espacial, que envolve diferentes formatos de mapas. Por fim, a tomada de decisão pode ser mais assertiva e contextualizada.

Figura 5 - Fluxograma geral da metodologia de potencialidades regionais para a prática de reúso de água



Fonte: Silva Junior et al. (2021).

3.1.2 Aplicação da metodologia PotReuso

A metodologia **PotReuso** foi aplicada em contexto científico (não institucional) no território brasileiro, mais especificamente nas Regiões Hidrográficas Brasileiras (RHB), com o objetivo de indicar áreas de maior potencial, considerando dados de disponibilidade hídrica para irrigação agrícola e de potencial oferta de ApR.

Assim, a pesquisa foi desenvolvida em três etapas, com as seguintes atividades:

- **Etapla 1:** Definição das categorias de efluentes e estimativas de vazões, de acordo com as eficiências de remoção de matéria orgânica e de remoção e inativação de organismos patogênicos para as ETEs de estudo.
- **Etapla 2:** Compilação das vazões referentes às demandas hídricas para irrigação, de cada Região Hidrográfica.
- **Etapla 3:** Comparação da produção da ApR, proveniente das ETEs, com as demandas hídricas de irrigação por Região Hidrográfica.

Na **Etapla 1** foi utilizado o Atlas Esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas, elaborado pela Agência Nacional de Águas – ANA, publicado em 2017 (ANA, 2017). Deste documento foram utilizados, referentes a todos os municípios brasileiros, os seguintes dados: Existência de ETE; Eficiência na remoção de matéria orgânica; Tecnologias de tratamento adotadas no fluxograma da ETE; e, Vazão de operação.

Posteriormente, foram categorizados os efluentes provenientes das ETEs, em relação ao desempenho na remoção de matéria orgânica e na remoção e/ou inativação de organismos patogênicos, sendo elas:

- Categoria 01 - ETEs que poderiam acrescentar somente uma etapa de desinfecção em seus fluxogramas para disponibilizarem o efluente ao reúso, já que apresentam uma remoção de matéria orgânica superior a 80%; e
- Categoria 02 - ETEs que poderiam fornecer diretamente o efluente para reúso, por levarem em consideração em seus fluxogramas alguma tecnologia com objetivo de remoção e inativação de organismos patogênicos.

Cabe-se ressaltar que as ETEs que apresentaram em seus fluxogramas eficiência de remoção de matéria orgânica inferiores a 80% não foram categorizadas e foram consideradas para este estudo, como “sem categoria”. A justificativa para tal é devido a estas requererem altos investimentos para adequação do efluente ao reúso, pois seria necessária uma etapa secundária ou um polimento anteriormente à desinfecção. Por fim, todas as ETEs em operação no Brasil e contempladas neste estudo, resultaram em 2.768 unidades.

Na **Etapa 2**, foi utilizado como base de levantamento de demanda, o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, elaborado pela Agência Nacional de Águas - ANA, publicado em 2019 (ANA, 2019). Deste documento foram extraídos os dados de demanda de irrigação para cada Região Hidrográfica Brasileira.

A demanda de água para a irrigação varia em função de alguns fatores tais como: regime de chuvas (distribuição espacial e temporal), índices de insolação e evaporação, época do ano, quantidade de água requerida em função da cultura a ser irrigada, qualidade do solo e possibilidade maior ou menor de armazenamento de água, além dos métodos de irrigação. Em geral, os principais métodos/sistemas de irrigação são divididos em aspersão, pivô central, gotejamento, sulcos, inundação e hidroponia. Cada um desses, leva a um maior ou menor consumo de água e algumas culturas se adaptam somente a um deles. Inclusive, no Brasil, para definição da metodologia de cobrança pelo uso da água para irrigação, de acordo com Araujo et al. (2018), os comitês de bacias hidrográficas adotam metodologias específicas com diferentes coeficientes que levam em consideração o método de irrigação e consequentemente o volume de água utilizada, que não retorna aos corpos d'água.

No contexto do desenvolvimento dessa etapa, podem ser observadas na Figura 6, todas 12 as Regiões Hidrográficas no mapa do Brasil, juntamente com as Unidades Federativas.

Figura 6 - Distribuição das Regiões Hidrográficas Brasileiras e representação das Unidades Federativas



Fonte: ANA (2017).

Por fim, na **Etapa 3**, foi realizada a comparação da oferta da ApR, com os dados de vazão de cada ETE, de acordo com as Categorias 01 e 02, com as vazões de demanda de água para irrigação de cada Região Hidrográfica. Assim, foi possível realizar uma análise crítica da gestão de recursos hídricos no Brasil e da inclusão da ApR na matriz hídrica nacional.

3.2. Parte 2 – Aprofundamento e aplicação da metodologia semiquantitativa de Avaliação de Risco Microbiológico (ASqRM)

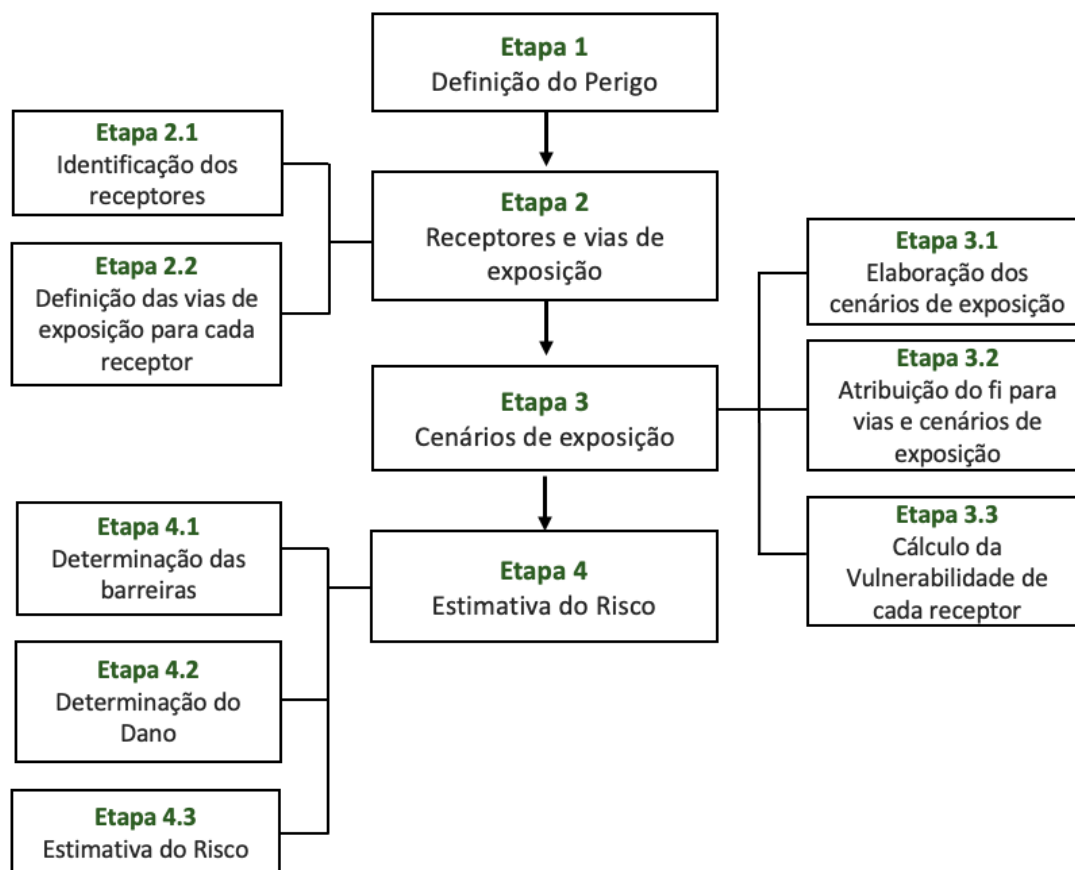
3.2.1 Aprofundamento da metodologia ASqRM

A Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM) é dividida em quatro etapas:

- **Etapa 1:** Identificação do Perigo;
- **Etapa 2:** Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores;
- **Etapa 3:** Cenarização da exposição de acordo com a dose;
- **Etapa 4:** Caracterização do Risco.

Cada uma das quatro etapas envolve diferentes sub etapas, que devem ser severamente percorridos para a garantia do êxito da aplicação de uma prática de reúso segura na irrigação, conforme apresentado no fluxograma da Figura 7.

Figura 7 - Fluxograma de aplicação da metodologia ASqRM



Fonte: Adaptado de Lima, Santos e Vieira (2021).

Inicialmente, na **Etapa 1**, deve-se identificar o Perigo relacionado à prática de reúso de água na irrigação, que configura o risco microbiológico. Nesta etapa são identificados os possíveis agentes que possuem potencial de causar efeitos adversos. De acordo com Rebelo e Franco (2019) o Perigo pode ser caracterizado como aquele que possui a capacidade de ocasionar danos à saúde humana e ao meio ambiente, a curto ou longo prazo.

Segundo ISO (2020b), até os dias atuais, não há evidências de efeitos adversos dos contaminantes de preocupação emergente (resíduos de fármacos e de produtos de higiene pessoal) na saúde humana ou no meio ambiente por irrigação com ApR ou por consumo de culturas irrigadas neste modelo. Assim, os perigos inerentes à ApR a ser disponibilizada para a irrigação, relacionam-se principalmente ao conteúdo microbiológico, em especial os microrganismos patogênicos.

A *Escherichia coli* (E. coli) configura-se como a variável mais adequada para definição do Perigo associado à saúde humana em práticas de irrigação com ApR (CHHIPI-SHRESTHA;

HEWAGE; SADIQ, 2017; ZHITENEVA et al., 2020), embora os Coliformes Termotolerantes também possam ser adotados.

A Tabela 2 mostra a classificação do Perigo relacionado à qualidade da ApR, considerando o padrão de *E. coli*, de acordo com o nível de tratamento do efluente.

Tabela 2 - Classificação do Perigo baseada na opção de tratamento de efluente e consequente qualidade microbiológica

Nível	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Classificação	Opção de tratamento
V	$E. coli \geq 10^4$	9	Secundário
IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7	Secundário + desinfecção
III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5	Avançado
II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3	Secundário + desinfecção + cloração
I	$E. coli \leq 10^1$	1	Avançado + cloração

Fonte: Adaptado de Rebelo et al. (2020).

Na **Etapa 2** são identificados os possíveis receptores (Etapa 2.1) que possuem susceptibilidade à exposição, por meio das seguintes vias: ingestão, inalação e adsorção dérmica, de forma direta ou indireta. Posteriormente, para cada receptor identificado, é necessário atribuir as vias de exposição (Etapa 2.2).

Etapa 2.1 – Identificação dos receptores envolvidos

Os receptores envolvidos devem ser identificados de acordo com as principais características do projeto analisado, tais como método e sistemas de irrigação, tipologia de cultura, localização da área, vizinhança, entre outros. Os potenciais receptores são aqueles que estão susceptíveis à exposição, destacando-se o ser humano, animais e vegetação (REBELO; FRANCO, 2019). No presente estudo foram adotados somente receptores humanos.

De acordo com Rebelo et al. (2020), os seres humanos podem ser separados por faixa etária, por função ocupada na cadeia produtiva e por aderência com o projeto. No caso da faixa etária, as crianças, os adolescentes e os idosos, normalmente, são mais susceptíveis do que os adultos. Em relação à função na cadeia produtiva, destaca-se maior Vulnerabilidade dos agricultores e operadores do sistema (produtores) do que dos comerciantes, pelo fato de o primeiro grupo estar mais próximo ao evento da irrigação e consequentemente à ApR. E, em relação à aderência com o projeto, consumidores e vizinhança apresentam diferentes graus de susceptibilidade, em se tratando da distância a que se encontra a vizinhança dos sistemas de irrigação e da forma de consumo da cultura por parte dos consumidores.

Etapa 2.2 – Receptores x vias de exposição

De acordo com Rebelo et al. (2020), as vias de exposição (ingestão, inalação e adsorção dérmica) e suas ocorrências (direta ou indireta) podem se combinar de diferentes formas, a exemplo da via ingestão, por ocorrência direta, que pode ser intencional, acidental, pela falta

de informação sobre a potabilidade da água, inadvertidamente pela ingestão de microgotículas durante a irrigação por aspersão, entre outros.

A inalação por seres humanos acontece de forma direta por aspiração da água para reuso, por exemplo, em casos de irrigação por aspersão; e de forma indireta, por meio de animais domésticos que levam as gotículas para esses ambientes. Já a adsorção se dá por meio do contato com superfícies molhadas ou úmidas, por ocorrência direta ou indireta (REBELO; FRANCO, 2019).

De acordo com WHO (2006), as vias de exposição de mais alto risco em relação à ApR são a ingestão e a inalação, principalmente em situações em que são produzidos aerossóis, como o caso da irrigação por aspersão. Sobre a adsorção dérmica, menores evidências de infecção são conhecidas, tendo sido identificados alguns casos em alguns estudos, no Sudoeste Asiático, de dermatites, urticária e infecções fúngicas dos dedos ou das unhas em trabalhadores de sistemas de uso de águas residuais não tratadas ou apenas parcialmente tratadas (ADEGOKE et al., 2018).

A **Etapla 3** compreende a cenarização da exposição de acordo com a dose.

Etapla 3.1 – Cenários de exposição

A definição dos cenários de exposição é apontada como uma das etapas que mais demanda atenção devido à complexidade da análise e ao elevado nível de incerteza, principalmente em áreas de acesso irrestrito com elevada circulação de pessoas (REBELO et al., 2020). A identificação de cenários de exposição deverá ser a mais exaustiva possível, independentemente da probabilidade de sua ocorrência (REBELO; FRANCO, 2019).

Etapla 3.2 – Atribuição dos fatores de importância (f_i) para as vias e os cenários de exposição

Para cada cenário de exposição é importante levar em consideração as características específicas do local e dos hábitos regionais, bem como dos critérios operacionais de aplicação da ApR. Para cada tipo de receptor, o valor atribuído deve variar em função do entendimento de maior ou menor exposição em cada situação e das evidências descritas na literatura, relacionadas à infecção associada aos cenários, conforme apresentado por Rebelo et al. (2020). Esta etapa engloba elevado grau de incertezas devido à ausência de dados que demonstrem as infecções relacionado ao uso não potável (REBELO et al., 2020; ZHITENEVA et al., 2020).

Fatores de importância (f_i), relacionados à probabilidade de infecção, são atribuídos aos distintos receptores, para cada cenário estabelecido, com valores que variam de 1 a 9 (SAATY, 1980), em função de uma abordagem qualitativa empírica de julgamento. De acordo com Rebelo et al. (2014), o uso dessa escala permite tratar a complexidade do problema por meio da

sua decomposição em fatores claros e dimensionáveis, facilitando o estabelecimento de relações comparativas para a construção de hierarquias e a definição de prioridades.

Com o intuito de reduzir as incertezas, a análise deve sempre considerar a perspectiva de pior caso possível; cenários que apresentam vias de exposição com elevada importância de infecção devem ser inicialmente considerados com os mais altos f_i (REBELO et al., 2020). Para as atribuições de f_i , devem ser apontadas justificativas condizentes e adequadas a cada situação. De acordo com Rebelo et al. (2020), essa justificativa, baseada nas hierarquias construídas e nas prioridades definidas, proporciona uma minimização das incertezas, além de intensificar a avaliação do risco, garantindo maior confiabilidade.

Na Tabela 3 podem ser observados os f_i relacionados aos cenários de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$) e às vias de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$). Para as vias de exposição, as seguintes variações são admitidas (REBELO et al., 2020): para via de ingestão é sempre atribuído o valor 9; para inalação, 5 ou 9; e para adsorção dérmica, o valor 3.

Tabela 3 - Fator de importância aplicável à cada cenário de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$) e às vias de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$)

Cenário de exposição		Via de exposição		
Nível de importância	$f_{i \text{ cen exp}}$	Via	$f_{i \text{ via exp}}$	Nível de importância
Absoluta (via de infecção extremamente elevada)	9	Ingestão	9	Absoluta
Demonstrada (via de infecção essencial ou forte)	7	Inalação	9	Absoluta em irrigação por aspersão
Eventual (via de infecção possível)	5	Inalação	5	Eventual em outros sistemas de irrigação
Fraca (ausência de dados sobre a via de infecção)	3	Adsorção	3	Fraca devido à ausência de dados de infecção
Baixa (ausência de via de infecção)	1			

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Fonte: Adaptado de Rebelo et al. (2020).

Etapa 3.3 – Cálculo da Vulnerabilidade do receptor

A estimativa da Vulnerabilidade é realizada a partir da aplicação das equações apresentadas no Quadro 3 e deve ser realizada para cada receptor. A Equação 1 caracteriza uma soma das relações individuais entre o f_i da via de exposição e o número de cenários para cada situação. Na Equação 2 é realizado o somatório do produto do f_i da via de exposição com o f_i do cenário de exposição. Já na Equação 3 tem-se o cálculo do fator de normalização, onde o fator de importância máximo é igual a 9, pois considera-se o maior valor de importância. A utilização de fatores de normalização em processos analíticos hierárquicos permite a redução e adequação da escala de trabalho (ISHIZAKA; LUSTI, 2006). Por meio da Equação 4, estima-se a Vulnerabilidade de cada receptor.

Quadro 3 - Equações adotadas no cálculo da Vulnerabilidade

Somatório dos fatores de importância para vias de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$)	Somatório do produto ($f_{i \text{ via exp}}$) x ($f_{i \text{ cen exp}}$)	Cálculo do fator de normalização	Cálculo da Vulnerabilidade de cada receptor
$\sum(f_{i \text{ via exp}} \times n^{\circ} \text{ cen exp}_i)$	$\sum(f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}})$	$f_{i \text{ máx}} \times \sum(f_{i \text{ via exp}} \times n^{\circ} \text{ cen exp}_i)$	$V_r = \frac{\sum(f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}})}{f_{\text{normalização}}}$
Equação 1	Equação 2	Equação 3	Equação 4

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de importância para cada via de exposição
 $n^{\circ} \text{ cen exp}_i$ = número de cenários aplicável a cada receptor
 $f_{i \text{ cen exp}}$ = fator de importância de cada cenário de exposição
 $f_{i \text{ máx}}$ = valor máximo da escala de fatores de importância ($f_{i \text{ máx}} = 9$)
 $f_{\text{normalização}}$ = fator de normalização

Fonte: Adaptado de Rebelo (2018); Rebelo et al. (2020).

Por fim, a **Etapa 4** aborda a caracterização do Risco, com a identificação das barreiras para determinar o Dano e, então, estimando o Risco.

Etapa 4.1 – Identificação das barreiras

Com o objetivo de minimização do contato dos receptores com a ApR, pelas vias de exposição (direta e indireta) através da ingestão, inalação e adsorção dérmica, é introduzido o conceito de barreiras físicas ou químicas (ISO, 2020b). Dessa forma, uma barreira pode ser definida como o meio de redução e prevenção dos riscos associados à saúde e ao meio ambiente, evitando o contato com a ApR e/ou melhorando sua qualidade (ISO, 2018).

Assim, a qualidade da água não se configura como o único parâmetro de garantia da proteção à saúde em projetos de reúso. Outras opções, como tipo e horário de irrigação, características das culturas ou opções de colheita podem limitar o contato entre os receptores e os organismos patogênicos presentes na ApR (REBELO et al., 2020). Algumas barreiras, designadas por barreiras equivalentes, exercem um papel de equivalência em relação à patogenicidade da ApR, mesmo que ela ainda apresente valores mais elevados do que o máximo aceitável para o padrão indicador de contaminação fecal, para aquele fim (ISO, 2020b).

Ao considerar essas opções, a ApR com mais baixa qualidade pode ser usada para diferentes fins em contexto de barreiras múltiplas (REBELO et al., 2020). Neste caso, o risco é minimizado, pois a probabilidade de falha de múltiplas barreiras é inferior à probabilidade de falha de uma única barreira (REBELO; FRANCO, 2019). O princípio básico das múltiplas barreiras é que a falha de uma barreira pode ser compensada pela operação eficaz das barreiras restantes, de forma a tornar o projeto mais confiável.

Na Tabela 4 estão apresentados tipos de barreiras equivalentes, suas correspondentes reduções de unidades logarítmicas de organismos patogênicos e o número associado de barreiras equivalentes.

Tabela 4 - Barreiras e número de barreiras equivalentes associadas à redução de organismos patogênicos para irrigação de culturas alimentícias com a ApR

Tipo de barreira	Aplicação	Redução de Patógenos (Log)	Número de barreiras equivalentes
Irrigação por gotejamento	Irrigação por gotejamento com crescimento próximo do solo (25 cm), crescimento distante do solo (50 cm) ou subterrâneo ¹	2 – 6	1 - 3
Irrigação por aspersão	Irrigação por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento, próximo do solo (25 cm) ou de árvores frutíferas distantes do solo (50 cm) ¹	2 – 4	1 - 2
Cloro residual	Desinfecção que garanta concentração residual menor que $< 1 \text{ mg.L}^{-1}$ (baixo nível) ou que garanta concentração residual menor que $> 1 \text{ mg.L}^{-1}$ (alto nível) ²	2 – 4	1 - 2
Redução de organismos patogênicos	Interrupção da irrigação antes da colheita	0,5 a 2 por dia	1 - 2
Lavagem antes da venda para o consumidor	Lavagem das culturas de legumes, verduras e frutas com água potável	1	1
Desinfecção antes da venda para o consumidor	Lavagem das culturas de legumes, verduras e frutas com solução desinfetante e enxague com água potável	2	1
Remoção de casca	Descascamento das frutas e raízes	2	1
Cultura de consumo após o cozimento	Imersão em água fervente ou em altas temperaturas até o cozimento do produto	6 – 7	3
Restrição do acesso	Restrição de entrada no local irrigado por 1 dia ou mais após a irrigação ou 5 dias ou mais após a irrigação ³	0,5 a 2 – 2 a 4	1 - 2
Secagem de safras de forragem	Culturas forrageiras ou outras que são expostas para secagem ao sol e colhidas antes do consumo	2 a 4	2

Nota: 1 – Culturas com crescimento mais próximo do solo apresentam valores mais baixos de redução de patógenos e de barreiras equivalentes; o oposto é verdadeiro. 2 – Desinfecção de baixo nível está associada a valores mais baixos de redução de patógenos de barreiras equivalentes; o oposto é verdadeiro. 3 – Inclui trabalhadores e animais; quanto mais dias de restrição de acesso, mais elevada pode ser considerada a redução de patógenos e o número de barreiras equivalentes.

Fonte: Adaptado de ISO (2020b); WHO (2006); USEPA (2012).

Etapas 4.2 – Determinação do Dano

Neste ponto, é analisada a Severidade do dano versus a probabilidade de falha de cada barreira associada ao projeto, definida na Etapa 4.1. Vieira (2018) apresenta um modelo de aplicação generalizada para este tipo de análise, denominada matriz de priorização, cujas

células, agrupadas em um determinado número de classes, representam valores, relacionando a probabilidade (frequência) da ocorrência dos eventos com a consequência (Severidade) dos respectivos impactos. De maneira análoga, Rebelo (2018) adaptou a matriz de Dano apresentada na Figura 8, a partir da (ISO, 2018).

Figura 8 - Matriz de determinação do Dano parcial de acordo com as barreiras

Severidade dos danos ↓	Consequência				
	Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
Insignificante	1	1	2	2	3
Fraco	1	2	4	4	5
Moderado	2	4	4	6	7
Forte	2	4	6	8	9
Severo	3	5	7	9	9

Fonte: Adaptado de Rebelo (2018).

A estimativa do Dano é realizada a partir da aplicação das equações apresentadas no Quadro 4. Primeiramente, deve-se realizar o somatório dos Danos parciais (Equação 5), referentes à cada barreira associada ao projeto. Posteriormente, procede-se com o cálculo do fator de normalização (Equação 6). E, por fim, calcula-se o Dano (Equação 7) a partir das duas anteriores.

Quadro 4 - Equações adotadas na estimativa do Dano

Somatório dos Danos parciais (d_i)	Cálculo do fator de normalização	Cálculo do Dano
$\sum (d_i * n_i)$	$f_{normalização} = (f_{i_{máx}} * n_t)$	$Dano = \frac{\sum (d_i * n)}{f_{normalização}}$
Equação 5	Equação 6	Equação 7
$d_i = \text{severidade dos danos} \times \text{probabilidade de falha na barreira}$ $n_i = \text{número de barreiras equivalentes de acordo com a Tabela 4}^1$ $n_t = \text{número total de barreiras equivalentes}$ $f_{i_{máx}} = \text{valor máximo da escala da matriz de Dano } (f_{i_{máx}} = 9)$ $f_{normalização} = \text{fator de normalização}$		

Nota: ¹ pode ser igual a um (1) quando a média in situ não estiver listada como barreira equivalente.

Fonte: Adaptado de Rebelo (2018); Rebelo et al. (2020).

Etapa 4.3 – Estimativa do Risco

Nesta etapa procede-se com o cálculo da estimativa do Risco para cada receptor de acordo com a Equação 8. O Risco Global (R_{Global}) é uma média aritmética entre os riscos individuais associados a cada receptor, conforme apresentado na Equação 9. Ambas as equações estão apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5 - Equações adotadas na estimativa do Risco

Risco para cada receptor	Risco Global
$R_{receptor} = Perigo \times Dano \times V_{receptor}$	$R_{Global} = \frac{\sum R_{Receptor}}{N_{Receptores}}$
Equação 8	Equação 9
$R_{receptor}$ = Risco estimado para cada receptor	
$V_{receptor}$ = Vulnerabilidade de cada receptor	

Fonte: Adaptado de Rebelo (2018); Rebelo et al. (2020).

O Perigo foi previamente estabelecido na Tabela 2 (Etapa 1), o Dano foi calculado por meio da Equação 7 (Etapa 4.2) e a Vulnerabilidade de cada receptor por meio da Equação 4 (Etapa 3.3).

O Risco Global apresenta valores que variam entre maior que zero e menor que nove, dependendo das características envolvidas em cada projeto (cenários, fatores de importância atribuídos, barreiras etc.). A priorização é alcançada pela conversão do R_{Global} em uma escala qualitativa de três níveis, conforme apresentado na Tabela 5 e adotado por outros autores (REBELO et al., 2020).

Tabela 5 - Níveis de Risco Global na escala quantitativa e qualitativa

Nível do Risco Global	
Escala Quantitativa	Escala Qualitativa
$0 < \text{Risco Global} < 3$	Risco Desprezável
$3 \leq \text{Risco Global} < 7$	Risco Aceitável
$7 \leq \text{Risco Global} < 9$	Risco Inaceitável

Fonte: Rebelo (2018).

Em caso de Risco Global inaceitável, é necessário realizar a repetição de todo o processo, de forma a reavaliar as etapas, com novas ações como alteração do nível de tratamento do efluente e aplicações de novas barreiras de forma a alcançar um Risco Aceitável ou desprezável. Caso o nível minimamente aceitável não seja obtido, considera-se inviável a implantação do projeto (REBELO et al., 2020).

Uma vez atingido o nível de Risco adequado a um projeto específico, o Perigo previamente estabelecido (neste caso uma determinada densidade de *E. coli*) na caracterização do Risco pode ser validado de modo equivalente ao padrão de qualidade (REBELO et al., 2020).

3.2.2 Aplicação da metodologia ASqRM

Com o intuito de consolidar o conhecimento da metodologia ASqRM, aprofundada no item 3.2.1 do presente estudo, elaboraram-se três casos de aplicação. No **Caso 1** foi realizada a aplicação virtual, que considerou a irrigação, por método localizado, com sistema de gotejamento, de cultura comestível, de consumo preferencialmente cru, e sem casca. No **Caso**

2, a aplicação da ASqRM se deu nas RHs que possuem acima de 10% de atendimento da demanda de irrigação com a utilização da ApR, como resultado da aplicação do item 3.2.1. E, no **Caso 3** a metodologia ASqRM foi utilizada na tipologia de cultura que demanda maior quantitativo de água no Brasil, a rizicultura com irrigação por sulcos ou inundação.

Para o alcance do **Caso 1**, como já mencionado anteriormente, foi elaborado um exemplo de situação que permite irrigação com restrição de acesso, em culturas consumidas crua, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em contato direto com a água (Classe C; E. Coli $\leq 10^3$; 3 barreiras aplicáveis).

Na Tabela 6 estão apresentadas as principais características do Caso 1 aplicados a metodologia ASqRM.

Tabela 6 - Características adotadas para a aplicação da ASqRM no Caso 1

Etapas	Dados	Observação
Definição do Perigo (Etapa 1)	7	Efluente sanitário desinfetado
Identificação dos receptores (Etapa 2 - Etapa 2.1)	Agricultor Consumidor	Maior exposição ao perigo Menor exposição ao perigo
Definição das vias de exposição (Etapa 2 - Etapa 2.2)	Ingestão, Inalação e Adsorção	Todas as vias foram adotadas para todos os receptores
Elaboração dos cenários de exposição (Etapa 3 - Etapa 3.1)	1. ingestão inadvertida durante a irrigação 2. ingestão intencional a partir do sistema de irrigação 3. ingestão da cultura 4. ingestão de solo 5. inalação de microgotículas durante a irrigação 6. adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes 7. adsorção por contato com sistema de irrigação 8. adsorção por contato com outras superfícies	
Atribuição do f_i para vias e cenários de exposição (Etapa 3 - Etapa 3.2)	Dados adotados de acordo com os valores estabelecidos na Tabela 3	
Cálculo da Vulnerabilidade de cada receptor (Etapa 3 - Etapa 3.3)	Calculado com base nas equações 1 a 4	
Determinação das barreiras (Etapa 4 - Etapa 4.1)	Irrigação por gotejamento - crescimento distante do solo (50 cm); Remoção da casca - Descascamento das frutas (conforme Tabela 4)	
Determinação do Dano (Etapa 4 - Etapa 4.2)	Calculado com base nas equações 5 a 7	
Estimativa do Risco (Etapa 4 - Etapa 4.3)	O Risco para cada receptor foi estimado com base na Equação 8; O Risco Global foi estimado com base na Equação 9	

Para o **Caso 2** foram empregados três passos: Passo 1 – Comparação da potencial oferta da ApR com a demanda para irrigação no Brasil; Passo 2 – Identificação das RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água e levantamento das tipologias de cultura predominantes; e, Passo 3 – Aplicação da metodologia ASqRM nas RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água.

No Passo 1 foi aplicada a metodologia de PotReuso (**Parte 1**), descrita no item 3.1.2, para todas as RHs brasileiras. Para a elaboração do Passo 2, foram identificadas as RHs com potencial para a aplicação da ApR com percentual acima de 25% da soma das Categorias 1 e 2 (**Etapa 1** – item 3.1.2). Para estas RHs identificadas, foram levantados os dados referentes às tipologias de cultura predominantes e os métodos de irrigação predominante. Por fim, no Passo 3, aplicou-se a metodologia ASqRM (**Etapa 2** – item 3.2.1) para as RHs de elevado potencial para a aplicação da prática de reúso de água. Na Tabela 7 estão apresentadas as principais características do Caso 2 para a aplicação da metodologia ASqRM.

Tabela 7 - Características adotadas para a aplicação da ASqRM no Caso 2

Etapas	Dados	Observação
Definição do Perigo (Etapa 1)	7	Efluente sanitário desinfetado
Identificação dos receptores (Etapa 2 - Etapa 2.1)	Agricultor Consumidor Vizinhança	Maior exposição ao perigo Média exposição ao perigo Menor exposição ao perigo
Definição das vias de exposição (Etapa 2 - Etapa 2.2)	Ingestão, Inalação e Adsorção	Todas as vias foram adotadas para todos os receptores
Elaboração dos cenários de exposição (Etapa 3 - Etapa 3.1)	1. ingestão inadvertida durante a irrigação 2. ingestão intencional a partir do sistema de irrigação 3. ingestão da cultura 4. ingestão de solo 5. inalação de microgotículas durante a irrigação 6. adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes 7. adsorção por contato com sistema de irrigação 8. adsorção por contato com outras superfícies	
Atribuição do f_i para vias e cenários de exposição (Etapa 3 - Etapa 3.2)	Dados adotados de acordo com os valores estabelecidos na Tabela 3	
Cálculo da Vulnerabilidade de cada receptor (Etapa 3 - Etapa 3.3)	Calculado com base nas equações 1 a 4	
Determinação das barreiras (Etapa 4 – Etapa 4.1)	Irrigação por gotejamento - crescimento distante do solo (50 cm); Cultura de consumo após o cozimento; Irrigação por aspersão com crescimento distante do solo (50 cm); Cultura de consumo após o cozimento (conforme Tabela 4)	
Determinação do Dano (Etapa 4 – Etapa 4.2)	Calculado com base nas equações 5 a 7	
Estimativa do Risco (Etapa 4 – Etapa 4.3)	O risco para cada receptor foi estimado com base na Equação 8; O Risco Global foi estimado com base na Equação 9	

No **Caso 3**, a metodologia ASqRM (**Parte 2** – item 3.2.1) foi aplicada para a tipologia de cultura que ocupa mais de 25% da área total irrigada (1298 Mha) e demanda cerca de 40% do total de volume de água captado no Brasil, a rizicultura (ANA, 2021).

De maneira geral, a cultura do arroz é produzida a partir da irrigação por sulcos ou inundação. Embora os níveis de exposição dos receptores ao Perigo sejam distintos, adotou-se

similaridade na aplicação da metodologia, pelo fato de ambos levarem em consideração o alagamento da área.

Destaca-se ainda que a metodologia ASqRM deve ser aplicada em cada projeto, individualmente, considerando que os níveis de exposição podem variar em função das características locais e das condições operacionais da irrigação, da colheita, do armazenamento. Assim, essa abordagem generalizada, adotada no presente estudo, se configura somente para efeitos de estudos científicos, visto que a ação pode acarretar um elevado grau de incerteza.

Os dados adotados para a aplicação da metodologia ASqRM, para o Caso 3, estão apresentados na Tabela 8, conforme modelo anteriormente descrito (**Parte 2** – item 3.2.1).

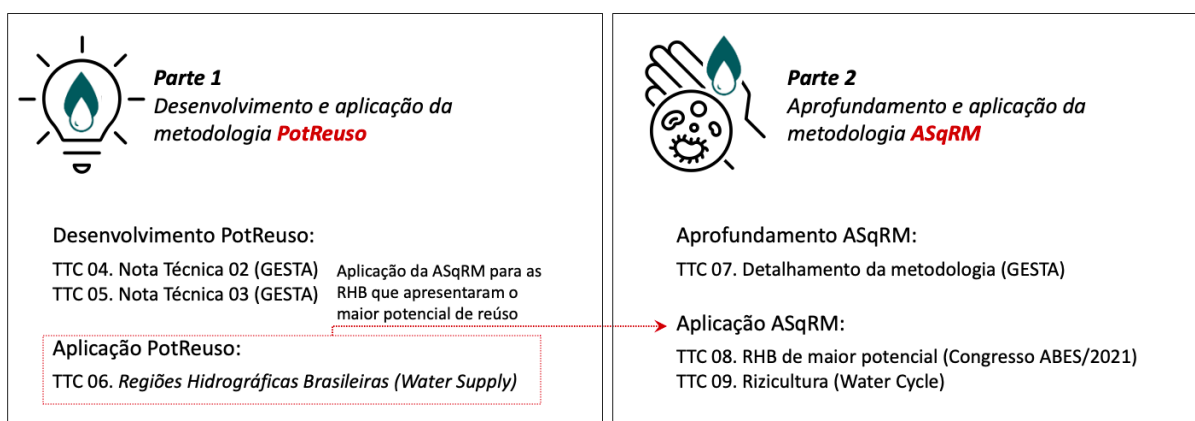
Tabela 8 - Características adotadas para a aplicação da ASqRM no Caso 3

Etapas	Dados	Observação
Definição do Perigo (Etapa 1)	7 e 9	Efluente sanitário desinfetado
Identificação dos receptores (Etapa 2 - Etapa 2.1)	Agricultor Vizinhança Consumidor	Maior exposição ao perigo Média exposição ao perigo Menor exposição ao perigo
Definição das vias de exposição (Etapa 2 - Etapa 2.2)	Ingestão, Inalação e Adsorção	Todas as vias foram adotadas para todos os receptores
Elaboração dos cenários de exposição (Etapa 3 - Etapa 3.1)	1. ingestão inadvertida durante a irrigação 2. ingestão intencional a partir do sistema de irrigação 3. ingestão da cultura 4. ingestão de solo 5. adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes 6. adsorção por contato com sistema de irrigação 7. adsorção por contato com outras superfícies	
Atribuição do f_i para vias e cenários de exposição (Etapa 3 - Etapa 3.2)	Dados adotados de acordo com os valores estabelecidos na Tabela 3	
Cálculo da Vulnerabilidade de cada receptor (Etapa 3 - Etapa 3.3)	Calculado com base nas equações 1 a 4	
Determinação das barreiras (Etapa 4 – Etapa 4.1)	Remoção da casca - Descascamento das frutas; Cultura de consumo após o cozimento (conforme Tabela 4)	
Determinação do Dano (Etapa 4 – Etapa 4.2)	Calculado com base nas equações 5 a 7	
Estimativa do Risco (Etapa 4 – Etapa 4.3)	O Risco para cada receptor foi estimado com base na Equação 8; O Risco Global foi estimado com base na Equação 9	

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item, de maneira análoga à Metodologia, será apresentado de acordo com as duas partes definidas anteriormente, conforme os objetivos propostos para o presente estudo e, juntamente, com os trabalhos técnico-científicos (TTC) desenvolvidos (Figura 9).

Figura 9 - Fluxograma da metodologia da pesquisa envolvendo os trabalhos técnico-científicos distribuídos em duas partes



Legenda: PotReuso (Estudo de Potencial); ASqRM (Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico); GESTA (Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais); RHB (Regiões Hidrográficas Brasileiras); ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental).

Nota: Para cada TTC, encontra-se em parênteses, o veículo de publicação.

4.1. PARTE 1 - Desenvolvimento e aplicação da metodologia PotReuso

4.1.1 Desenvolvimento PotReuso

Primeiramente, é importante ressaltar a origem da ideia, que parte do conhecimento de uma demanda específica. No caso dos estudos de avaliação de PotReuso, o principal motivo é a escassez hídrica (perene ou sazonal) que demanda um planejamento adequado. Existem situações em que a demanda se dá não por condições atuais de falta de água, e sim em função de previsões futuras de estresse hídrico causado, principalmente, pelo crescimento populacional, pela poluição dos corpos hídricos existentes, pelas condições climáticas locais desfavoráveis e pelas mudanças climáticas globais.

Um ponto de fundamental importância para o desenvolvimento do PotReuso são ações e as decisões intrínsecas à prática de reúso de água. Elas devem ser realizadas de forma coerente, perfazendo um planejamento integrado, considerando diversos aspectos, como a

prestação dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário (AVELAR et al., 2021).

Para tal, é indispensável que haja uma contextualização sobre a prática de reúso de água, tanto a nível local, como mundial, envolvendo os aspectos ambientais, culturais e socioeconômicos da região, os aspectos legais relacionados ao tema, dados gerais de disponibilidade hídrica e dos principais usuários de água, características básicas de precipitação e evapotranspiração, índice de cobertura dos serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água, existência de ETEs candidatas a serem produtoras e fornecedoras de água para reúso, e outros assuntos que a equipe de planejamento considerar relevantes. A contextualização também deve conter os maiores entraves para a efetivação da prática de reúso, no contexto regional da avaliação.

Desta forma, todos esses elementos em conjunto levam a diferentes concepções de projeto e, nessa fase de planejamento, podem viabilizar ou não o avanço da avaliação do PotReuso.

O estudo de potencial de reúso é uma etapa de elevada importância no planejamento e absolutamente necessária para a garantia do sucesso dos empreendimentos. Este abrange as etapas de implantação, englobando tanto a (1) parte técnica, como (2) os aspectos jurídico-administrativos. O primeiro é referente à organização do projeto juntamente com seus objetivos e fontes de financiamento até a elaboração técnica do termo de referência (TR). O segundo converte o TR em diferentes objetos de contratação em ambiente público ou privado.

Na elaboração do TR deve ser realizada a articulação entre diversos fatores, de acordo com os objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS), definidos pela Organização das Nações Unidas (UNITED NATIONS, 2015). Estes fatores envolvem as políticas de desenvolvimento urbano e rural, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de recursos hídricos e saneamento, de promoção à saúde, de segurança alimentar e outras, de relevante interesse socioeconômico, voltadas para a melhoria da qualidade de vida e da minimização dos impactos da indisponibilidade hídrica. Assim, no TR são delimitadas as responsabilidades da contratante e da contratada, os produtos esperados, o cronograma de entregas, valores dos produtos e a forma de pagamento.

Ressalta-se que um TR incompleto ou inconsistente leva à dificuldade de se selecionar a proposta mais vantajosa e/ou a um contrato sem mecanismos adequados para a gestão contratual. Esse cenário tem como consequência o não alcance dos objetivos inicialmente elencados na fase de planejamento do projeto e o desperdício de recursos.

Os objetivos, alinhados às expectativas da fase de planejamento do projeto, devem ser divididos em geral e específicos, de forma a facilitar tanto o entendimento por parte da contratada, como o delineamento dos produtos esperados. O objetivo geral aborda a questão principal do projeto, que, neste caso, trata-se de um estudo de avaliação e/ou de diagnóstico, a fim de explorar as potencialidades de reúso de água a partir de efluente de ETE da região estudada. Os objetivos específicos propõem um delineamento das ações que levarão ao alcance do objetivo geral, a partir da confecção dos produtos definidos.

É importante destacar a clara definição dos objetivos para o projeto, uma vez que o documento é a interface entre o proponente e o executor. Portanto, essa etapa e a seguinte, de definição do escopo dos produtos, são essenciais para o sucesso do estudo.

Em relação aos produtos, eles são divididos por temas a fim de facilitar a gestão do contrato, com o atendimento claro aos objetivos propostos inicialmente, em uma ordem cronológica também definida no planejamento do projeto. A separação dos temas dos produtos é feita por ordem cronológica e tem como objetivo proporcionar o bom andamento do estudo, facilitar a disponibilização de dados que estão sob a tutela do contratante e apoiar o pagamento dos serviços a partir da entrega e aprovação de cada produto.

Independentemente da definição do escopo de cada produto, o primeiro é o Plano de Trabalho, que deve ser apresentado após a conclusão do acordo e assinatura da ordem de serviço com a contratada. O Plano de Trabalho é a materialização do planejamento, contemplando todas as atividades estabelecidas no escopo de cada produto do TR. Nesse produto, a contratada deverá apresentar de forma detalhada, como, quando e por quem serão realizadas as atividades.

Destaca-se que no Brasil, a implantação do projeto muitas vezes é realizada sem concepção adequada, levando ao não atendimento dos seus objetivos. Não obstante, mesmo quando os estudos de concepção são bem desenvolvidos e formulados com bases sólidas, os projetos podem acabar não sendo implantados ou sofrer adaptações para se encaixarem aos recursos financeiros disponíveis. Nesse sentido, para garantia da implantação da infraestrutura de uma prática de reúso de água responsável e segura, o estudo de potencial deve apresentar todas as nuances conforme já destacado até o momento. Além disso, para garantia dessa implantação, é necessário que o estudo incorpore instrumentos bem alinhados e estruturados, tanto no contexto da administração pública como no da administração privada.

Assim, na Figura 10, estão apresentados os elementos principais, os aspectos específicos e as interrelações para o desenvolvimento do PotReuso. Ressalta-se que se trata de um roteiro base e que para efetiva implantação, devem ser consideradas as particularidades e porte de cada projeto.

4.1.2 Aplicação PotReuso

Etapa 1: Definição das categorias de efluentes e estimativas de vazões, de acordo com as eficiências de remoção de matéria orgânica e de remoção e inativação de organismos patogênicos para as ETEs de estudo.

A partir dos dados do Atlas Esgotos (ANA, 2017), inicialmente todas as ETEs em operação no país foram alocadas nas suas respectivas Regiões Hidrográficas. Posteriormente, estas foram divididas nas duas categorias descritas na Metodologia. Novamente, a Categoria 01 refere-se às ETEs que poderiam acrescentar somente uma etapa de desinfecção em seus fluxogramas para disponibilizarem o efluente ao reúso, já que apresentam uma remoção de matéria orgânica superior a 80%; e Categoria 02 refere-se às ETEs que poderiam fornecer diretamente o efluente para reúso, por levarem em consideração em seus fluxogramas alguma tecnologia com objetivo de remoção de organismos patogênicos.

Na Tabela 9 encontram-se apresentadas tanto as vazões de efluentes das ETEs divididas nas duas Categorias (01 e 02), como também as vazões classificadas como “Sem Categoria”, em cada uma das 12 Regiões Hidrográficas; trata-se das ETEs em operação no país, que não se enquadra em nenhuma das duas categorias definidas.

Tabela 9 - Distribuição das vazões de efluentes de ETE nas doze Regiões Hidrográficas Brasileiras, e nas três categorias definidas para o estudo em relação à qualidade

Região Hidrográfica	Vazão total (m ³ /s)			
	Sem Categoria	Categoria 01	Categoria 02	Total
Amazônica	0,92	0,37	0,18	1,47
Atlântico Leste	0,48	0,93	0,94	2,35
Atlântico Nordeste Ocidental	0,18	0,01	0,06	0,25
Atlântico Nordeste Oriental	4,31	4,60	0,69	9,59
Atlântico Sudeste	5,07	11,69	0,86	17,62
Atlântico Sul	3,36	1,74	0,33	5,43
Paraguai	0,55	1,30	0,13	1,97
Paraná	21,32	57,88	5,50	84,70
Parnaíba	0,24	0,02	0,33	0,58
São Francisco	3,26	9,30	0,45	13,01
Tocantins-Araguaia	0,43	0,34	0,70	1,47
Uruguai	0,35	0,45	0,09	0,89

Fonte: Lima et al. (2021a).

A Região Hidrográfica Paraná possui uma área de, aproximadamente, 10% do território nacional, e abrange os estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Distrito Federal. A RH Paraná é de grande importância no âmbito nacional, devido ser a região de maior desenvolvimento socioeconômico do país, mas também apresenta

as maiores demandas por recursos (ANA, 2015). Observa-se dessa forma, que é nesta RH que se encontram a maior vazão total e as maiores vazões por categoria de efluente tratado. Segundo ANA (2015), a sua população é predominantemente urbana, em torno de 93% do total de seus habitantes.

De acordo com a Tabela 9, a segunda RH com a maior vazão de efluente total é a Atlântico Sudeste. Isso se justifica por ser esta a segunda região mais populosa do país e possuir alta diversidade econômica, apresentando relevante parque industrial. Também neste caso, a população é, em sua maioria, urbana, por volta de 92% da população total (ANA, 2015). Entretanto, em relação à Categoria 02, sua vazão é inferior àquela gerada na RH Atlântico Leste, em função de nesta última, haver 15 ETEs que contemplam lagoas de maturação em seus fluxogramas e dentre elas, uma de grande porte: ETE ERQ Norte – Aracaju/SE (540 L/s). Segundo Chaves et al. (2018), ERQ significa Estação de Recuperação da Qualidade e apresentava vazão de operação de 41.990 m³/dia em 2017.

A RH Atlântico Nordeste Ocidental apresenta vazões efluentes consideravelmente reduzidas devido aos baixos índices de coleta e tratamento de esgoto da região: 28% do esgoto é coletado e apenas 8% do total gerado, é tratado (ANA, 2015). Neste caso, quase a totalidade do estado do Maranhão encontra-se nessa região. Sua capital, São Luís, apresenta somente 4% de esgoto tratado, segundo ANA (2017). Apesar de o município de Caxias, segundo maior município do estado do Maranhão, apresentar 100% de atendimento com serviço de esgotamento sanitário, 95% da população é atendida com fossa séptica e somente 5% com coleta e tratamento (ANA, 2017).

Observa-se ainda na análise da Tabela 9, que em todas as RHs, exceto Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba e Tocantins-Araguaia, as vazões correspondentes à Categoria 02, são interiores às da Categoria 01. Isso retrata o pouco comprometimento da gestão de saneamento ambiental em adotar ETEs com etapa de desinfecção no Brasil. Percebe-se ainda que em torno de somente 7% da vazão tratada no Brasil passa por etapa terciária de desinfecção. Destaca-se aqui, que no Brasil, há uma grande lacuna na aplicação da gestão eficiente de saneamento e recursos hídricos. O conhecimento de tecnologias aplicadas à produção de efluentes de alta qualidade é consolidado no país, principalmente com a forte atuação do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) desde o final dos anos 1990 até o início dos anos 2000. Dessa forma, observa-se um problema muito mais relacionado à gestão do que ao conhecimento de tecnologias adequadas.

Outro cenário insatisfatório está relacionado às RHs que apresentam vazões alocadas no item “Sem Categoria”, superiores às vazões das Categorias 01 e 02. Isso ocorre nas RHs

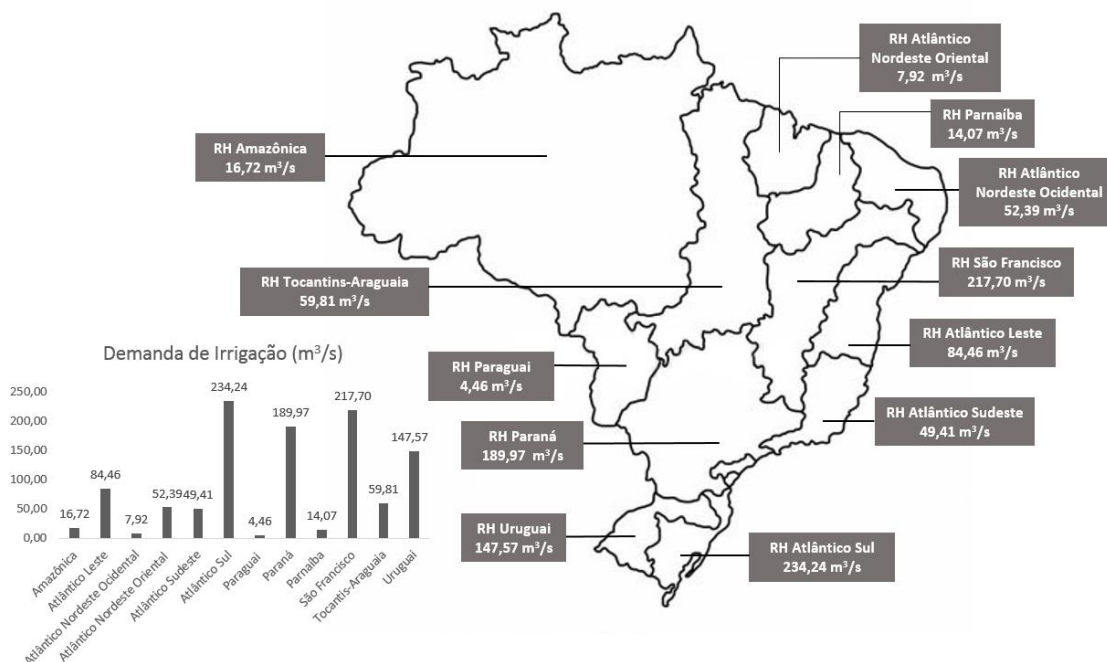
Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental e Atlântico Sul. Isso significa que quase 30% da vazão total tratada no Brasil corresponde às etapas primária ou primária avançada somente.

Destaca-se nessa discussão a importância da elevação dos índices de atendimento com relação ao tratamento de esgotos, não somente no sentido de adequação às diretrizes nacionais de lançamento de efluentes, mas também com relação à produção de maiores volumes de água para reúso. Esse cenário é especialmente aplicado a áreas com mais baixos índices de desenvolvimento socioeconômico.

Etapa 2: Compilação das vazões referentes às demandas hídricas para irrigação, de cada Região Hidrográfica.

Em relação as demandas hídricas para irrigação de cada Região Hidrográfica, os valores foram obtidos do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019). Após agrupados, os valores dessas vazões estão apresentados no desenho esquemático e na respectiva representação gráfica da Figura 11.

Figura 11 - Representação gráfica e em desenho esquemático das vazões correspondentes às demandas hídricas de irrigação para as doze Regiões Hidrográficas



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2021a).

De acordo com a Figura 11, pode-se observar que ao sul do Brasil há uma intensa atividade voltada para irrigação, possuindo elevadas demandas para esse uso, nas RHs Atlântico Sul, Uruguai e Paraná. Cabe ressaltar que a RH que possui a maior área irrigada no país é a Paraná, correspondendo a 36% do total (ANA, 2015).

Mais ao nordeste do país, observa-se elevada demanda somente na RH São Francisco, que tem aproximadamente metade da sua área na região do Semiárido e onde se estima que possua 10,9% do total da área irrigada no Brasil (ANA, 2015).

Observam-se menores demandas hídricas para irrigação nas RHs Paraguai, Parnaíba e Amazônica. Grande parte da área da RH Paraguai é ocupada pelo bioma Pantanal, caracterizado por períodos bem definidos de cheia e estiagem e a principal atividade dessa região é a agropecuária (ANA, 2015). A RH Parnaíba, que se encontra em grande parte no semiárido brasileiro e com característica de intermitência de chuvas, tem como principal atividade a agricultura irrigada. Dessa forma, claramente observa-se a necessidade do fomento de fontes alternativas de água para o aumento do desenvolvimento socioeconômico da região. Por fim, a Região Hidrográfica Amazônica, conta com elevada extensão de floresta, tendo 85% do seu território ocupado por vegetação nativa (ANA, 2015). Ainda de acordo com ANA (2015), para esta região, muitas das culturas praticadas, não demandam irrigação.

Para as demais regiões, as demandas hídricas para irrigação variam entre 48,41 m³/s no Atlântico Sudeste e 84,46 m³/s no Atlântico Leste. No caso da RH Atlântico Leste, ANA (2015) reforça que as características de baixa disponibilidade hídrica e de grande parte dos rios serem intermitentes, podem vir a ser limitantes para a expansão das atividades agrícolas. Assim, a disponibilização de fontes alternativas de água como a água para reúso pode alavancar o desenvolvimento socioeconômico da região. Por fim, a RH Tocantins-Araguaia, segundo ANA (2015) apresenta importância no contexto nacional, pois se caracteriza pela expansão da fronteira agrícola. Essa expansão poderia ser mais acentuada com a inclusão de outras fontes de água para irrigação, visto que, a maior parte da área irrigada atual é privada (97%) e a atividade está dispersa por todo o território nacional, fomentando o potencial do reúso para o desenvolvimento do agronegócio (ANA, 2019).

Etapa 3: Comparação da produção da ApR, proveniente das ETEs, com as demandas hídricas de irrigação por Região Hidrográfica.

Nesta etapa, estão apresentados (Tabela 10) os valores de demanda hídrica para irrigação e de vazões efluentes divididas nas categorias definidas para o estudo, nas Regiões Hidrográficas Brasileiras. Ressalta-se que os valores referentes às vazões intituladas “Sem Categoria” não estão contemplados na Tabela 10.

Tabela 10 - Distribuição das demandas hídricas para irrigação e das vazões de efluentes de ETE nas doze Regiões Hidrográficas Brasileiras, e nas duas principais categorias (01 e 02) definidas para o estudo em relação à qualidade do efluente

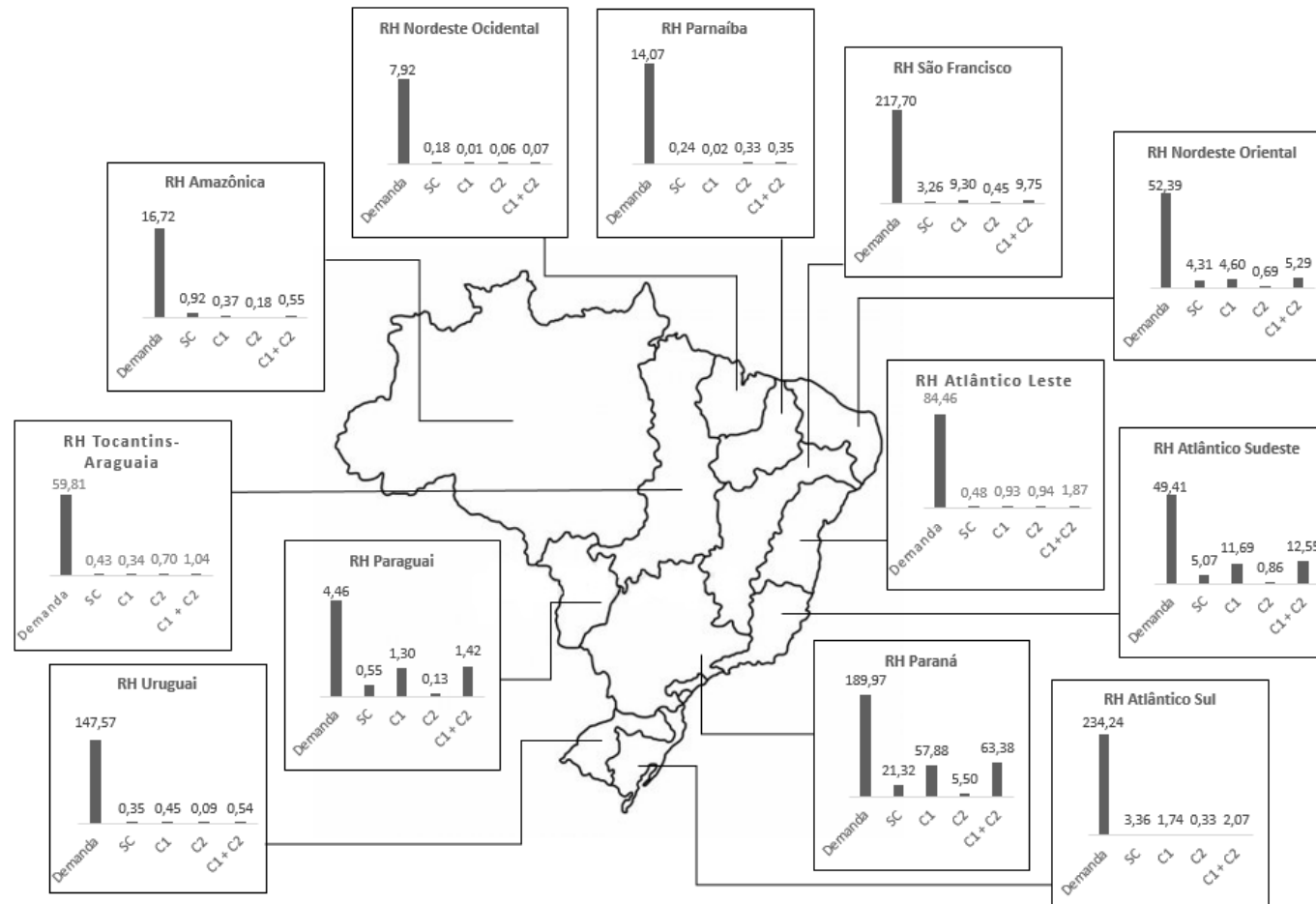
Região Hidrográfica	Demanda de Irrigação (m ³ /s)	Vazão total (m ³ /s)	
		Categoria 01	Categoria 02
Amazônica	16,72	0,37	0,18
Atlântico Leste	84,46	0,93	0,94
Atlântico Nordeste Ocidental	7,92	0,01	0,06
Atlântico Nordeste Oriental	52,39	4,60	0,69
Atlântico Sudeste	49,41	11,69	0,86
Atlântico Sul	234,24	1,74	0,33
Paraguai	4,46	1,30	0,13
Paraná	189,97	57,88	5,50
Parnaíba	14,07	0,02	0,33
São Francisco	217,70	9,30	0,45
Tocantins-Araguaia	59,81	0,34	0,70
Uruguai	147,57	0,45	0,09

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2021a).

Pode-se observar que de maneira geral, em todas as RHs, as vazões efluentes da Categoria 01 e/ou da Categoria 02 são bastante inferiores às demandas hídricas para irrigação. Entretanto, destaca-se que nos casos das RHs Atlântico Sudeste, Paraguai e Paraná as vazões efluentes da Categoria 01, representam aproximadamente 24%, 29% e 30% das demandas, respectivamente. Em relação às vazões efluentes da Categoria 02, nenhuma delas alcança mais de 3% das demandas e a que apresenta a maior relação é a RH Paraná com 2,9%.

De forma a facilitar o entendimento e incluir novas questões à discussão, na Figura 12, estão apresentados os seguintes dados de forma gráfica, para cada Região Hidrográfica: i) demanda de irrigação; ii) vazão efluente considerada como “Sem Categoria”; iii) vazão efluente na Categoria 01; iv) vazão efluente na Categoria 02; e v) vazão total efluente correspondente à soma entre vazões das Categorias 01 e 02.

Figura 12 - Representação gráfica e esquemática das vazões correspondentes às demandas hídricas para irrigação e das vazões efluentes de ETES para cada Região Hidrográfica Brasileira, distribuídas nas três categorias de estudo, além da soma entre as vazões das Categorias 01 e 02



Fonte: Adaptado de Lima et al. (2021a).

Notas: SC – Sem Categoria; C1 – Categoria 01; C2 – Categoria 02; e C1+C2 – Categoria 01 somada a Categoria 02.

Observa-se que na RH Paraná a vazão total correspondente à soma das Categorias 01 e 02 é de 63,38 m³/s e representa 33% da demanda hídrica para irrigação. Caso as ETEs “Sem Categoria” fossem incorporadas a esse total, com as suas devidas intervenções para adequação do efluente, esse valor seria de 44%. Há que se ressaltar que se trata de uma relação considerável e dessa forma, a governança dessa Região deveria agregar essa questão ao planejamento de recursos hídricos. Neste caso, poderia se aplicar um modelo de negócio estruturado com o objetivo de aproveitar a oportunidade de alta oferta de efluente tratado com a elevada demanda por irrigação. Ainda, é importante destacar que por ser a região mais desenvolvida do país, o aporte de fonte alternativa de água na irrigação, poderia não só levar a um incremento econômico como a redução de conflitos pelo uso da água.

Ainda em se tratando da vazão efluente denominada, neste trabalho, como “Sem Categoria”, na RH Paraguai, ela representa 12% da demanda hídrica. E se somada aos efluentes das Categorias 01 e 02, de maneira similar à RH Paraná, representam 44%. Cabe ressaltar que a demanda hídrica para irrigação da RH Paraguai é de apenas 4,46 m³/s e da RH Paraná é de 189,97 m³/s.

Observa-se assim, a necessidade de adequação dessas unidades de tratamento de esgotos (Sem Categoria), não somente para atendimento às legislações vigentes de lançamento de efluentes, mas também para estruturação de planejamento de reúso em situações de emergência. Segundo Santos et al. (2018) e Souza et al. (2017), os aspectos relacionados à segurança hídrica, buscam identificar fontes alternativas para a maior eficiência do uso de recursos hídricos e atendimento à demanda crescente de água da sociedade. Este contexto visa o uso sustentável e a proteção dos sistemas hídricos de forma a garantir quantidade e qualidade adequadas à saúde, aos meios de subsistência, aos ecossistemas e à produção.

Outra Região Hidrográfica que merece destaque por seu elevado potencial de adoção de efluente de ETE para reúso na irrigação é a Atlântico Sudeste. Neste caso, as vazões das Categorias 01 e 02 somadas representam 25% da demanda hídrica e quando se acrescenta a vazão “Sem Categoria”, essa relação passa para 35%. Novamente, a discussão corrobora a necessidade de mais atenção às unidades de tratamento de esgotos e seus desempenhos.

Das 12 RHs Brasileiras, 8 delas (Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Sul, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia e Uruguai) apresentam a relação da soma de vazões das Categorias 01 e 02 inferior a 5% das demandas hídricas para irrigação. Esse cenário demonstra a fragilidade do país em relação ao tratamento de esgotos e consequentemente à geração de água para reúso como fonte alternativa para irrigação de diversas culturas. Percebe-se que não necessariamente, a demanda hídrica nessas regiões é

elevada e sim, os índices de tratamento de esgotos é que são baixos. Este é o caso por exemplo, da RH Parnaíba, onde o índice de coleta de esgotos em 2012 era de 18%, o menor entre as 12 regiões hidrográficas, conforme mencionado por ANA (2015).

Visto que os índices de atendimento ao tratamento dos esgotos gerados no Brasil ainda são reduzidos, é possível abordar o planejamento das ações de melhoria, conforme definidos na Lei nº 14.026 de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico. Dentre os princípios fundamentais prestados pelos serviços públicos de saneamento básico, destacam-se: i) universalização do acesso e efetiva prestação do serviço; ii) segurança, qualidade, regularidade e continuidade; e, iii) prestação regionalizada dos serviços, com vistas à geração de ganhos de escala e à garantia da universalização e da viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços (BRASIL, 2020).

Em relação ao déficit sanitário enfrentado no Brasil e a necessidade eminente de aplicação da prática de reúso para minimizar os impactos de seca que serão agravados pelas mudanças climáticas e pelo crescimento populacional, fica evidente a necessidade de se atingir a universalização do esgotamento sanitário, não somente no sentido de minimizar a poluição dos corpos d'água, mas também para propiciar em termos quantitativos, efluentes tratados para a prática de reúso.

Na região do Semiárido brasileiro, devido à escassez hídrica e por 470 municípios apresentarem corpo receptor intermitente ou efêmero, além da necessidade da remoção de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), se faz importante levar em consideração a prática de reúso do efluente tratado e/ou priorizar processos de tratamento que resultem em elevada remoção e inativação de microrganismos patogênicos (ANA, 2017).

A Região Hidrográfica Nordeste Oriental apresenta um relativo potencial de reúso de efluente de ETE para irrigação. Para esta, o efluente da Categoria 01, representa 9% da demanda hídrica e se somada ao efluente “Sem Categoria”, essa relação passa a ser de 17%. Aparentemente, trata-se de uma boa relação. Entretanto, quando se compara à relação referente à Categoria 02, esta é inferior a 2%, demonstrando novamente, a fragilidade em termos de geração de efluente terciário com bom desempenho em relação à remoção e inativação de organismos patogênicos.

A Região Hidrográfica Uruguai apresenta a quarta maior demanda hídrica para irrigação no país. Entretanto, a soma de todas as vazões efluentes, inclusive aquela denominada “Sem Categoria”, representa menos de 1% dessa demanda. Destaca-se assim a necessidade de um adequado planejamento de geração de água para reúso, com vistas à universalização.

De acordo com os resultados encontrados na Tabela 10, pode-se observar que, de maneira hipotética, caso todas as ETEs das Categorias 01 e 02 realizassem o reúso de 100% dos seus efluentes, seria possível evitar que aproximadamente 3,8 milhões de Kg DBO por dia fossem lançados nos corpos d'água. Além disso, seria possível produzir quase 100 mil litros de água para reúso por segundo, reduzindo substancialmente a quantidade de água captada dos mananciais. Apesar de parecer inacessível essa afirmação, vale lembrar que Israel reusa 87% de todo o efluente gerado no país (MARIN et al., 2017) e Chipre e Malta, quase 100% (RdA, 2022).

Para que a política de reúso seja institucionalizada no Brasil, é necessário que regras e planos de ações sejam criados, implementados e desenvolvidos. Assim, o Programa de Desenvolvimento do Setor Água (INTERÁGUAS, 2018) elaborou proposta de Plano de Ações, considerando ações gerais e específicas de prazo imediato (2020), curto (2023) e médio (2030).

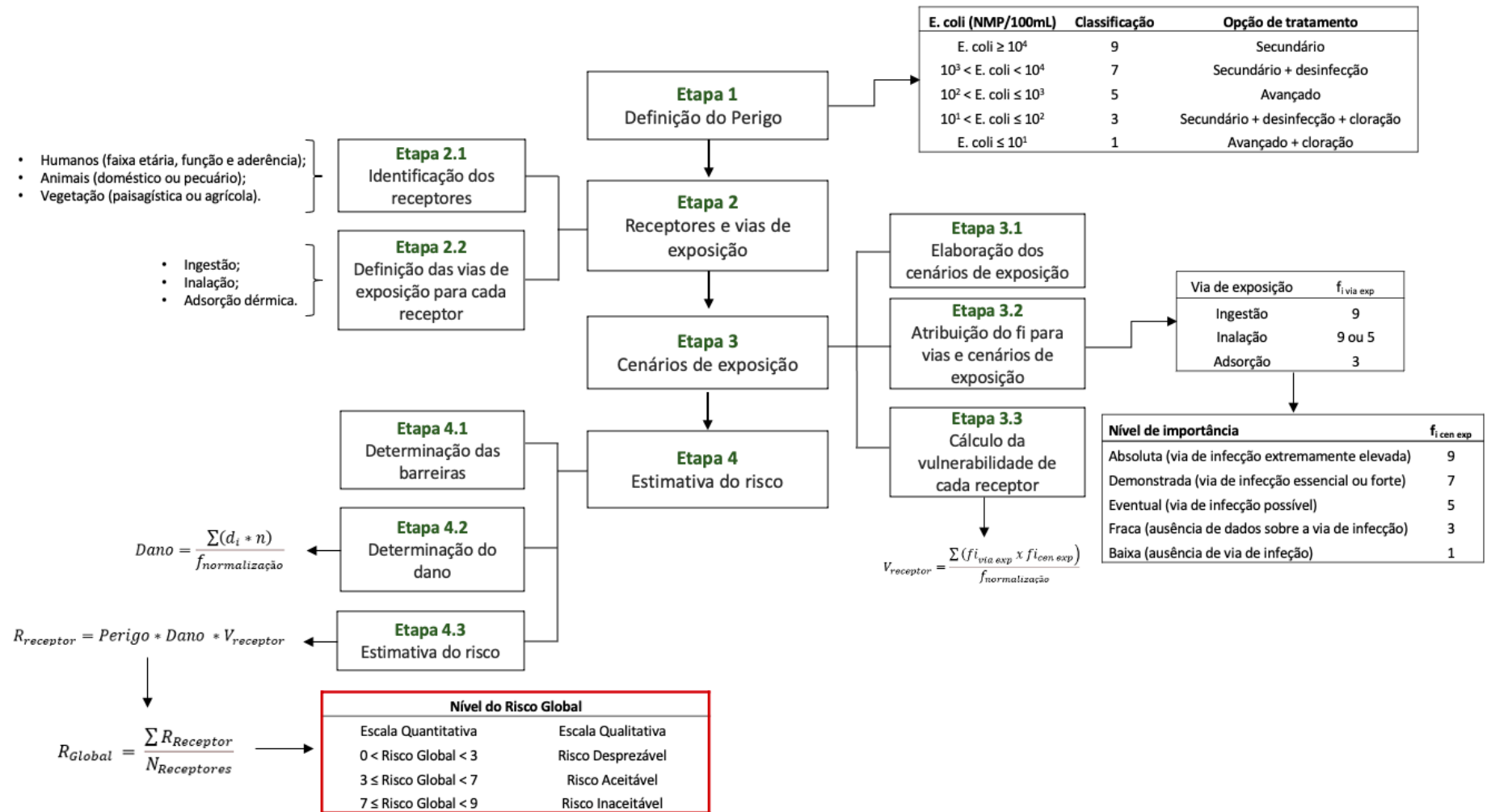
Por fim, considerando-se a demanda hídrica total no país de 1.078 m³/s para irrigação, os efluentes da Categoria 01 representam pouco mais de 8% dessa demanda e da Categoria 02, em torno de 1%. Santos et al. (2018) realizaram estudo similar para a Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul e concluíram que para efluentes equivalentes aos da Categoria 01 do presente estudo, a vazão disponível seria de aproximadamente 10% da demanda para irrigação na mesma Bacia. Considerando então a adoção da prática de reúso para este fim em todas as Regiões Hidrográficas Brasileiras, seria possível manter disponível nos mananciais, uma vazão estimada correspondente ao abastecimento público de uma população equivalente de quase 100 milhões de habitantes, considerando-se um consumo per capita de água de aproximadamente 150 L/hab.dia.

4.2. PARTE 2 – Aprofundamento e aplicação da metodologia ASqRM

4.2.1 Aprofundamento ASqRM

A partir do estudo e do aprofundamento da metodologia ASqRM, desenvolvida por Rebelo et al. (2020), baseado na ISO (2020b), foi desenvolvida uma planilha Excel, disponibilizada no Apêndice J, compreendendo as equações aplicáveis à cada etapa apresentada na Figura 13 e já descritas na Metodologia. O objetivo da elaboração desse material foi de facilitar o acesso para os usuários e fomentar sua aplicação.

Figura 13 - Fluxograma detalhado da metodologia ASqRM



Fonte: Adaptado de Lima, Santos e Vieira (2021).

4.2.2 Aplicação ASqRM

Conforme descrito na Metodologia do presente trabalho, a aplicação da ASqRM foi realizada por meio de três casos. Ressalta-se que para auxiliar a análise dos casos elaborados, foi utilizada a planilha desenvolvida no item 4.2.1.

Caso 1: Aplicação virtual por meio de irrigação localizada, com sistema de gotejamento, para cultura comestível, de consumo preferencialmente cru, e sem casca.

Com o objetivo de disseminação da ASqRM para a irrigação com ApR, foi desenvolvido um exemplo de aplicação do método, com as principais características e dados referentes à Etapa 1 e 2 da ASqRM, apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11 - Características gerais do Caso 1 (Etapas 1 e 2)

Item	Característica
Método de irrigação; Sistema de irrigação	Localizado; Gotejamento
Características da cultura	Alimentícia, consumida crua, com remoção de casca, desenvolve distante do solo e a água de irrigação não tem contato com a cultura
Identificação do Perigo (Etapa 1)	7
Receptores (Etapa 2)	Agricultor e consumidor

É importante ressaltar que as legislações de Portugal (PORTUGAL, 2019) e da União Europeia (EU, 2020), além de definirem padrões para E. Coli, indicam a necessidade do estudo de avaliação do risco, baseada na metodologia aqui descrita. Os diplomas ainda definem o número de barreiras aplicáveis para cada uso previsto, conforme indicado por ISO (2020b). Assim, adotou-se para o exemplo, uma situação que permite irrigação com restrição de acesso, em culturas consumidas cruas com remoção de casca, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em contato direto com a água (Classe C; E. Coli $\leq 10^3$; 3 barreiras aplicáveis).

Na Tabela 12 estão apresentados, para o exemplo proposto, os cenários de exposição (Etapa 3) e a estimativa do Risco (Etapa 4), com seus respectivos valores atribuídos (f_i e Dano parcial), calculados (Vulnerabilidade e Dano) e estimados (Risco receptor e Risco Global).

Tabela 12 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 1

Cenário	Ser humano					
	Agricultor			Consumidor		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada	-	-	Não aplicável
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada	-	-	Não aplicável
iii) ingestão da cultura	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água
iv) ingestão do solo	5	9	Eventual. Cultura sem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido	5	9	Eventual. Cultura sem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	5	5	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento	-	-	Não aplicável
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	7	3	Demonstrada. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento	3	3	Fraca. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento	-	-	Não aplicável
viii) adsorção por contato com outras superfícies	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento	-	-	Não aplicável
S (f_i via exp)		50			21	
S [$(f_i$ via exp) x (f_i cen exp)]		310			81	
Fator de normalização		450			189	
Vulnerabilidade		0,69			0,43	
Barreiras: Irrigação por gotejamento - crescimento distante do solo (50 cm) e Remoção da casca - Descascamento das frutas						
Dano		0,63 (para todos os receptores)				
Risco Receptor		3,04			1,89	
Risco Global	2,46					

Observou-se, como já era de se esperar, maior Vulnerabilidade para o agricultor (0,69), em relação ao consumidor (0,43), que refletiu, de maneira análoga, em Risco maior para o agricultor (3,04) quando comparado ao consumidor (1,89). No caso do agricultor, o Risco apresentou-se levemente superior à faixa indicada como desprezável, mas ainda assim, aceitável; para o consumidor, se mostrou desprezável. O Risco Global (2,46) se apresentou dentro da faixa considerada como desprezável.

Caso 2: Aplicação nas RHs que possuem acima de 10% de atendimento da demanda de irrigação com a utilização da ApR.

De acordo com o item 3.2.2, foram empregados três passos no desenvolvimento do Caso 2, sendo eles: **Passo 1** – Comparação da potencial oferta da ApR com a demanda para irrigação no Brasil; **Passo 2** – Identificação das RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água e levantamento das tipologias de cultura predominantes; e, **Passo 3** – Aplicação da metodologia ASqRM nas RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água.

No **Passo 1** foram utilizados os resultados do item 4.1.2, referente à demanda de irrigação para cada RH brasileira, juntamente com as ofertas de ApR. Cabe destacar que as vazões de oferta foram categorizadas de acordo com a remoção de matéria orgânica (Categoria 1) e de remoção de matéria orgânica e remoção/inativação de organismos patogênicos (Categoria 2), conforme apresentado anteriormente.

Para o **Passo 2**, as RH brasileiras que apresentaram potencial para aplicação da água para reúso foram as RH Atlântico Sudeste, Paraguai e Paraná, com percentual acima de 10% com a soma das Categorias 1 e 2. As demais RHs atingiram, no máximo, 10% desse potencial.

De acordo com ANA (2021), o território brasileiro contém 28 Polos Nacionais onde são concentradas 50% da área irrigada e 60% da demanda hídrica atual. Ressalta-se que esses polos são áreas de destaque para a gestão dos recursos hídricos na agricultura irrigada em escala nacional. Entre os 28 Polos, 9 apresentam a tipologia de cultura predominante de arroz por inundação e em 15 são identificados, predominantemente, a produção de grãos, como, por exemplo, a soja, o milho, o feijão, o algodão, entre outros (ANA, 2021). No caso desses 15 Polos, o método de irrigação predominante é de pivôs centrais. Nos demais, são predominantes a fruticultura e a cana-de açúcar.

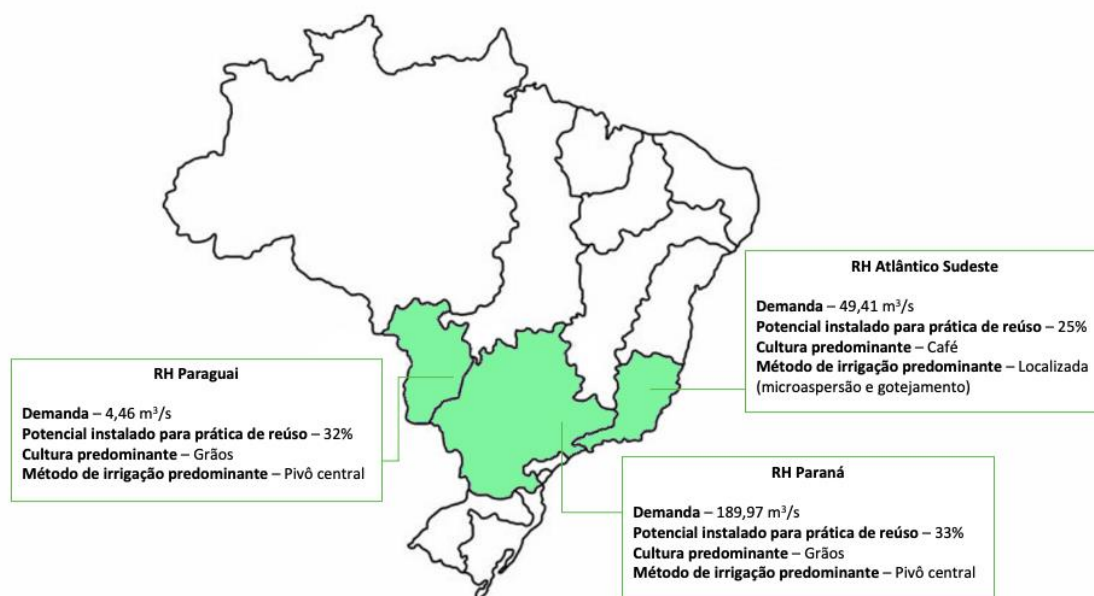
Para as 3 RHs identificadas com elevado potencial para implementação da prática do reúso de água, realizou-se o levantamento da cultura e o método de irrigação predominante, de acordo com os Polos Nacionais inseridos na área de cada uma delas.

Na RH Atlântico Sudeste, a cultura predominante é o café com a utilização do método de irrigação localizada. Nas RHs Paraguai e Paraná as culturas predominantes são os grãos (soja, milho, feijão, algodão, entre outros) por pivôs centrais como método de irrigação, à priori.

O café e as culturas irrigadas por Pivôs centrais possuem elevada representatividade no cenário nacional da irrigação. Dos 64,5 Mha irrigados, 8% são voltados para o café e em 27% são utilizados os Pivôs centrais (ANA, 2021). No que se refere à eficiência na utilização da água para irrigação, o método localizado (gotejamento e microaspersão) representam 95% e a aspersão (pivô central, dentre outros) contam com 85% (ANA, 2021).

Na Figura 14 estão expressas as 3 RHs levantadas com elevado potencial para a aplicação da prática de reúso, juntamente com os dados de cultura e o método de irrigação predominante.

Figura 14 - Demanda de irrigação, vazões de água para reúso nas categorias pré-definidas, cultura e o método de irrigação predominante para as RH de elevado potencial para a prática de reúso



Fonte: Lima et al. (2021c).

Entre as 3 RHs identificadas (Atlântico Sudeste, Paraguai e Paraná), a que apresenta a maior demanda é a RH Paraná, com aproximadamente 190 m³/s, e potencial instalado para a prática de reúso de 33%. Além disso, essa porcentagem é em relação a Categoria 1 somada a Categoria 2. A segunda RH com a maior demanda é a RH Atlântico Sudeste, cerca de 50 m³/s, e 25% de potencial instalado para a aplicação da prática de reúso. E, a RH Paraguai, com demanda de 4,46 m³/s e 32% suprido.

Por fim, no **Passo 3**, aplicou-se a metodologia ASqRM nas 3 RHs de elevado potencial para a aplicação da prática de reúso de água. Para tal, foi dividido em dois grupos, sendo o primeiro contendo a RH Atlântico Sudeste e o segundo as RHs Paraná e Paraguai.

Para o Grupo 1, RH Atlântico Sudeste, foram identificados os receptores seres humanos (agricultores e consumidores) e as vias de exposição foram a ingestão, a inalação e a adsorção dérmica. As principais características e dados referentes à Etapa 1 e 2 da ASqRM, estão apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Características gerais do Caso 2 - Grupo 1 (Etapas 1 e 2)

Item	Característica
Método de irrigação; Sistema de irrigação	Localizado; Gotejamento
Características da cultura	Café: Alimentícia - consumida após o cozimento
Definição do Perigo (Etapa 1)	7
Receptores (Etapa 2)	Agricultor e consumidor

Na Tabela 14, estão descritos os cenários de exposição para a RH Atlântico Sudeste, com a atribuição dos fatores de importância para cada cenário e vias de exposição, de acordo com o receptor ser humano agricultor e consumidor.

Tabela 14 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 2 - Grupo 1

Cenário	Ser humano					
	Agricultor			Consumidor		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada	-	-	Não aplicável
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada	-	-	Não aplicável
iii) ingestão da cultura	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água
iv) ingestão do solo	5	9	Eventual. Cultura sem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido	3	9	Eventual. Cultura não tem contato com a água e possui a necessidade do cozimento para consumo.
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	5	5	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento	-	-	Não aplicável
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	7	3	Demonstrada. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento	3	3	Fraca. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento	-	-	Não aplicável
viii) adsorção por contato com outras superfícies	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento	-	-	Não aplicável
S (f_i via exp)		50			21	
S [$(f_i$ via exp) x (f_i cen exp)]		310			63	
Fator de normalização		450			189	
Vulnerabilidade		0,69			0,33	
Barreiras: Irrigação por gotejamento - crescimento distante do solo (50 cm) e Cultura de consumo após o cozimento.						
Dano		0,42 (para todos os receptores)				
Risco Receptor		2,04			0,99	
Risco Global	1,51					

Observa-se que a Vulnerabilidade para o agricultor foi de 0,69 e para o consumidor foi de 0,33. Esse é um resultado esperado visto a proximidade do agricultor com a ApR. Em relação ao Risco, para o agricultor foi de 2,04 e para o consumidor, 0,99. Por fim, o Risco Global, na Escala Quantitativa, foi 1,51 para irrigação localizada, o que representa um Risco Global desprezável. Esse valor do Risco é alcançado ao se utilizar a ApR com concentração de *E. coli* entre 10^3 e 10^4 , qualidade similar à da Categoria 2 (secundário com desinfecção).

Para as RHs Paraguai e Paraná, Grupo 2, os receptores seres humanos foram divididos em agricultores, consumidores e vizinhança; as vias de exposição também foram a ingestão, a inalação e a adsorção dérmica. Neste caso, a vizinhança foi incluída no estudo, em função da probabilidade de inalação de microgotículas oriundas do método de irrigação por aspersão em pivôs centrais. As principais características e dados referentes à Etapa 1 e 2 da ASqRM, estão descritas na Tabela 15.

Tabela 15 - Características gerais do Caso 2 - Grupo 2 (Etapas 1 e 2)

Item	Característica
Método de irrigação; Sistema de irrigação	Aspersão; Pivô Central
Características da cultura	Grãos: Alimentícia - consumida após o cozimento
Definição do Perigo (Etapa 1)	7
Receptores (Etapa 2)	Agricultor, consumidor e vizinhança

Os cenários de exposição para as RHs Paraguai e Paraná, com a atribuição dos fatores de importância para cada cenário e vias de exposição, de acordo com os receptores definidos, estão apresentados na Tabela 16.

Observa-se a Vulnerabilidade para o agricultor foi de 0,86, para o consumidor foi de 0,75 e para a vizinhança foi de 0,72. As barreiras selecionadas foram a de irrigação por aspersão com crescimento distante do solo (50 cm) - 2 barreiras equivalentes e de cultura de consumo após o cozimento - 3 barreiras equivalentes.

O Dano obtido através da probabilidade da falha das barreiras selecionadas e a Severidade dos danos foi de 0,67. O Risco calculado para o agricultor foi de 4,03, para o consumidor foi de 3,48 e para a vizinhança foi de 3,37. Por fim, o Risco Global foi de 3,62, representando um Risco Global aceitável.

No caso do nível de Risco Aceitável, podem ser aplicadas reavaliações da metodologia ASqRM. As reavaliações possibilitam atingir níveis mais baixos do Risco com a alteração e/ou inclusão de outras barreiras. Nessa situação é imprescindível a realização de estudo e análises complementares em uma escala mais detalhada em cada RH. O recorte metodológico adotado na presente pesquisa (RH), foi intencional, com o objetivo de apresentar uma abrangência nacional. Entretanto, para aplicações práticas, é de grande importância que as características locais sejam introduzidas na aplicação da ASqRM.

Caso 3: Aplicação da ASqRM na tipologia de cultura que demanda maior quantitativo de água no Brasil, a rizicultura, com irrigação por sulcos ou inundação.

De acordo com ANA (2021), a rizicultura por inundação requer mais água por unidade de área do que em outros sistemas de irrigação. No Brasil, os estados da federação que produzem arroz em maiores quantidades são Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins, responsáveis por, respectivamente, 73%, 8% e 11% da produção nacional (ANA, 2021).

Segundo Hafeez, Bundschuh e Mushtaq (2014), outros países em desenvolvimento como China, Índia, Indonésia e Filipinas também são grandes produtores de arroz, contribuindo para o consumo de água para irrigação em nível mundial.

Diante das perspectivas e da realidade brasileira, em termos de qualidade das águas residuais tratadas, a ASqRM foi aplicada em duas situações distintas. Na primeira (Situação 1), optou-se por adotar o Perigo 7, em função da prerrogativa de que um efluente desinfetado garante mais segurança à prática. No entanto, a realidade sobre o tratamento de esgotos no Brasil, mostra que a maior parte do efluente é tratado a nível secundário, sem desinfecção, conforme resultados apresentados por Lima et al. (2021a). Assim, a segunda (Situação 2) conta com a aplicação da metodologia, considerando o Perigo 9.

A Tabela 17 apresenta as principais características da aplicação da metodologia ASqRM, referentes às Etapas 1 e 2, para a Situação 1.

Tabela 17 - Características gerais da Situação 1 - Caso 3 (Etapas 1 e 2)

Item	Característica
Método de irrigação; Sistema de irrigação	Superfície; Sulcos ou Inundação
Características da cultura	Grãos: Alimentícia - consumida após o cozimento
Definição do Perigo (Etapa 1)	7
Receptores (Etapa 2)	Agricultor, consumidor e vizinhança

Os cenários de exposição para a Situação 1, com a atribuição dos fatores de importância para cada cenário e vias de exposição, de acordo com os receptores definidos, estão apresentados na Tabela 18.

Os resultados apresentados na Tabela 18 demonstram uma possível viabilidade de aplicação do reúso de água para a rizicultura no Brasil, em relação aos aspectos de risco epidemiológico. Observa-se, como já era de se esperar, estimativa de maior risco de contaminação microbiológica para o agricultor em relação aos demais e em conformidade com o observado por outros autores (ADEGOKE et al., 2018). Dada a elevada possibilidade de contato do agricultor com a ApR, ainda assim o Risco estimado encontra-se na categoria aceitável, e a observação do valor traduz o risco que advém da possível infecção por helmintos, dado o maior risco de contato direto com a água, neste tipo de irrigação.

No caso da vizinhança, o Risco é bastante reduzido em função do método de irrigação ser diferente da aspersão e apresentar menor possibilidade de produzir microgotículas que pudessem ser inaladas, conforme já mencionado. Mas ainda assim, encontra-se na categoria aceitável, o que pode, eventualmente, ser explicado pela possibilidade de acesso aos locais irrigados. Salienta-se que num dado projeto, este risco ainda poderá ser agravado se estiverem presentes crianças menores de 15 anos, mais suscetíveis às infecções por helmintos (ISO, 2018).

Para o consumidor, também era esperado baixo Risco, em função do processamento (com o descascamento) e do cozimento do arroz anteriormente ao consumo. No entanto, deverá ter-se em atenção que estes valores do Risco poderão variar em função das especificidades da configuração de cada sistema de reutilização, uma vez que poderá haver situações que potenciem (ou minimizem) determinados tipos de contato. Por este motivo, para o cálculo do Risco Global, adotaram-se dois procedimentos: i) considerando os três receptores adotados no estudo; e ii) considerando somente os 2 receptores principais envolvidos (agricultor e vizinhança), já que a possibilidade de vários receptores envolvidos após a colheita poderia alterar o valor final do Risco Global. Para o segundo procedimento o Risco Global é de 4,79 (Risco Aceitável).

Assim, para a aplicação da metodologia em um projeto real, todos os possíveis receptores, desde a irrigação até o consumidor final, (profissionais relacionados ao descascamento, processamento, embalagem, comercialização) devem ser levados em consideração.

Há ainda que se ressaltar que podem ser introduzidas medidas de prevenção adicionais, como por exemplo ao nível da higiene e segurança no trabalho, aplicáveis a todos os trabalhadores envolvidos no processo de produção de arroz irrigado com ApR, que permitirão minimizar os riscos, como por exemplo o uso sistemático de equipamentos e hábitos de segurança, sinalética ou ações de formação que permitirão introduzir a capacitação de todos os envolvidos.

Os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina representarem juntos, 80% da produção nacional de arroz e estão compreendidos, quase na sua totalidade, nas Regiões Hidrográficas (RH) Uruguai e Atlântico Sul, que segundo Lima et al. (2021a), demandam, aproximadamente, 382 m³/s de água para irrigação, no geral. Porém, as duas RH apresentam índice de atendimento com tratamento de esgoto inferior a 30%. De maneira análoga, a RH Tocantins-Araguaia, que envolve praticamente todo o estado do Tocantins, apresenta uma demanda de, aproximadamente 60 m³/s para irrigação, mas também apresenta baixo índice de atendimento com tratamento de esgoto (inferior a 30%) (ANA, 2017; LIMA et al., 2021a).

O cenário de alta demanda de água para irrigação e baixa produção de efluente tratado demonstra a dificuldade de sistematização do reúso de água, embora a demanda de água para a rizicultura nessas regiões seja elevada e o risco de contaminação de seres humanos moderado, conforme demonstrado com a aplicação de metodologia.

Pelo fato do efluente secundário desinfetado, equivalente ao Perigo 7 ($10^3 < E. coli < 10^4$), representar o menor potencial de ApR disponível, de modo geral no Brasil, optou-se por repetir o processo de aplicação da metodologia ASqRM, considerando o Perigo 9 ($E. coli \leq 10^4$). Os resultados para as principais características da aplicação da metodologia ASqRM, referentes à Etapa 1 e 2, para a Situação 2, estão apresentados na Tabela 19. **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Tabela 19 - Características gerais da Situação 2 - Caso 3 (Etapas 1 e 2)

Item	Característica
Método de irrigação; Sistema de irrigação	Superfície; Sulcos ou Inundação
Características da cultura	Grãos: Alimentícia - consumida após o cozimento
Definição do Perigo (Etapa 1)	9
Receptores (Etapa 2)	Agricultor, consumidor e vizinhança

Os cenários de exposição para a Situação 2, com a atribuição dos fatores de importância para cada cenário e vias de exposição, de acordo com os receptores definidos, estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao Caso 3 - Situação 2

Cenário	Ser humano								
	Agricultor			Vizinhança			Consumidor		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	9	9	Absoluta. Irrigação por sulcos ou inundação.	-	-	Não aplicável.	-	-	Não aplicável.
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	9	9	Absoluta. Irrigação por sulcos ou inundação.	-	-	Não aplicável.	-	-	Não aplicável.
iii) ingestão da cultura	9	9	Absoluta. A cultura possui contato direto com a água.	5	9	Eventual. A cultura possui contato direto com a água, mas possui a necessidade do cozimento para consumo.	5	9	Eventual. A cultura possui a necessidade do cozimento para consumo.
iv) ingestão do solo	7	9	Demonstrada. A cultura possui contato direto com o solo.	5	9	Eventual. A cultura possui contato direto com o solo.	3	9	Fraca. A cultura possui contato direto com o solo.
v) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	9	3	Absoluta. Irrigação por sulcos ou inundação.	5	3	Eventual. Irrigação por sulcos ou inundação.	3	3	Fraca. Irrigação por sulcos ou inundação.
vi) adsorção por contato com o sistema de irrigação	9	3	Absoluta. Irrigação por sulcos ou inundação.	3	3	Fraca. Irrigação por sulcos ou inundação.	-	-	Não aplicável.
vii) adsorção por contato com outras superfícies	9	3	Absoluta. Irrigação por sulcos ou inundação.	-	-	Não aplicável.	-	-	Não aplicável.
S (f_i via exp)		45			24			21	
S [(f_i via exp) x (f_i cen exp)]		387			114			81	
Fator de normalização		405			216			189	
Vulnerabilidade		0,96			0,53			0,43	
Barreiras: Cultura de consumo após o cozimento; Remoção da casca - Descascamento das frutas e raízes									
Dano		1,00			1,00			0,39	
Risco Receptor		8,60			4,75			1,50	
Risco Global	4,95								

Esta reiteração na aplicação da metodologia apresenta um resultado bastante relevante, em que ao se ofertar uma água correspondente a um efluente secundário (sem desinfecção), mesmo o Risco estimado para o agricultor passando de aceitável para inaceitável, o Risco Global se mantém na categoria aceitável, embora bastante próximo ao limite do valor máximo.

Neste sentido, considerando os estudos de Lima et al. (2021a), pode-se destacar que as regiões hidrográficas Uruguai, Atlântico Sudeste e Tocantins apresentam elevado potencial para aplicação do reúso de água em irrigação de culturas de arroz por sulcos ou por inundação, com Risco Aceitável de contaminação microbiológica de seres humanos envolvidos com a prática. Porém, destaca-se que o estudo trata de uma abordagem científica generalizada e no caso de uma aplicação real, todos os envolvidos devem ser avaliados com critério e os cenários devem ser exaustivamente estudados, considerando ainda o uso de equipamentos e hábitos de segurança entre os trabalhadores em cada setor, de modo a dar mais segurança para a prática.

Destaca-se ainda que na Ásia, maior produtora de arroz irrigado do mundo, a cultura representa 40-46% de área irrigada dentre todas as demais culturas (DAWE, 2005). De acordo com Xu et al. (2020), o reúso de água na China tem se tornado o principal objetivo das ETE na nova era de tratamento de esgotos no país.

Neste sentido, a afirmação de Rijsberma (2006) de que um bom caminho para resolver o problema de escassez hídrica é aumentar a produtividade de água, corrobora os resultados da presente pesquisa. Hafeez, Bundschuh e Mushtaq (2014) destacam ainda que no caso do arroz irrigado, é importante determinar as implicações econômicas e de energia ao considerar as opções de reúso de água para melhorar a produtividade da água no nível do sistema.

Portanto, a abordagem do presente item (Aplicação ASqRM) demonstra a existência do Risco para a prática proposta, porém considerando que ela pode ser segura (no nível desprezável e aceitável), desde que todos os aspectos previstos sejam assegurados.

Destaca-se que as premissas aqui apresentadas podem (e devem) ser alteradas, de modo que se adequem melhor ao projeto real, inclusive com a inclusão de outros receptores, caso seja necessário. Em situações de irrigação por aspersão, por exemplo, deve-se incluir o receptor “vizinhança”, que tem forte relação com a ingestão de microgotículas, dependendo da distância em que se encontra do sistema e do método de irrigação.

Essas adequações são as principais vantagens da metodologia, já que a realidade de cada projeto pode ser traduzida na estimativa do Risco. Assim, quanto mais detalhados forem os cenários, menor será a incerteza. Outro ponto forte do método é a possibilidade de reavaliações, em um processo iterativo, que permite uma avaliação estratégica. Caso o projeto se torne inviável (com Risco Global inaceitável), ou em casos em que se deseja passar da categoria

aceitável ($3 \leq R \text{ Global} < 7$) para desprezável ($0 \leq R \text{ Global} < 3$), ou ainda com o simples objetivo de baixar o Risco, é possível alterar as barreiras e/ou incluir outras, de modo a apresentar diferentes soluções técnicas possíveis aos gestores e tomadores de decisão.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho apresentou a discussão referente ao estudo e aplicação das metodologias de avaliação de potencial e do risco de contaminação microbiológica em seres humanos para irrigação com água para reúso.

Por meio do estudo da metodologia PotReuso e a elaboração do roteiro básico, pode-se perceber que a aplicação é de fácil execução pelos responsáveis. Além disso, existe a possibilidade de inclusão de novos elementos e particularidades, dependendo sempre das características da região a ser implementada.

Para a aplicação da metodologia PotReuso, os dados referentes às potenciais ofertas são os efluentes das ETEs dentro da região de estudo; e às potenciais demandas podem ser buscadas em diferentes fontes, com destaque para os documentos nacionais publicados pela ANA, pelos órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos, entre outros. Tanto para os dados de possíveis ofertas como para os dados de possíveis demandas, sugere-se uma análise quali-quantitativa de dados históricos, baseada em uma estatística descritiva simples.

De maneira geral, em termos quantitativos, as ETEs em operação no Brasil, geram 88,18 m³/s de efluente na Categoria 01 e 10,24 m³/s na Categoria 02. Isso representa 9% do total da demanda hídrica no país, considerando que esta é de 1.078,71 m³/s. Em algumas Regiões Hidrográficas (Paraná e Paraguai), o potencial instalado é alto, em torno de 44% da demanda, considerando os efluentes de todas as Categorias. Entretanto, na maioria delas, o potencial é baixo, em função dos reduzidos índices de atendimento em relação ao esgotamento sanitário.

Observou-se ainda que somente 7% da vazão de esgoto tratado no Brasil passa por etapa terciária de desinfecção, mostrando uma fragilidade em relação à qualidade do efluente tanto para lançamento em corpos d'água como para aplicação da prática de reúso.

A aplicação da metodologia ASqRM para reúso de água na irrigação, no Brasil, demonstra que a prática pode ser considerada uma atividade segura, caso sejam tomadas todas as medidas e normas para a sua utilização. Assim, o reúso de água na agricultura torna-se uma estratégia para a gestão de recursos hídricos e o caminho para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário.

A aplicação da ASqRM nas Regiões Hidrográficas Brasileiras foi conduzida em duas situações. Na RH Atlântico Sudeste, com a irrigação localizada como método predominante, obteve-se o Risco Desprezável com a utilização da ApR da Categoria 2. Nas RH Paraguai e

Paraná, cujo método de irrigação predominante é o Pivô central, obteve-se o Risco aceitável com a utilização da ApR da Categoria 2.

Cabe destacar que esses resultados foram obtidos utilizando-se dados bastante agregados, em escala nacional, havendo a necessidade de estudos aplicados para o conhecimento específico da qualidade do efluente, o tipo de cultura e o método de irrigação, dentre outros aspectos, com vistas a uma aplicação mais prática e específica.

No caso irrigação da cultura de arroz no Brasil com ApR, conclui-se que o reúso de água pode ser aplicado, considerando métodos de irrigação como sulcos e inundação, com risco global aceitável de contaminação dos receptores envolvidos (agricultor, consumidor e vizinhança), podendo contribuir para uma considerável redução do consumo de água no mundo.

Tanto para o efluente secundário como para o efluente secundário desinfetado, foi possível alcançar Risco global aceitável, embora destaque-se a relevância da desinfecção para minimização do risco em qualquer aplicação de reúso de água. Ainda, é fundamental a adoção de equipamentos e hábitos de segurança a todos os trabalhadores envolvidos, além de capacitação, para minimizar, ao máximo, o risco inerente ao uso de ApR, sem esquecer a minimização do acesso de pessoas sem permissão às áreas regadas.

Há sempre que se ressaltar que a aplicação mais adequada desta metodologia de avaliação do risco deve levar em consideração as características e especificidades de cada projeto, com exaustivas caracterizações, e todos os potenciais receptores envolvidos no projeto. Neste caso, é possível incluir, além daqueles adotados no presente estudo, todos os trabalhadores envolvidos no processamento do arroz, anteriormente à chegada à mesa do consumidor final.

É importante destacar que os resultados apresentados para os casos propostos foram alcançados por meio do uso da planilha Excel. Neste caso, o objetivo é facilitar o acesso para os usuários. Destaca-se que o risco de contaminação microbiológica existe, mas pode ser minimizado com uma gestão adequada. Essa gestão, passa pela aplicação correta da metodologia ASqRM.

Por fim, tanto no Brasil como em regiões de mais baixo desenvolvimento socioeconômico, é necessário planejar os avanços dos índices de atendimento com tratamento de esgotos, considerando a possibilidade técnica, econômica e logística de atendimento à irrigação das culturas mais apropriadas, com a água para reúso.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.
- ADASA. **Resolução Nº 005, de 09 de maio de 2022. Estabelece diretrizes para o aproveitamento ou reúso de água não potável em edificações no Distrito Federal. DODF nº 86, de 10 de maio de 2022**. Brasil, 2022.
- ADEGOKE, A. A.; AMOAH, I. D.; STENSTRÖM, T. A.; VERBYLA, M. E.; MIHELICIC, J. R. Epidemiological Evidence and Health Risks Associated With Agricultural Reuse of Partially Treated and Untreated Wastewater: A Review. **Frontiers in Public Health**, v. 6, 6 dez. 2018.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileira - Edição especial**. Brasil: [s.n.].
- ANA. **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017.
- ANA. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, 2019.
- ANA. **Atlas irrigação - uso da água na agricultura irrigada**. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.
- ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno**. Brasília: [s.n.].
- ANGELAKIS, A. N. et al. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, 11 maio de 2018.
- ARAUJO, B. M. et al. **Aspectos econômicos para o reúso na agricultura na Bacia do Rio Paraíba do Sul e comparação com o modelo da gestão de cobrança em Israel**. Juiz de Fora, Minas Gerais: Anais: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, 2018.
- ARAUJO, B. M.; MANHÃES, A. C. D.; SANTOS, A. S. P. **Viabilidade Econômica e Análise das Práticas de Reúso dos Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto do Município do Rio de Janeiro - ETE Alegria e ETE Penha**. Anais. Anais...Florianópolis: XVII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, 2016.
- AVELAR, P. DA S.; SILVA JUNIOR, L. C. S. DA; LIMA, M. A. DE M.; SANTOS, A. S. P.; LENCAR, K. M. C. A; GONÇALVES, R. F.; VIEIRA, J. M. P. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 02 – Planejamento técnico e estratégico. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 18–35, 15 set. 2021.
- BASTOS, R. K. X; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C. A. DE L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L. O.; VON SPERLING, M.; AISSE, M. M.; BEVILACQUA, P. D.; PIVELI, R. P. Subsídios à regulamentação do reúso da água no Brasil - Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e pisciculturais. **Revista DAE**, v. 56, n. 177, p. 50–62, 2008.

BERTOLDI, M. R.; ROSA, R. G. DA. A concretização do direito à informação ambiental: o acesso à informação para a efetividade da cidadania socioambiental brasileira. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 10, n. 3, p. 233, 21 dez. 2019.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** DOU, Brasil, 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm>. Acesso em: 28 de nov. de 2022.

BRASIL. **Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências.** DOU. Brasil, 27 abr. 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm>. Acesso em: 28 de nov. de 2022.

BRASIL. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso de água não potável de água, e dá outras providências.** Diário Oficial da União. Brasília, 28 nov. 2005.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978.** DOU. Brasil, 5 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 28 de nov. de 2022.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. **Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.** Diário Oficial da União. Brasília, 13 maio 2011.

BRASIL. Lei nº 14.026. **Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017.** Diário Oficial da União. Brasil. Diário Oficial da União, 2020.

CHAVES, V. S.; SCHNEIDER, E. H. M.; LIMA, A. S. P.; MENDONÇA, L. C. Desempenho das estações de tratamento do esgoto de Aracaju. **Revista DAE**, v. 66, n. 209, p. 51–58, 2018.

CHHIPI-SHRESTHA, G.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: Probabilistic risk-based investigation and recommendations. **Science of The Total Environment**, v. 576, p. 738–751, jan. 2017.

DAWE, D. Increasing Water Productivity in Rice-Based Systems in Asia – Past Trends, Current Problems, and Future Prospects. **Plant Production Science**, v. 8, n. 3, p. 221–230, 1 jan. 2005.

EUROPEAN UNION. **Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on minimum requirements for water reuse.** Official Journal of the European Union, 2020.

FIELDING, K. S.; DOLNICAR, S.; SCHULTZ, T. Public acceptance of recycled water. **International Journal of Water Resources Development**, v. 35, n. 4, p. 551–586, 4 jul. 2019.

FIESP. **Manual de conservação e reúso de água na agroindústria sucroenergética**. Brasília: 2009.

HAFAEEZ, M.; BUNDSCHUH, J.; MUSHTAQ, S. Exploring synergies and tradeoffs: Energy, water, and economic implications of water reuse in rice-based irrigation systems. **Applied Energy**, v. 114, p. 889–900, 2014.

INTERÁGUAS. **Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto III – Critérios de qualidade de água**. Brasília: 2018.

ISHIZAKA, A.; LUSTI, M. How to derive priorities in AHP: a comparative study. **Central European Journal of Operations Research**, v. 14, n. 4, p. 387–400, 2006.

ISO. **ISO 20426:2018 - Guidelines for Health Risk Assessment and Management for Non-potable Water Reuse**. Geneva, 2018.

ISO. **ISO 16075-1:2020 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 1: The basis of reuse, 2nd. Ed.** Geneva, 2020a.

ISO. **ISO 16075-2:2020 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects — Part 2: Development of the project, 2nd. Ed., 2020b.**

KHAN, S. J.; ANDERSON, R. Potable reuse: Experiences in Australia. **Current Opinion in Environmental Science & Health**, v. 2, p. 55–60, abr. 2018.

LIMA, M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply**, v. 21, n. 6, p. 2799–2810, 22 out. 2021a.

LIMA, M. A. DE M.; SANTOS, A. S. P.; AVELAR, P. DA S.; SILVA JUNIOR, L. C. S. DA; ARAUJO, B. M.; GONÇALVES, R. F.; VIEIRA, J. M. P. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 04 – Futuro e desafios. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 55–70, 15 set. 2021b.

LIMA, M. A. M. L.; SANTOS, A. S. P.; ARAUJO, B. M.; AYRIMORAES, S. R. A.; VIEIRA, J. M. P. **Avaliação do risco microbiológico no reúso de água para irrigação no Brasil**. 31º Congresso da ABES. **Anais...** Curitiba, Brasil: 17 out. 2021c.

LIMA, M. A. DE M.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Irrigação com água de reúso no Brasil: Aplicação do modelo Semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 9, n. 2, p. 71–86, 15 set. 2021.

MARIN, P., TAL, S.; YERES, J.; RINGSKOG, K. **Water management in Israel: key innovations and lessons learned for water scarce countries**. 2017.

MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P.; SANTOS, N. A. P.; ARAUJO, N. A. P.; OLIVEIRA, J. R. S.; CAMPOS, A. R. Evaluation of potential use of domestic treated effluents for irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu river basin. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 75, 29 maio 2020.

MELO, M. C.; SANTOS, A. S.; VIEIRA, J. M. P. A nova centralidade da água e do saneamento pós COVID19. **Revista Augustus**, v. 25, n. 51, p. 294–315, 3 jun. 2020.

MUKHERJEE, M.; JENSEN, O. Making water reuse safe: A comparative analysis of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia. **Safety Science**, v. 121, p. 5–14, jan. 2020.

ORGANIZATION, W. H. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater in agriculture and aquaculture**. [s.l.] World Health Organization, 2006.

ORGANIZATION, W. H. **Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta**. [s.l.] World Health Organization, 2015.

ORGANIZATION, W. H. **Potable reuse: guidance for producing safe drinking-water**. [s.l.] World Health Organization, 2017.

PORTUGAL. **Decreto-Lei n.º 119/2019**. Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Portugal, 2019. Disponível em: <<https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/119-2019-124097549>>. Acesso em: 20 de nov. de 2022.

RdA. Reúso de Água. Mapa esquemático do percentual de reúso de água em diferentes regiões do mundo. Disponível em: <https://reusodeagua.org/producao-de-dados/>. Acesso em: 28 de nov. de 2022.

REBELO, A. FERRA, I.; GONÇALVES, I.; MARQUES, A. M. A Risk Assessment Model for Water Resources: Releases of dangerous and hazardous substances. **Journal of Environmental Management**, v. 140, p. 51–59, 2014.

REBELO, A. **Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água**. Atas do 14º Congresso da Água. **Anais...** Évora, Portugal: 2018.

REBELO, A.; QUADRADO, M.; FRANCO, A.; LACASTA, N.; MACHADO, P. Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. **Water Cycle**, v. 1, p. 41–53, 2020.

REBELO, A.; FRANCO, A. **Guia para a reutilização de água - Usos não potáveis**. 2019. Disponível em: <https://apambiente.pt/sites/default/files/_Agua/DRH/Licenciamento/ApR/APA_Guia_Reutilizacao_v1.pdf>. Acesso em: 27 de fev. 2022.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? **Agricultural Water Management**, v. 80, n. 1, p. 5–22, 2006.

SAATY, T. L. **The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation**. New York, London: McGraw-Hill International Book Co. 1980.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M.; RAMOS, L. T. A.; PEREIRA, C. B.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. Capacidade de reúso de efluentes de estações de tratamento de esgoto na bacia hidrográfica do Paraíba do Sul. **Semioses**, v. 12, n. 3, p. 16–33, 28 set. 2018.

SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C.; LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, 15 dez. 2020.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, n. 1, p. 50–68, jul. 2020.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M. Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil. Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SAPKOTA, A. R. Water reuse, food production and public health: Adopting transdisciplinary, systems-based approaches to achieve water and food security in a changing climate. **Environmental Research**, v. 171, p. 576–580, abr. 2019.

SHOUSHTARIAN, F.; NEGAHBAN-AZAR, M. Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review. **Water**, v. 12, n. 4, p. 971, 29 mar. 2020.

SILVA JUNIOR, L. C. S. DA et al. Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 03 – Metodologia de potencialidades (demandas e ofertas) e análise espacial. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 36–54, 15 set. 2021.

SMITH, H. M.; BROUWER, S.; JEFFREY, P.; FRIJNS, J. Public responses to water reuse – Understanding the evidence. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 43–50, fev. 2018.

SOUZA, E. J. DE; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. Níveis de adubação no cultivo de melancia irrigado com esgoto. **Revista DAE**, v. 65, n. 207, p. 94–106, 2017.

TCHOBANOGLOUS, G. **New directions for wastewater treatment in the 21st century**. Flotation 2012 Proceedings 6th International Conference on Flotation for Water and Wastewater Systems. **Anais...**New York, NY: International Water Association, 2012.

UNITED NATIONS. **General Assembly Resolution A/RES/64/292. The human right to safe drinking water and sanitation**. 2010. Disponível em: <https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292>.

UNITED NATIONS. **General Assembly Resolution A/RES/70/1. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: <<https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>>.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse - EPA/600/R-12/618**. Washington, D.C., 2012. Disponível em: <<https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>>. Acesso em: 27 fev. 2022.

VIEIRA, J. M. P. Plano de segurança da água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano. **Revista Eletrônica De Gestão E Tecnologias Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 87–97, 2013.

VIEIRA, J. M. P. **Água e Saúde Pública**. 1. ed. [s.l.] Sílabo, 2018.

WATER EUROPE. **A water smart society for a successful post COVID19 recovery plan**. Bruxelas, 2020. Disponível em: <<https://watereurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/A-Water-Smart-Society-for-a-Successful-post-COVID19-recovery-plan.pdf>>. Acesso em: 6 nov. 2022.

WHO. **Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management**. [s.l.] World Health Organization, 2016.

WWAP. **Wastewater: The Untapped Resource**. Paris, 2017.

XU, A.; YIN-HU, W.; CHEN, Z.; WU, Q.; LING, F.; HUANG, W. E.; HU, H. Towards the new era of wastewater treatment of China: Development history, current status, and future directions. **Water Cycle**, v. 1, p. 80–87, 2020.

ZHITENEVA, V.; HÜBNER, U.; MEDEMA, G. J.; DREWES, J. E. Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: A review. **Microbial Risk Analysis**, v. 16, p. 100132, 2020.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil	100
APÊNDICE B - Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 01 - Terminologia e conceitos de base	113
APÊNDICE C - Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 04 - Desafios Tendências	130
APÊNDICE D - Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 02 – Planejamento técnico e estratégico	146
APÊNDICE E - Proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água: 03 - Metodologia de potencialidades (demandas e ofertas) e análise espacial	164
APÊNDICE F - Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions	183
APÊNDICE G - Irrigação com água de reúso no Brasil: Aplicação do modelo Semiquantitativo de Avaliação de Risco Microbiológico para saúde humana	195
APÊNDICE H - Avaliação do risco microbiológico no reúso de água para irrigação no Brasil	210
APÊNDICE I - Water reuse in Brazilian rice farming: Application of semiquantitative microbiological risk assessment	223
APÊNDICE J - Planilha Excel para aplicação da metodologia ASqRM	232

Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados ao reúso de águas como diretriz de institucionalização da prática no Brasil

Technical Note 2 - Legal aspects of water reuse serving as a guideline for institutionalizing this practice in Brazil

Ana Silvia Pereira Santos^{1*}, Maíra Araújo de Mendonça Lima²

RESUMO

O reúso de água é uma importante ferramenta de gestão e planejamento de recursos hídricos, podendo ser incluído como uma fonte alternativa nas matrizes hídricas regionais. Entretanto, apesar da evolução geral da regulamentação sobre reúso de água no Brasil e no mundo, o país conta atualmente com uma base legal insatisfatória para a sistematização da prática. Considerando o estabelecimento de padrões de qualidade de água para diferentes modalidades de reúso, o Brasil estabeleceu, a nível federal, o documento não mandatário do Programa Interáguas e, a nível subfederal, documentos mandatários em alguns estados. Os principais aspectos levantados para a elaboração de uma regulamentação da prática de reúso são: a abordagem das tipologias de reúso alinhadas aos padrões compatíveis com as tecnologias de tratamento de esgoto de amplo domínio da engenharia e da capacidade de pagamento dos usuários no território nacional, ferramentas de licenciamento, avaliação do risco microbiológico, estabelecimento de um ambiente de confiança entre as partes, e a elaboração de uma identidade visual dos equipamentos e veículos referentes ao reúso. Nesta nota técnica são apresentados os critérios para reúso de água no cenário nacional, assim como os principais marcos referentes a evolução da regulamentação sobre reúso de água no mundo e no cenário nacional.

Palavras-chave: documentos reguladores; padrões de reúso; avaliação de risco microbiológico; reúso agrícola; reúso urbano; reúso industrial; reúso aquícola.

ABSTRACT

The water reuse is an important tool for the management and planning of water resources, which can be considered as an alternative source in the regional water matrices. However, despite the general evolution of regulations on water reuse in Brazil and worldwide, the country currently has an unsatisfactory legal basis for systematizing the practice. Considering the establishment of water quality standards for different types of reuse, Brazil has established at the federal level, the non-mandatory document of the Interáguas Program and, on a sub-federal level, mandatory documents in some states. The main raised aspects for the elaboration of a water reuse regulation are: the approach of reuse typologies in line with standards compatible with wastewater treatment technologies upon a wide engineering domain and the payment capacity of users in the national territory, licensing tools, microbiological risk assessment, establishment of a trust environment between the stakeholders, and, the elaboration of a visual identity for the equipment and vehicles related to reuse. This technical note presents guidelines and criteria for water reuse in Brazil, as well as the main milestones concerning the water reuse regulation in the world and in Brazil.

Keywords: regulatory documents; reuse standards; microbiological risk assessment; agricultural reuse; urban reuse; industrial reuse; aquaculture reuse

¹Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Coordenadora do Grupo de Pesquisa Reúso de Água: Tecnologias | Gestão | Governança

²Engenheira Ambiental e Sanitarista pela UERJ. Gestora ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ). Aluna de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UERJ. Membro do Grupo de Pesquisa Reúso de Água: Tecnologias | Gestão | Governança

Endereço para correspondência: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier 524, 5008-E. Maracanã - Rio de Janeiro, RJ. CEP: 20550-900.

E-mail: ana.pereira@uerj.br

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o país que apresenta a maior disponibilidade de água em todo o mundo. Entretanto, o seu potencial hídrico, bem como a sua população total estão distribuídos de maneira desigual no território nacional. Esse cenário, associado às consequências das alterações climáticas e do crescimento populacional, vêm agravando as pressões sobre os recursos hídricos e tornando cada vez mais frequentes os episódios mais severos de estresse hídrico em diferentes regiões brasileiras.

Historicamente, o Semiárido brasileiro, que engloba os estados da região Nordeste, além do norte do estado de Minas Gerais, é a região mais afetada com a falta de água em todo o território nacional, contribuindo para o baixo nível de desenvolvimento socioeconômico nessa região (LIMA *et al.*, 2021). Nessa perspectiva da água como um fator limitante ao desenvolvimento socioeconômico, é notória a necessidade da aplicação de práticas de reúso de água, de forma a introduzir essa fonte alternativa nas matrizes hídricas regionais. Não obstante, regiões tipicamente com maior disponibilidade hídrica se comparadas com o Semiárido, como a região Sudeste do país, também têm enfrentado dificuldades, principalmente associadas às elevadas demandas e situações de conflitos pelo uso da água.

Nesse contexto, a segurança hídrica se apoia essencialmente na demanda e na oferta de água. No Brasil, a vazão média de água consumida em 2019 foi de $1.125 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sendo a vazão de exploração nos mananciais hídricos de $2.083 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ANA, 2020). Percebe-se que, aproximadamente, metade da água retirada foi de fato consumida, representando uma relação entre usos consuntivos e não consuntivos). Assim, a oferta de água deve adotar um portfólio hídrico com maior diversidade de fontes para garantir o suprimento, mesmo em situações adversas.

Usos consuntivos: usos em que a água é consumida, diminuindo a sua disponibilidade no corpo hídrico para usos futuros (p. ex.: abastecimento industrial, abastecimento humano, irrigação).

Usos não consuntivos: usos que não exercem consumo de água e não afetam diretamente a sua quantidade (p. ex.: recreação, geração de energia hidroelétrica, navegação).

O Brasil, em função da sua abundância absoluta de água, exerceu ao longo de anos um papel cultural de excesso e desperdício de água. Esse cenário histórico demanda, na atualidade, uma gestão eficiente, segura e responsável dos recursos hídricos, de forma a garantir quantidade e qualidade de água para todos os usos pretendidos. Dessa forma, dois pontos merecem destaque no contexto da institucionalização da prática do reúso de água no Brasil:

1. Desenvolvimento socioeconômico: o acesso restrito à água, particularmente em regiões menos desenvolvidas, pode dificultar consideravelmente o desenvolvimento socioeconômico. Nesse sentido, a introdução da água de reúso na matriz hídrica regional ganha destaque e pode servir de impulsão para a produção de alimentos tanto para consumo próprio como para comercialização, gerando movimentação econômica.
2. Conflitos pelo uso da água: conforme indicado por Melo *et al.* (2020), os conflitos em bacias hidrográficas, que já eclodem frequentemente no país, são caracterizados por tensões e disputas em função dos diferentes usos, associados aos períodos de escassez, irregularidades de distribuição, aumento de demanda e a degradação do meio ambiente. Nesse contexto, o reúso de água tem papel fundamental na minimização de conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas.

A utilização de efluente tratado é uma prática que, de maneira intrínseca, pode carregar riscos para a saúde pública e para o meio ambiente. Conhecida como simplesmente *reúso de água*, a prática encontra grande potencial de aplicação nas regiões mais afetadas pela seca, a partir de uma estruturação de mecanismos legais para a utilização racional e em segurança. De acordo com Santos e Vieira (2020), o quadro regulatório deve se apoiar em diferentes instrumentos como: (i) indicação de padrões de qualidade de água para os diferentes usos baseada em ferramentas de avaliação de risco; (ii) definição de responsabilidades entre os produtores e consumidores da água de reúso, além do papel do órgão fiscalizador; (iii) mecanismos para o processo de licenciamento ambiental; (iv) implantação de seguro contra eventuais incidentes; e (v) definição e orientação para implantação de metodologia de gestão

de risco. Nesse contexto, a presente nota técnica (NT) tem como objetivo apresentar o quadro regulatório sobre reúso de água e os padrões de qualidade para diferentes modalidades no Brasil.

A determinação de um quadro regulatório adequado, bem como a implantação de uma política de reúso de água são ações fundamentais para o incentivo e a institucionalização segura e responsável da prática de reúso como forma de aumentar a disponibilidade hídrica de uma determinada região. Santos e Vieira (2020) ainda afirmam que a definição de padrões mais flexíveis inicialmente pode contribuir para o ganho de experiência e atualizações mais exigentes no futuro.

2. EVOLUÇÃO GERAL DA REGULAMENTAÇÃO SOBRE REÚSO DE ÁGUA

A regulamentação da prática de reúso no mundo teve início em 1918, quando o estado da Califórnia (EUA) publicou seus primeiros padrões, considerando a aplicação de efluente tratado em culturas agrícolas não consumidas cruas (ANGELAKIS *et al.*, 2018; SHOUSHARIAN e NEGAHBAN-AZAR, 2020). Tratava-se naquele momento de um destino adequado, considerando as propriedades de fertirrigação do esgoto.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) publicou suas primeiras diretrizes relacionadas ao reúso de água para irrigação em 1973, promovendo ações semelhantes em diversos países (SHOUSHARIAN e NEGAHBAN-AZAR, 2020). Em 1999, a OMS adotou pela primeira vez o conceito de segurança do abastecimento de água, no contexto dos Planos de Segurança da Água, em uma abordagem baseada no risco, com o objetivo de controlar as doenças de veiculação hídrica; e em 2006 publicou suas diretrizes para o reúso de água na agricultura (OMS, 2016). Em 2017, com base na metodologia *Quantitative Microbiological Risk Assessment* (QMRA) ou Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), a OMS estabeleceu um guia para produção de água potável a partir do reúso (OMS, 2017).

As publicações da OMS têm o forte objetivo de atingir principalmente as regiões de menor desenvolvimento socioeconômico, que sofrem com cenários de escassez

de água, como países da América Latina, Caribe, Ásia e África. Assim, ao longo dos anos, muitos países, inclusive da Europa, adotaram as diretrizes da OMS, modificando-as de acordo com suas conveniências em relação às suas peculiaridades geográficas, econômicas e epidemiológicas (JEONG *et al.*, 2016). Esse foi o caso do Brasil, que teve sua primeira legislação de reúso de água com definição de padrões publicada pelo estado da Bahia em 2010, considerando os aspectos indicados pela OMS. Posteriormente, foi a vez dos estados do Ceará e de São Paulo em 2017 (este último com atualização em 2020) e dos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul em 2020 (SANTOS *et al.*, 2020).

Inicialmente, a falta de conhecimento técnico, principalmente em relação aos riscos à saúde pública e ao meio ambiente acabaram por determinar práticas mais simplórias, para usos pouco restritivos e com padrões pouco rigorosos. Diante das experiências adquiridas, da evolução da tecnologia em produzir água de melhor qualidade e do aumento das demandas para usos cada vez mais nobres, os regulamentos foram sofrendo atualizações no sentido de apresentarem padrões mais restritivos, para usos mais nobres como o uso potável. Nesse contexto, destaca-se a Austrália que publicou o primeiro regulamento com padrões para o reúso potável (ANGELAKIS *et al.*, 2018). Essa evolução de regulamentação, desde a promulgação do primeiro regulamento sobre reúso de água no mundo (em 1918), até os dias atuais (considerando a inserção nacional) pode ser visualizada na **Figura 1**.

O trinômio *observação-necessidade-oportunidade* deve ser considerado nessa discussão histórica da evolução do reúso de água no mundo. No passado, a *observação* relacionada ao melhor desenvolvimento das culturas irrigadas com efluente tratado levou à sua aplicação como forma de enriquecimento nutricional, além do provimento de água. A essa prática dá-se o nome de fertirrigação. Essa observação foi fundamental para o atendimento das *necessidades* em regiões mais desfavorecidas em termos de disponibilidade hídrica. Posteriormente, a *oportunidade* do negócio favoreceu o desenvolvimento da prática de reúso nessas regiões, que ao longo dos anos se espalhou pelo mundo. Assim, o reúso de água vem se desenvolvendo e a regulamentação é parte fundamental desse processo.

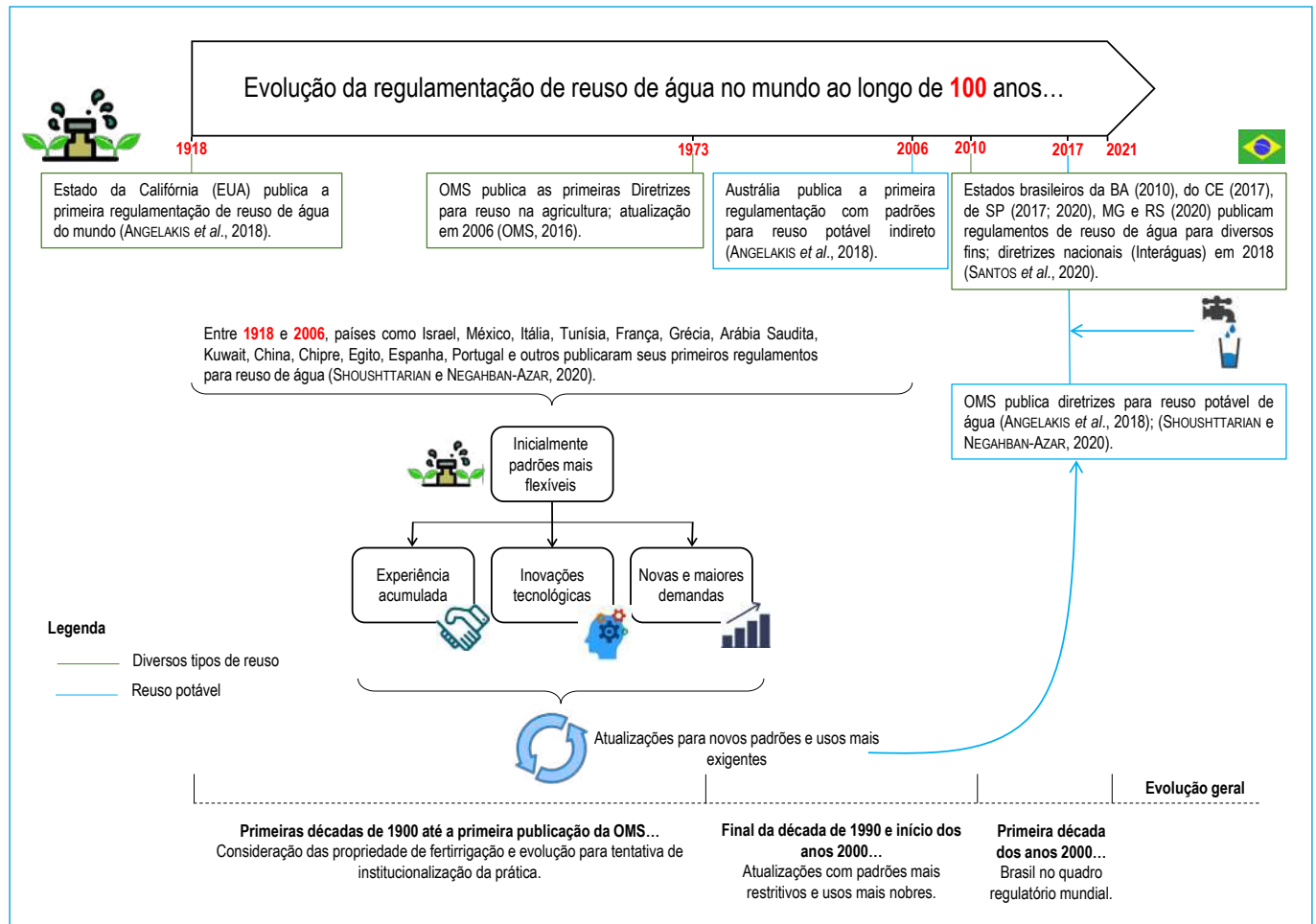


Figura 1 – Representação esquemática da evolução da regulamentação de reúso de água no mundo.

3. EVOLUÇÃO DO QUADRO REGULATÓRIO SOBRE REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL

No Brasil, o primeiro documento de caráter regulador, mas não mandatório, que abordou o reúso de água foi a Norma Brasileira (NBR) 13.969/1997 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1997). Apesar de essa norma apresentar orientações para projeto, construção e operação de unidades de tratamento complementar aos tanques sépticos, o seu item 5.6 prevê orientações para o reúso local. Esta NBR previu classes de reúso considerando aplicações locais, como lavagem de pisos, calçadas e veículos, irrigação de jardins e de pomares, descarga em vaso sanitário entre outros. A qualidade para cada uma dessas classes poderia ser então alcançada a partir de arranjos específicos, que deveriam combinar diferentes tecnologias de tratamento de esgoto, tais

como lodo ativado, filtro aerado submerso, filtração terciária, cloração e até mesmo membranas. Atualmente, é possível observar que o documento se encontra descontextualizado, em função principalmente de se prever tecnologias tão avançadas para alcance de qualidades bastante restritivas, e em unidades localizadas.

Contudo, a publicação da NBR 13.969/1997 teve um papel importante e iniciou as ações mais tímidas de tentativas de regulamentação da prática de reúso de água no Brasil. A Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 54, de 28 de novembro de 2005, foi publicada com a intenção de estabelecer modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável (BRASIL, 2005). Entretanto, o documento somente dispõe sobre aspectos gerais e não indica padrões de qualidade para os diferentes usos. Anos mais tarde, foi publicada, a Resolução do Conselho Nacional

de Meio Ambiente (CONAMA) nº 430, de 13 de maio de 2011, com o objetivo de estabelecer condições e padrões para lançamento de efluentes (BRASIL, 2011). Neste caso, a palavra “reúso” foi mencionada somente uma vez, em seu artigo 27, ao afirmar que as fontes poluidoras devem proceder o reúso sempre que possível e adequado.

Nessa evolução do quadro regulatório, o Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) estudou a fundo a questão do reúso de água e propôs diretrizes voluntárias, além de definir padrões de reúso de água para aplicações urbanas, agrícolas e na piscicultura, conforme documentado por Bastos *et al.* (2008). O PROSAB primou pela indicação de padrões mais flexíveis, condizentes com a realidade nacional e fundamentados em análise de risco, embasadas em evidências epidemiológicas (BASTOS *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2020). Aliás, uma das principais premissas do PROSAB era exatamente considerar a capacidade de investimento e o desenvolvimento tecnológico nacional (SANTOS *et al.*, 2020).

Em 2010, a Bahia configurou-se como o primeiro estado brasileiro a publicar padrões legais de reúso de água para a agricultura, em que se considerou basicamente as diretrizes da OMS. Outros estados, como Ceará, São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, adotaram regulamentos legais somente a partir de 2017 (SANTOS *et al.*, 2020). Por fim, a nível nacional, o Programa Interáguas definiu diretrizes não mandatórias para o reúso de águas no Brasil em 2018, que indicam padrões de reúso de água para usos na irrigação, urbanos, industriais, ambientais e aquicultura. O mesmo documento apresenta orientações (não padrões) para recarga de aquífero para usos não potáveis e para reúso potável direto e indireto (superficial ou subterrâneo) (INTERÁGUAS, 2018).

Outro destaque relevante é a Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), que atualiza o marco legal do saneamento básico no país. Essa aborda o reúso de água de forma importante e destacada, quando inclusive define o esgotamento sanitário como “constituído pelas atividades e pela disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações

prediais até sua destinação final para *produção de água de reúso* ou seu lançamento de forma adequada no meio ambiente”. Essa definição, que coloca a “produção de água para reúso” anteriormente ao “lançamento no meio ambiente” aponta para uma tendência, podendo auxiliar de maneira importante a mudança de cultura em termos de reutilização de água no país.

Cada um dos documentos aqui citados (que indicam padrões de qualidade de água para reúso) determinam níveis de restrição diferentes e para diferentes usos, que estão intimamente relacionados aos objetivos propostos, aos riscos associados e à condição de desenvolvimento socioeconômico da região. Dessa forma, apesar de lentamente, o Brasil vem dando passos de acordo com as suas características, e as atualizações dos padrões são absolutamente aceitáveis e indicadas, ao longo das experiências adquiridas. Pelo fato de o Brasil ser um país de dimensões continentais com diferentes características culturais, econômicas, ambientais e sociais, dentro do próprio território nacional é necessário aplicar conceitos específicos para cada região. O que não deve acontecer é a adoção simplista de padrões internacionais que não condizem com a realidade regional.

4. CRITÉRIOS PARA O REÚSO DE ÁGUA NO CENÁRIO NACIONAL

O reúso de água somente acontece quando há efluente tratado disponível para a prática. Porém, no Brasil, observa-se que a universalização da coleta e tratamento de esgoto ainda está longe de ser alcançada. De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a parcela da população atendida com coleta e tratamento de esgoto representa cerca de 43%. E, em relação à qualidade do efluente tratado, ainda há um déficit elevado; quase 30% do efluente tratado no país apresenta uma eficiência de remoção de matéria orgânica inferior a 80% (ANA, 2017). De acordo com Lima *et al.* (2021), somente 7% da vazão total coletada e tratada passa por etapa terciária de desinfecção. Portanto, há ainda uma necessidade de adequar as unidades que apresentam mais baixo desempenho, para que haja um possível planejamento do reúso em regiões que possuem potencial.

O tipo de reúso demanda uma determinada qualidade de água, que é oferecida pela tecnologia de tratamento

adotada na ETE. Para garantir a qualidade exigida, precisam ser definidos padrões, critérios e diretrizes, que devem estar alinhados com um documento regulador, que por sua vez deve estar alinhado com uma política de reúso de água. Independentemente do nível administrativo (municipal, estadual ou federal), o documento regulador, que deve levar em consideração os objetivos e as características locais, deve ter a intenção de permitir, orientar e incentivar a prática de reúso de forma segura e responsável.

Na **Tabela 1** estão apresentados, em ordem cronológica, os padrões de qualidade de água de reúso para diferentes modalidades e os aspectos mais relevantes apresentados

tanto nas diretrizes do Programa Interáguas como nas legislações estaduais que indicam padrões de reúso no Brasil.

Além dos diferentes padrões de reúso estabelecidos em cada um dos documentos apresentados na **Tabela 1**, observam-se também aspectos específicos relacionados: (i) à definição de responsabilidades para produtores, distribuidores e usuários de água para reúso; (ii) ao licenciamento obrigatório; (iii) à abordagem do risco microbiológico para saúde pública e meio ambiente; (iv) aos níveis de restrição para cada tipo de reúso; (v) frequência de monitoramento; e (vi) à indicação de tecnologias de tratamento de esgoto para o alcance das qualidades definidas nos padrões.

Tabela 1 - Padrões e aspectos mais relevantes apresentados nos documentos reguladores no Brasil (federal não mandatário e estaduais mandatários).

Regulamentos	Padrões de reúso	Modalidades de reúso	Aplicabilidade e aspectos relevantes
Bahia - Resolução CONERH nº 75/2010	Categoria A - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Categoria B - Coliformes: 10^4 Org/100 mL ⁻¹ (Ct).	Categoria A: irrigação, inclusive hidroponia, de qualquer cultura incluindo produtos alimentícios consumidos crus. Categoria B: irrigação, inclusive hidroponia, de produtos alimentícios não consumidos crus e não alimentícios, forrageiras, pastagens, árvores, revegetação e recuperação de áreas degradadas.	Fins agrícolas e/ou florestal; sem restrição de nível de tratamento; características recomendadas pela OMS; apresenta responsabilidades para o produtor da água de reúso.
Ceará - Resolução COEMA nº 02/2017 ¹	Urbano (exceto irrigação paisagística) - Coliformes: 5×10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Irrigação paisagística: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Agrícola/florestal-a - Coliformes: ND Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Agrícola/florestal-b - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Ambiental - Coliformes: 10^4 Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Aquicultura - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct).	Urbano: irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio em área urbana. Agrícola/florestal-a: culturas a serem consumidas cruas, cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação. Agrícola/florestal-b: demais culturas. Ambiental: implantação de projetos de recuperação do meio ambiente. Aquicultura: criação de animais e cultivo de vegetais aquáticos.	Voltado para lançamento de efluentes, reúso direto de água, reúso externo (agrícola/florestal, urbano, ambiental, industrial e aquicultura) e reúso interno; apresenta padrões mais restritivos para uso agrícola florestal-a.
Programa Interáguas - 2018	Agrícola restrito - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); DBO: 30 mg/L ⁻¹ ; Cloro residual livre: > 1,0 mg/L ⁻¹ . Agrícola irrestrito - Coliformes: 10 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 15 mg/L ⁻¹ ; Cloro residual livre: > 1,0 mg/L ⁻¹ . Urbano restrito - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 30 mg/L ⁻¹ ; Cloro residual livre: > 1,0 mg/L ⁻¹ . Urbano irrestrito - Coliformes: 10 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); Turbidez: 5 NTU; DBO: 15 mg/L ⁻¹ ; Cloro residual livre: > 1,0 mg/L ⁻¹ . Industrial - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Ambiental - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); DBO: 60 mg/L ⁻¹ . Aquicultura - Coliformes: 10^3 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); DBO: 60 mg/L ⁻¹ .	Agrícola irrestrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve rente ao solo sem processamento prévio. Agrícola restrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve distante do solo sem ou após processamento prévio; irrigação de culturas não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas. Urbano irrestrito: irrigação paisagística, bacias sanitárias e lavagem de logradouros. Urbano restrito: irrigação paisagística e outros usos em áreas restritas, tais como desobstrução de redes de esgoto, construção civil, lavagem de veículos e combate a incêndio. Industrial: Aplicação em vários processos e atividades industriais. Ambiental: Aplicação em lagoas urbanas, manutenção de <i>wetlands</i> e aumento da disponibilidade hídrica para fins ambientais. Aquicultura: criação de peixe ou cultivo de vegetais aquáticos.	Voltado para fins agrícolas, urbano, ambiental, industrial e aquicultura; apresenta níveis de tratamento mínimos; recomendações de licenciamento para cada tipo de reúso; considera-se as dimensões ambientais, econômico-financeira, social, cultural e de saúde pública.

Continua...

Tabela 1 - Continuação

Regulamentos	Padrões de reúso	Modalidades de reúso	Aplicabilidade e aspectos relevantes
São Paulo - Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020	Classe A - Coliformes: ND (Ct/E. coli); Turbidez: 2 NTU; DBO: 10 mg·L ⁻¹ ; Cloro residual livre: ≥ 1,0 mg·L ⁻¹ . Classe B - Coliformes: 200 Org/100 mL ⁻¹ (Ct), 120 Org/100 mL ⁻¹ (E. coli); DBO: 30 mg·L ⁻¹ ; SST: 20 mg·L ⁻¹ ; Cloro residual total: ≥ 1,0 mg·L ⁻¹ .	Classe A (Irrestrito): irrigação paisagística; lavagem de logradouros e espaços públicos e privados; construção civil; desobstrução de galerias; lavagem de veículos; combate a incêndio. Classe B (Restrito): exclusivamente a todos os anteriores, exceto combate a incêndio.	Fins urbanos; restritivos em relação aos padrões; tratamento mínimo secundário, desinfecção e filtração; apresenta atribuições para produtor e usuário da água de reúso; identificação dos veículos e tanques.
Rio Grande do Sul - Resolução CONSEMA nº 419/2020	Urbano Classe A - Coliformes: 200 Org/100 mL ⁻¹ (Ct); Cloro residual total: < 1,0 mg·L ⁻¹ . Urbano Classe B - Coliformes: 10 ³ Org/100 mL ⁻¹ (Ct). Agrícola/florestal - Coliformes: 10 ⁴ Org/100 mL ⁻¹ (Ct).	Urbano Classe A (irrestrito): irrigação paisagística em locais de acesso irrestrito, lavagem de logradouros e veículos. Urbano Classe B (restrito): irrigação paisagística em locais de acesso limitado ou restrito, abatimento de poeira, construção civil, ETES e desobstrução de tubulações. Agrícola/florestal: irrigação de qualquer cultura, exceto frutos, hortaliças, raízes e tubérculos com contato direto com o solo ou com a água para consumo humano na forma crua.	Voltado para fins urbanos, industriais, agrícola e florestais; licenciamento ambiental para o gerador ou usuário da água de reúso.
Minas Gerais - Deliberação Normativa CERH nº 65/2020	Agrossilvipastoril amplo - Coliformes: 10 ⁴ Org/100 mL ⁻¹ (Ct/E. coli). Agrossilvipastoril limitado - Coliformes: 10 ⁶ Org/100 mL ⁻¹ (Ct/E. coli). Urbano amplo - Coliformes: 10 ³ Org/100 mL ⁻¹ (Ct/E. coli). Urbano limitado (exceto desobstrução de galerias) - Coliformes: 10 ⁴ Org/100 mL ⁻¹ (Ct/E. coli). Desobstrução de galerias: 10 ⁷ Org/100 mL ⁻¹ (Ct/E. coli)	Agrossilvipastoril amplo: fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão. Agrossilvipastoril limitado: fertirrigação superficial ou localizada, evitando contato da água de reúso com o produto alimentício. Urbano amplo: lavagem de pátios, logradouros ou outros com exposição similar; lavagem de veículos comuns; descargas sanitárias. Urbano limitado: lavagem de veículos especiais e externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndio, desobstrução de galerias.	Voltado para fins agrossilvipastoris ² , urbanos, ambientais e industriais; padrões mais flexíveis; objetiva a aplicação e o incentivo da prática; padrões para reúso em fertirrigação; apresenta responsabilidades para o produtor, distribuidor e usuário da água de reúso.

Ct - Coliformes termotolerantes; E. coli - *Escherichia coli*; ND - Não detectável; NTU - Unidade de turbidez nefelométrica; DBO - Demanda bioquímica de oxigênio; SST - Sólidos suspensos totais.

Notas: ¹Essa Resolução não tem o objetivo inicial de definir critérios para o reúso de água. O documento dispõe sobre padrões e condições de lançamentos de efluentes líquidos e apresenta as condições e padrões para o reúso. Assim, o estado não apresenta um documento regulador específico para a prática de reúso como os demais. ² Atividades agrossilvipastoris englobam agricultura, pastagens e silvicultura, as quais podem ser desenvolvidas em sistemas consorciados ou separadamente.

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2020).

Links disponíveis para consulta dos documentos reguladores abordados na Tabela 1: Bahia - Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídrico (CONERH) nº 75/2010; Ceará - Resolução do Conselho Estadual de Meio Ambiente (COEMA) nº 2/2017; Programa Interáguas - 2018; São Paulo - Resolução conjunta Secretaria de Estado da Saúde e de Infraestrutura e Meio Ambiente (SES/SIMA) nº 1/2020; Rio Grande do Sul - Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) nº 419/2020; Minas Gerais - Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídrico (CERH) nº 65/2020.

A definição de responsabilidades e atribuições para produtores e usuários da água para reúso é claramente identificada em todos os documentos reguladores estudados. A Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) nº 65/2020 do estado de Minas Gerais ainda indica que o produtor de água de reúso deve ser cadastrado no órgão ambiental. O licenciamento obrigatório da prática de reúso também é indicado nas resoluções do Ceará, São Paulo e Rio Grande do Sul. A Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente nº 419/2020 do estado do Rio Grande do Sul indica que, para fins de licenciamento, o empreendedor pode ser o produtor ou

o usuário. No caso da Bahia, há uma indicação de aprovação do empreendimento pelo órgão ambiental competente, porém, não retrata exatamente um licenciamento. Ainda, o documento do Programa Interáguas aborda a necessidade de seguro contra incidentes.

Diante do entendimento de o risco à saúde e ao meio ambiente ser intrínseco à prática de reúso de água, considera-se este um aspecto relevante a ser abordado nos regulamentos de reúso. O Programa Interáguas e os estados de São Paulo, de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul abordam padrões associados ao risco. Os dois últimos vetam a utilização da água para reúso associada

à produção de frutos, hortaliças, raízes e tubérculos, quando estes forem consumidos crus e se houver contato direto do produto com o solo ou com a água de reúso. O estado da Bahia define padrões idênticos àqueles indicados pela OMS (que levam em consideração o risco), e ainda indica que a aplicação da água para reúso para fins agrícolas/florestais deve ser interrompida nas áreas que apresentem indícios de riscos e danos ambientais ou à saúde pública.

O nível de restrição, que também é definido de acordo com o maior ou menor risco de contaminação, é indicado por todos os documentos reguladores. Esse nível é caracterizado pelas categorias “restrito” ou “irrestrito”, “amplo” ou “limitado”, ou somente tipos “a” e “b”. Mas, de forma geral, todos eles indicam maior ou menor restrição para diferentes usos, considerando padrões de qualidade específicos. Usos restritos ou limitados permitem padrões mais flexíveis, enquanto usos irrestritos ou amplos sugerem padrões mais restritivos.

Esses padrões de qualidade da água de reúso, para serem alcançados, dependem da tecnologia de tratamento de esgoto adotada e ao seu desempenho. Somente o estado de São Paulo e o Programa Interáguas definem fluxogramas de tratamento para atendimento aos padrões. No caso do Interáguas, os fluxogramas compostos por tratamento secundário e desinfecção direta foram indicados para reúso agrícola restrito, urbano restrito, industrial, ambiental e aquicultura. Já o secundário seguido de filtração terciária e desinfecção são indicados para reúso agrícola irrestrito e urbano irrestrito. Por outro lado, a Resolução conjunta Secretaria de Estado da Saúde e de Infraestrutura e Meio Ambiente (SES/SIMA) nº 01/2020 de São Paulo somente define um fluxograma mínimo composto por etapa secundária, seguida de desinfecção e filtração. De acordo com Bastos *et al.* (2008), um dos destaques do PROSAB foi exatamente a definição de critérios baseados nos padrões de qualidade de água para cada tipo de reúso e não a definição de tecnologias de tratamento de esgoto.

De forma a alcançar os objetivos do reúso, de maneira segura, o monitoramento eficaz se torna premente para a avaliação do cumprimento dos padrões de qualidade de água. Nesse sentido, todos os documentos reguladores

mencionados o adotam como instrumento de fiscalização, cuja frequência pode ser definida em função de diferentes aspectos. O estado de São Paulo adota uma frequência de acordo com os parâmetros; o estado do Rio Grande do Sul, em função da vazão destinada ao reúso; o estado de Minas Gerais, para ambos os casos; e os estados da Bahia e do Ceará indicam que a frequência deve ser adotada caso a caso, de acordo com as premissas do órgão ambiental.

Ressalta-se que a determinação das frequências de monitoramento para cada parâmetro não é tarefa fácil. Apesar de o parâmetro “indicadores de contaminação fecal” ser de relativamente complexa e onerosa análise laboratorial, trata-se de um dos mais importantes, relacionado diretamente aos riscos de contaminação microbiológica. Nesse caso, deve ser abordado com destaque, mas, por outro lado, a obrigatoriedade de uma frequência alta do seu monitoramento pode inviabilizar economicamente a sua operação. Já os parâmetros físico-químicos de determinação mais simples, como pH e condutividade, permitem monitoramento com maior frequência, apesar de não apresentarem a mais forte aderência com os riscos. Entretanto, outro parâmetro de mais fácil detecção, a “turbidez”, tem forte relação com os aspectos microbiológicos da água, apesar de se tratar de um parâmetro físico-químico. Neste caso, a turbidez (representada pela presença de sólidos em suspensão totais) pode servir de anteparo para os microrganismos, inibindo o desempenho dos processos de desinfecção. Ainda, é importante mencionar os parâmetros físico-químicos mais comuns na caracterização de águas como demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) e nutrientes. Tratam-se, também, de parâmetros relevantes para a prática de reúso, na medida em que a DBO e a DQO representam o desempenho da ETE com fidelidade e os nutrientes são importantes insumos agrícolas em casos de fertirrigação.

No que se refere à vazão, em geral, ETes com maiores portes demandam monitoramentos mais intensivos e o contrário também vale. Porém, quando se trata de reúso de água, a relação com a vazão não pode ser única para a definição da frequência de monitoramento. Nesse caso, é importante ressaltar o tipo de reúso a que se destina, uma vez que modalidades associadas aos riscos mais elevados demandam necessariamente maiores frequências

de monitoramento e em práticas com menores riscos o monitoramento pode ser mais flexível.

Nota-se que o conceito de “fertilização” foi adotado somente no documento regulador do estado de Minas Gerais. Já a indicação de identificação de veículos associados ao reúso e tanques de armazenamento de água de reúso é adotada somente pelos estados de Minas Gerais e São Paulo. Ambos, inclusive, já definem no próprio documento regulador as características dos selos de identificação.

Conforme observado na discussão anterior e na Tabela 1, geralmente, a aplicação de água para reúso pode ser dividida em diversas categorias: (i) reúso urbano; (ii) reúso agrícola (que pode incluir silvicultura e pastagens); (iii) reúso ambiental (que pode incluir a recarga subterrânea ou superficial para fins não potáveis); (iv) reúso na aquicultura; (v) reúso industrial; (vi) reúso não potável em geral; e (vii) reúso potável. Ainda, os empreendimentos podem ser centralizados ou descentralizados. O primeiro caso apoia-se em um sistema coletivo que coleta e transporta o efluente gerado em uma bacia de esgotamento para ser tratado em uma ETE única. O segundo, coleta e trata o esgoto produzido *in loco*, onde inclusive, há a possibilidade de separação das águas fecais e cinza. O sistema descentralizado, considerando o reúso de água cinza, é abordado na NT 4 dessa coletânea (PAULO *et al.*, 2022).

Na presente NT, de forma a facilitar a discussão, as tipologias de reúso foram agrupadas em: (i) agrícola; (ii) urbano; (iii) industrial; e (iv) aquícola. Ressalta-se que o uso potável ou mesmo a recarga de aquífero não potável não são destacadas no contexto nacional.

4.1. Reúso agrícola

O reúso de água na agricultura, de longe, é a aplicação mais dominante da prática de reúso no mundo (ANGELAKIS *et al.*, 2018) e a sua utilização possui diversas vantagens, como a redução das pressões de captação de água nos mananciais e dos conflitos pelo uso da água, o gerenciamento e recuperação de nutrientes, entre outros fatores. Em que pese tais vantagens, além da elevada demanda por água desse setor no Brasil, a adoção da água para reúso na agricultura deve prezar pela qualidade, principalmente em irrigação de culturas consumidas cruas e de desenvolvimento rente

ao solo, devido aos riscos potenciais para a saúde e o solo. Maiores detalhes acerca do uso de efluente sanitário em atividades agrossilvipastoris podem ser consultados na NT 3 desta coletânea (MARQUES *et al.*, 2022).

De maneira geral, conforme apresentado na Tabela 1, observam-se valores bastante divergentes em comparação direta entre os padrões estabelecidos pelos documentos em estudo. A adoção desses valores é consequência de diferentes interesses e objetivos regionais, características distintas de desenvolvimento socioeconômico, ambientais e culturais, além de diferentes níveis de maturidade com a prática de reúso, relacionadas às suas experiências. Cada região apresenta um contexto específico e teve seus documentos reguladores estabelecidos em épocas também distintas.

Em relação aos padrões de indicação de contaminação fecal (coliformes termotolerantes e *E. coli*), os valores encontram-se no intervalo de “não detectável” à 10^6 org.100 mL⁻¹. Claro que os valores mais baixos estão relacionados aos usos irrestritos ou amplos. Entretanto, observa-se, por exemplo, que o estado de Minas Gerais, apesar de vetar o uso em culturas consumidas cruas, indica padrões bem mais flexíveis que os demais e, no seu conceito mais restritivo (usos amplos), o valor é superior àqueles indicados para os usos restritos no estado do Ceará e no Programa Interáguas. Observa-se ainda demasiada restrição no estado do Ceará para usos em culturas a serem consumidas cruas, cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação, indicando padrão “não detectável” para os indicadores de contaminação fecal. Entendimento semelhante é observado para o estado do Rio Grande do Sul, que além de não permitir irrigação dessas culturas com água para reúso, ainda estabelece padrões mais restritivos comparativamente à Bahia e a Minas Gerais. Os padrões indicados por estes dois últimos estados parecem mais alinhados com os padrões indicados pela OMS. Possivelmente, esses padrões possam sugerir um fomento da prática de reúso na irrigação, possibilitando a redução da captação dos mananciais e de conflitos pelos usos da água nessas regiões.

O levantamento das características regionais é de extrema importância para a definição dos padrões para

a prática de reúso, pois, com isso, é possível conhecer a qualidade do efluente que está sendo produzido na região de interesse, as demandas, a análise das potencialidades e, assim, elaborar padrões realistas, dentro do risco aceitável.

Lima *et al.* (2020) realizaram uma análise ampla do potencial de reúso para irrigação em todas as regiões hidrográficas brasileiras. Os autores concluíram que no território nacional seria possível suprir 9% da demanda total de irrigação com potencial parcialmente instalado de produção de água para reúso, e que a região hidrográfica do Paraná apresenta potencial instalado de atendimento, com água para reúso, de 40% da demanda para irrigação. Apesar de parecer um cenário utópico para a realidade brasileira, destaca-se que em Israel, segundo Marin *et al.* (2017), 87% do efluente tratado no país é direcionado à agricultura, representando 40% da demanda total de irrigação.

4.2. Reúso urbano

Em ambientes urbanos, a água para reúso pode ser adotada para diversos fins, tais como lavagem de ruas, de pátios, de estacionamentos e de veículos, combate a incêndio, desobstrução de galerias de águas pluviais e de esgoto, irrigação paisagística, construção civil, descarga de vaso sanitário, entre outros. Esses usos ainda podem ser definidos como restrito/limitado ou irrestrito/amplo, ou ainda definidos em categorias do tipo “classes”. Todos os documentos reguladores apresentados na Tabela 1 indicam padrões para usos urbanos e somente o documento do estado de São Paulo é que define padrões exclusivamente para este fim. Observa-se, assim, que os usos em ambientes urbanos, além dos usos para fins agrícolas, apresentam uma tendência de alta demanda no país, fazendo com que maior atenção deva ser dada a esses fins, com o objetivo de se reduzir as pressões sobre os recursos hídricos.

É importante salientar que entre os documentos reguladores apresentados na Tabela 1, há uma enorme divergência de entendimento relacionada ao *nexus* nível de restrição-tipo de uso. Por exemplo, a “lavagem de ruas” é considerada como um uso irrestrito (alta exposição) para os padrões do Interáguas e dos estados de Minas Gerais e do Rio Grande do Sul, no entanto, trata-se de um uso

restrito (baixa exposição) para o documento regulador do estado de São Paulo. Neste caso, mesmo os níveis de restrição sendo diferentes para o mesmo tipo de uso em distintos documentos, as Resoluções dos estados de São Paulo e do Rio Grande do Sul apresentam valores semelhantes para indicadores de contaminação fecal ($200 \text{ Org} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$). Outros exemplos desse tipo podem ser observados para outros usos, como lavagem de veículos e combate a incêndio. Dessa forma, Santos *et al.* (2020) afirmam que a discrepância de entendimento pode levar a uma insegurança por parte do usuário, dificultando ainda mais a aceitação da água para reúso pelo público geral.

Ainda no âmbito urbano, um uso que merece destaque é aquele relacionado à desobstrução de galerias de águas pluviais e de esgoto. Santos e Vieira (2020) destacam que esse uso se trata de uma prática essencialmente brasileira, pelo fato de essas tubulações se apresentarem constantemente assoreadas. Isso se dá em função das diferenças entre concepção, construção e operação dos sistemas unitários e dos sistemas separadores absolutos de coleta de águas pluviais e de esgoto sanitário adotados no Brasil. Para este caso, o documento regulador do estado de São Paulo define padrões extremamente restritivos para os indicadores de contaminação fecal ($200 \text{ Org} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$), enquanto os documentos do Ceará, do Rio Grande do Sul e de Minas Gerais definem padrões mais flexíveis, da ordem de $5 \times 10^3 \text{ Org} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$, $1 \times 10^3 \text{ Org} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ e $1 \times 10^7 \text{ Org} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$, respectivamente. Assim é importante avaliar, de maneira prática e aplicada, o que acarreta a definição de padrões tão exigentes para esse tipo de uso.

Novamente, destaca-se que a necessidade de levantamento das características regionais é de extrema importância para a elaboração dos padrões para este fim, principalmente em função da qualidade do efluente que vem sendo produzido na região de interesse e da necessidade de adaptá-lo ao reúso, de forma a incentivar a prática segura e responsável, e não a limitar.

4.3. Reúso industrial

De acordo com ANA (2019), o uso de águas na indústria é responsável pelo terceiro maior consumo de água

no Brasil, estando mais concentrado na região Sudeste. Porém, considerando as peculiaridades desse setor, como tipologias e processos distintos, as quantidades consumidas podem variar amplamente.

Em termos de critérios e padrões para o reúso industrial, somente o documento do Programa Interáguas indica padrões para este fim, além de definir que os critérios são de responsabilidade do empreendedor. Nessa mesma linha, os documentos dos estados do Ceará e de Minas Gerais não definem padrões para reúso industrial, mas também definem que o uso no processo industrial é de responsabilidade do empreendedor. Esse aspecto se alinha ao conceito do reúso interno, onde a produção da água para reúso pode ser consequência de atividades que ocorrem nas instalações internas do próprio pátio industrial. O documento do estado do Rio Grande do Sul, também, não define padrões para reúso industrial, e menciona que é necessário “obedecer às especificações técnicas de acordo com a finalidade e tecnologia do processo industrial a que se destina”.

De maneira complementar, tanto o documento do Programa Interáguas como o do estado de Minas Gerais definem que o reúso industrial não deve ser praticado em indústrias do setor alimentício. E o documento regulador do estado de São Paulo, apesar de em seu território estar instalado o Aquapolo (maior projeto de reúso industrial da América Latina), não contempla a água para reúso proveniente de estações de tratamento de esgoto implantadas por estabelecimentos comerciais ou industriais.

4.4. Reúso aquícola

Na aquicultura ocorre o cultivo de organismos aquáticos, como peixes, crustáceos, moluscos, entre outros, em ambientes controlados. De acordo com *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), além da aquicultura ser a atividade de produção de alimentos que mais cresce no mundo, no Brasil, a produção aquícola foi de, aproximadamente, 46% da produção total de pescado nacional em 2017 (FAO, 2019). Assim, pode-se observar a relevância da prática e suas consequências para o meio ambiente no país como um todo.

Considerando a aplicação da água para reúso na prática de aquicultura, entre os documentos estudados e apresentados na Tabela 1, somente o do estado do Ceará e do Programa Interáguas abordam essa modalidade, ambos com definição de padrão de 10^3 Org·100 mL⁻¹ para indicadores de contaminação fecal. Esse valor apresenta-se alinhado com os padrões determinados pela OMS e pelo PROSAB para essa prática (BASTOS *et al.*, 2008).

A justificativa de somente a legislação do Ceará abordar essa modalidade pode estar relacionada com a demanda da região. A região Nordeste do Brasil apresenta elevado potencial para produção aquícola, devido ao seu elevado número de reservatórios de água doce com características favoráveis para o cultivo de organismos aquáticos (VIDAL e XIMENES, 2019). Assim, o reúso aquícola nessa região pode diminuir consideravelmente as pressões sobre os recursos hídricos, porém há que se observar os riscos relacionados ao meio ambiente e à saúde pública.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário apresentado em termos de regulamentação da prática de reúso de água e da evolução a partir das experiências adquiridas, a definição de um quadro regulatório deve abranger, principalmente, os seguintes aspectos:

- Tipologias de reúso e padrões (para usos mais restritos e menos restritos) alinhados com as expectativas de evolução e institucionalização da prática, de acordo com aspectos de desenvolvimento socioeconômico, principais demandas e objetivos claros.
- Mecanismos de licenciamento, com definição de responsabilidades para produtores, distribuidores, consumidores, usuários e operadores, podendo ainda envolver a aplicação de um seguro contra incidentes.
- Abordagem do risco microbiológico, tanto em relação à saúde pública como em relação ao meio ambiente. Ainda, o plano de gestão do risco deve ser igualmente instituído, de forma a cumprir com as metas impostas.
- Definição de um ambiente amistoso, de transparência e de confiança entre as partes interessadas na água para reúso, de forma a minimizar os impactos de rejeição. Uma cultura de uso racional, conservação e reúso da água deve ser criada, na medida em que se avança

com o quadro regulatório e com a implantação dos empreendimentos.

- Criação de uma identidade visual para veículos, tanques de armazenamento e dutos referentes à prática de reúso, que podem ser relevantes para a aproximação do público em geral com a prática de reúso.
- Avaliação da gestão integrada entre sistemas centralizados e descentralizados, conforme conveniência e aplicabilidade para a região.

Ressalta-se que todos os aspectos aqui apresentados e amplamente discutidos só fazem sentido diante de um planejamento adequado e com a definição de uma política de conservação, uso racional e reúso de água de modo a tornar a prática segura e responsável para atendimento aos objetivos propostos.

Essa nota técnica apresentou dados científicos e técnicos sobre a abordagem regulatória da prática de reúso, de forma a oferecer instrumentos para decisões baseadas

principalmente em dados técnico-científicos e não em relações estritamente políticas. A institucionalização regional do reúso de água é fortemente dependente da criação de uma cultura de reúso como forma de diminuir as pressões sobre os recursos hídricos, conforme apresentado ao longo de todo o texto.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao colega Lucas de Almeida Chamhum Silva o apoio para o desenvolvimento deste trabalho. Agradecem também o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis.

Este trabalho faz parte da série de publicações do INCT ETEs Sustentáveis

REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe anual*. Brasília, Brasil: ANA, 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Manual de usos consuntivos da água no Brasil*. Brasília, Brasil: ANA, 2019. 75 p.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília, Brasil: ANA, 2017. 88 p.

ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Water Reuse: From ancient to modern times and the future. *Frontiers Environmental Science*. v. 6, n. 26, 2018.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira - NBR 13969: *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1997. 60 p.

BASTOS, R.K.X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C.A.L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L. O.; von SPERLING, M.; AISSE, M. M.; BEVILAQUA, P. D.; PIVELI, R. P. Subsídios à regulamentação do reúso de águas no

Brasil - Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. *Revista DAE*, v. 177, n. 122, 2008.

BRASIL. Diário Oficial da União. Lei Federal nº 14.026, de 16 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, completa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005. Brasília, DF, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fishery and Aquaculture Statistics. Statistiques des pêches et de l'aquaculture. *Estadísticas de pesca y acuicultura 2017*. Roma. 2019.

INTERÁGUAS. Programa de Desenvolvimento do Setor Águas. *Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil*. Produto III – Critérios de qualidade de água. 2018. Brasília.

JEONG, H.; KIM, H.; JANG, T. Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. *Water*, v. 8, n. 4, p. 169, 2016.

LIMA, M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. *Water Supply*, v. 21, n. 6, P. 2799-2810, 2021.

MARIN, P.; TAL, S.; YERES, J.; RINGSKOG, K. *Water management in Israel: Key Innovations and lessons learned for water scarce countries*. World Bank, Washington, DC. 2017.

MARQUES, M. V. A.; CHAMHUM-SILVA, L. A.; MATOS, A. T.; BOMFIM, N. F.; BARROS, K. K.; BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T. Reúso não potável de água: Aspectos legais, aproveitamento urbano e agrícola, e tecnologias emergentes para produção de água para reúso. Nota Técnica 3 - Uso agrícola: Condições de aplicabilidade de efluente de estações de tratamento de esgoto. *Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 3, p. 29-41, 2022.

MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P.; SANTOS, N. A. P.; ARAÚJO, B. M.; OLIVEIRA, J. R. S.; CAMPOS, A. R. Evaluation of potential use of domestic treated effluents or irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu River Basin. *Caminhos da Geografia* (UFU. Online), v. 21, p. 52-63, 2020.

OMS. Organização Mundial de Saúde. *Potable Reuse: Guidance for producing safe drinking-water*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2017. 152 p.

OMS. Organização Mundial de Saúde. *Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management*. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2016. 187 p.

PAULO, P. L.; VIEIRA, J.; TAKAHASHI, K. M.; MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; SILVA, J. B.; BONCZ, M. A. Reúso não potável de água: Aspectos legais, aproveitamento urbano e agrícola, e tecnologias emergentes para produção de água para reúso. Nota Técnica 4 - Água para reúso: água cinza tratada em *wetlands* construídos. *Cadernos Técnicos Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 2, n. 3, p. 43-58, 2022.

SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C.; LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. *Sustinere: Revista de Saúde e Educação*, v. 8, n. 2, p. 437-482, 2020.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, v. 8, p. 50-68, 2020.

SHOUSHTARIAN, F.; NEGAHBAN-AZAR, M. Worldwide Regulations and Guidelines for Agricultural Water Reuse: A Critical Review. *Water*, v. 12, n. 4, p. 971, 2020.

VIDAL, M. F.; XIMENES, L. F. Produção de pescados na área de atuação do BNB. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil S/A, 2019 (Análise Setorial). *Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste* (ETENE). Ano 4, n. 91, agosto, 2019.

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 01 – TERMINOLOGIA E CONCEITOS DE BASE

TOWARDS A STRUCTURED METHODOLOGY FOR ASSESSING REGIONAL WATER REUSE POTENTIAL: 01 - TERMINOLOGY AND BASIC CONCEPTS

Ana Sílvia Pereira Santos^a, Maíra Araújo de Mendonça Lima^a, Luis Carlos Soares da Silva Junior^b, Pablo da Silva Avelar^c, Bruna Magalhães de Araújo^d, Ricardo Franci Gonçalves^e, José Manuel Pereira Vieira^f.

^aUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, ^bUniversidade Federal do Rio de Janeiro, ^cEmpresa Baiana de Água e Saneamento, ^dInstituto Mineiro de Gestão de Águas, ^eUniversidade Federal do Espírito Santo, ^fUniversidade do Minho.

ana.pereira@uerj.br, mairalima.90@gmail.com, luis.junior@coc.ufri.br, pablo.avelar@embasa.ba.gov.br, brunamagalhaes5@gmail.com, rfg822@gmail.com, jvieira@civil.uminho.pt

Submissão: 05 de março de 2021

Aceitação: 1 de julho de 2021

Resumo

Diante do cenário de estresse hídrico já enfrentado em diferentes regiões do Brasil, a prática do reúso de água pode ser uma importante alternativa para aliviar as pressões nos mananciais, garantir água em quantidade e em qualidade para os diversos usos, reduzir conflitos pelo uso da água e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico regional. Para que a prática seja institucionalizada e sistematizada no país, é necessário que a cultura da conservação, do uso racional e do reúso de água seja implantada em todos os níveis da sociedade, desde usuários e produtores de água, até técnicos, tomadores de decisão e gestores de recursos hídricos e saneamento, além daqueles que tomam ações conjuntas em setores como o agrícola, o industrial, o recreacional, o de energia e outros. Estudos de avaliação estratégica do potencial regional devem ser elaborados com critérios bem definidos de forma a estabelecer um planejamento adequado, com maior possibilidade de sucesso na implantação e operação de futuros empreendimentos. Neste contexto, foi elaborado um conjunto de quatro Notas Técnicas (NT), tendo como principal objetivo a proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água no Brasil. O presente documento constitui a **NT01** que tem como objetivo contextualizar a temática, além de apresentar a estruturação das demais NT e os aspectos mais relevantes para o entendimento geral da prática de reúso de água. A **NT02** fornece elementos essenciais para o desenvolvimento de projetos no setor saneamento. A **NT03** apresenta o caminho técnico para estudos de avaliação de potencial, considerando aspectos de demanda e oferta de água de reúso. A **NT04** questiona os desafios relacionados com o futuro do reúso de água e, em especial, a sua relevância para o Brasil.

Palavras-chave: reúso de água; definições; experiência prática; regulamentação; planejamento.

Abstract

Given the water scarcity scenario that Brazil already faces, in different regions, the practice of water reuse can be an important alternative to reduce stress on water supplies, ensure water in quantity and quality for diverse uses, reduce conflicts over the use of water and contribute to regional socioeconomic development. To institutionalize and systematize the practice in the country, it is necessary to implement the conservation culture, rational use, and reuse of water, at all levels of society, from users and producers of reuse water to technicians, decision makers and water resources and sanitation managers, besides those who manage agricultural, industrial, recreational and energy sectors. Strategic evaluation studies of regional potential should be prepared with well-defined criteria to establish adequate planning, with a greater possibility of success in the implementation and operation of future enterprises. In this context, a set of four Technical Notes (TN) was prepared, with the main objective of proposing a structured methodology for assessing the regional potential of water reuse in Brazil. This document constitutes **TN01**, which aims to contextualize the

theme, in addition to presenting the structuring of the other TNs and the most relevant aspects for the general understanding of the water reuse practice. **TN02** provides the essential elements to develop projects in the sanitation sector. **TN03** presents the technical path for potential evaluation studies, considering demand and supply aspects of water reuse. **TN04** questions the challenges related to the future of water reuse, and in particular, its relevance to in Brazil.

Keywords: water reuse; definitions; practice experience; regulation; planning.

1. INTRODUÇÃO

Segundo a Water Europe (2020), um dos grandes desafios para a retomada da economia mundial após a pandemia da COVID-19 é o desenvolvimento de uma sociedade inteligente em termos de água (*Water Smart Society*) com o drástico aumento do reúso, do aproveitamento e da reciclagem da água de forma a oferecê-la de maneira segura, em quantidade e qualidade suficientes para os usos pretendidos. Melo et al. (2020a) destacam a nova centralidade da água no contexto pós-pandemia e demonstram como a sociedade deve estar preparada para aumentar os índices de reúso de água de forma a fomentar o desenvolvimento socioeconômico de regiões desfavorecidas. Evidentemente, ações conjuntas relacionadas à minimização das perdas e desperdícios de água devem ser tomadas.

O Brasil possui grandes reservas hídricas, com 255 mil m³/s de água escoando pelo seu território (ANA, 2020b). Porém, todo esse potencial é distribuído de forma heterogênea no país, sendo que a maior disponibilidade de água se encontra na Amazônia que, por sua vez, é a região com a menor parcela da população e a menor demanda de água no país.

A crise hídrica enfrentada pela região Sudeste do Brasil nos anos 2014 e 2015 revelou-se de elevada relevância para a gestão de recursos hídricos, apesar de outras regiões do país, como o Semiárido, apresentarem essa realidade ao longo de toda a sua história. Além de baixos índices pluviométricos e altos níveis de evaporação, outros fatores contribuem para a escassez hídrica de vastas regiões do país: i) baixos índices de atendimento à coleta e ao tratamento de esgotos, acarretando o lançamento *in natura* de águas residuárias nos corpos hídricos; ii) elevados índices de perdas de água nos sistemas de abastecimento; iii) falta de fomento à pesquisa e, conseqüentemente, baixo investimento no setor; iv) cultura brasileira, geralmente baseada na percepção de alta disponibilidade hídrica e conseqüente uso

irracional de água; entre outros.

De fato, ações de combate à poluição hídrica, ao desperdício de água e às perdas excessivas nos sistemas de distribuição de água são prioritárias no conceito do uso racional de água, que caminha na mesma direção do uso de fontes de água de origem alternativa, como o reúso. Outro destaque que corrobora a instabilidade hídrica, são as alterações climáticas que são cada vez mais evidentes em todo o planeta, agravando os eventos extremos de chuva (seca e excesso).

Nesse contexto, a prática de reúso de água pode ser uma importante alternativa para aliviar as pressões nos mananciais, garantir água em quantidade e em qualidade para os diversos usos, reduzir conflitos pelo uso da água e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico regional. Várias regiões do mundo, como áreas do Oriente Médio, países da África como África do Sul e Namíbia, países mediterrânicos, Austrália, Singapura, México, Chile e diversos estados dos Estados Unidos já praticam o reúso de água de forma sistematizada (ARAUJO et al., 2018; ANGELAKIS et al., 2018), inclusive para uso potável (direto e indireto). Israel merece destaque, por praticar atualmente o reúso de 87% do efluente tratado na irrigação, superando 40% da demanda de água necessária para agricultura no país (MARIN et al., 2017).

Apesar das vantagens inerentes à prática de reúso de água, para que os empreendimentos sejam responsáveis e seguros, a gestão do risco deve estar intrinsecamente relacionada aos usos, como afirmam Santos e Vieira (2020). Os riscos microbiológicos devem ser atenuados com usos adequados e com padrões de qualidade de água que relacionam o risco de contaminação à exposição dos envolvidos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) publicou padrões orientativos para reúso de água na irrigação (OMS, 2006) e para reúso potável (OMS, 2017), condizentes, principalmente, com a realidade de países em desenvolvimento e que apresentam situações de estresse hídrico, favorecendo a

definição de padrões regionais em caráter legal.

No Brasil, ainda não existe regulamentação mandatória de abrangência federal que aborde as diferentes modalidades de reúso de água e seus respectivos padrões. Entretanto, o **Programa Interáguas**, elaborado no âmbito do governo federal e finalizado em 2018, apesar de não possuir força legal, apresenta diretrizes e orientações para o reúso de água no Brasil, com padrões de qualidade definidos para diferentes modalidades (irrigação, urbano, industrial, ambiental e aquicultura), visando a proteção da saúde pública, a proteção ambiental e as experiências com o tratamento de efluentes para produção de água de reúso. Ressalta-se que o Programa Interáguas apresenta apenas orientações (não padrões) para a recarga de aquíferos (reúso indireto) e para o reúso potável, não sendo esta última opção contemplada em nenhum instrumento regulatório, legal ou infralegal, sobre o reúso de água existente no país (INTERÁGUAS, 2017).

Ao **nível sub-federal**, alguns estados brasileiros como São Paulo, Ceará, Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul, apresentam documentos reguladores com definições de padrões para a água de reúso em relação às demandas apresentadas (SANTOS et al., 2020). De acordo com estes autores, os padrões são extremamente díspares quando comparados entre si, para os mesmos tipos de uso. Entretanto, os estados mencionados apresentam em seus documentos reguladores, importantes pontos a serem destacados, tais como: i) relação entre definição de padrões de qualidade da água de reúso e risco microbiológico de contaminação; ii) identificação visual dos tanques de armazenamento e veículos de transporte associados à prática; iii) atribuições e responsabilidades de produtores, distribuidores, usuários e demais envolvidos; iv) licenciamento obrigatório ou instrumento similar para permissão da prática de reúso; v) abordagem da fertirrigação considerando a oferta não somente de água, como também de nutrientes; entre outros. Há que se ressaltar que os valores-limite para os diferentes padrões estabelecidos para cada modalidade de reúso não devem ser caracterizados como empecilho, mas sim, como incentivo à prática do reúso de água proveniente de estações de tratamento de esgotos, de maneira segura e responsável.

Apesar da incipiência legal brasileira, em termos de reúso de água, a **Lei nº 14.026/2020**

atualizou, recentemente, o marco legal do saneamento básico e destacou o reúso do efluente sanitário, fomentando a prática de reutilização, prioritariamente ao seu lançamento de forma adequada no meio ambiente, entre outros aspectos (BRASIL, 2020). Dessa forma, observa-se uma mudança na postura que pode vir a ser o gatilho para uma transformação cultural no país em relação a conservação, uso racional e reúso de água.

Hespanhol (2002) apresentou um estudo relacionado ao potencial de reúso de água no Brasil, para usos agrícolas, industriais, urbanos e em recarga de aquíferos, onde destacou a importância de uma política de reúso e de um quadro regulatório bem definidos, com o estabelecimento de estruturas institucionais para a promoção, gestão e definição de critérios de avaliação econômico-financeira de programas e projetos de reúso. Entretanto, passados quase 20 anos, o cenário não sofreu grandes alterações.

Mais recentemente, algumas pesquisas práticas vêm sendo desenvolvidas no sentido de contribuir com instrumentos de gestão e governança para a institucionalização da prática de reúso de água no território nacional. Como exemplo, Melo et al. (2020b) descrevem uma metodologia de demandas e ofertas para a implantação do reúso de água na bacia hidrográfica do rio Paracatu (Minas Gerais), com o objetivo de minimizar os conflitos pelo uso da água na região; Lima et al. (2020) realizaram um levantamento do potencial de reúso para irrigação em todas as regiões hidrográficas brasileiras (RHB), registrando um alto potencial em algumas delas, como é o caso da RHB do Paraná, onde seu potencial parcialmente instalado poderia atender 40% da demanda de água para irrigação.

O conjunto das Notas Técnicas (NT), perfazendo quatro conteúdos, tem como principal objetivo a **proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água no Brasil**. Seu foco principal é a inserção dessa fonte alternativa na matriz hídrica regional dentro do território nacional, de forma a propiciar o avanço do planejamento dos recursos hídricos e saneamento, como também, auxiliar gestores e tomadores de decisão. A presente Nota Técnica (**NT01**) tem o objetivo de contextualizar a temática, além de apresentar a estruturação das demais NT e os aspectos mais relevantes para o entendimento geral da prática de reúso de água.

2. ESTRUTURAÇÃO DAS NOTAS TÉCNICAS

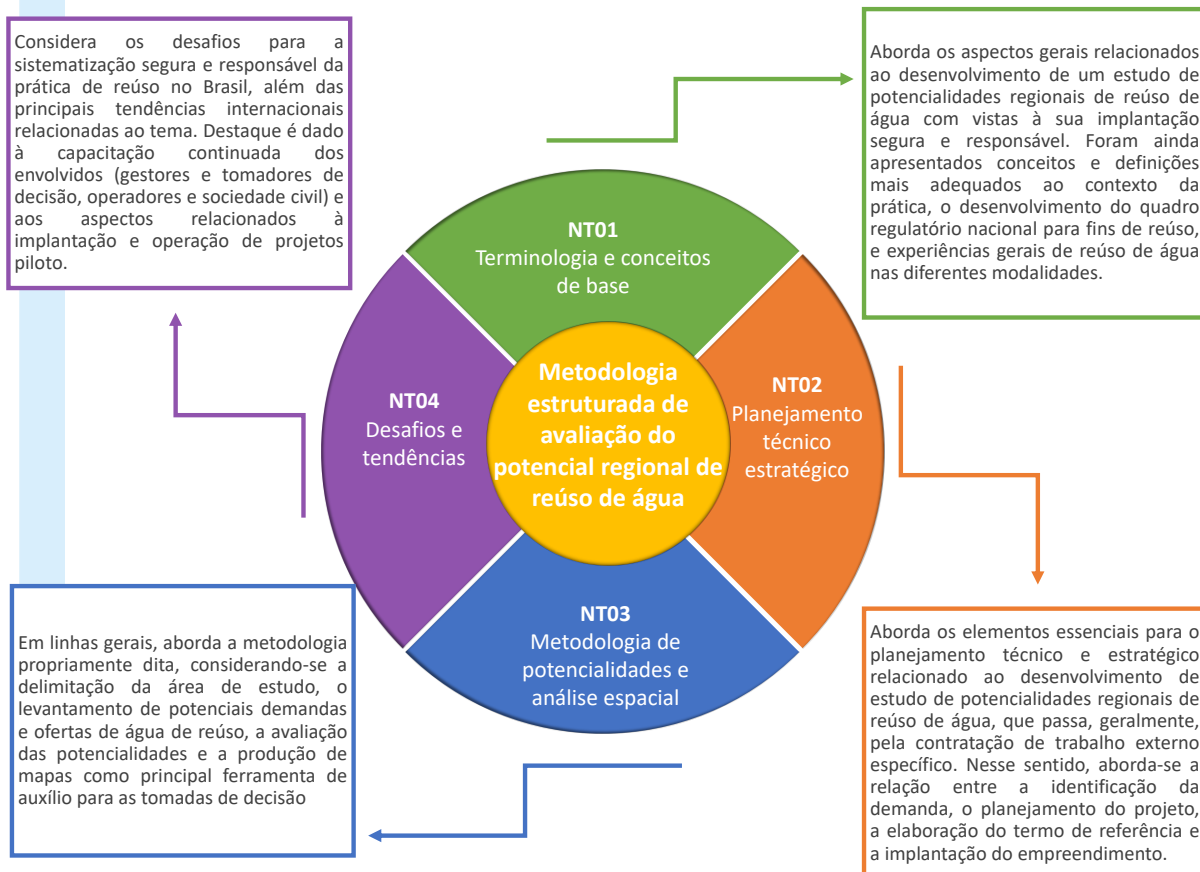
De forma a criar uma linha de raciocínio mais clara para o entendimento e melhor aproveitamento do material desenvolvido, o conteúdo completo abordado pela construção da metodologia de diagnóstico do potencial regional de reúso de água foi estruturado em quatro Notas Técnicas: **NT01** – Terminologia e conceitos de base; **NT02** – Planejamento técnico e estratégico; **NT03** – Metodologia de potencialidades (demandas e ofertas) e análise espacial; **NT04** – Desafios e tendências. Na Figura 1 pode ser observado o fluxograma geral de todo o conteúdo abordado, bem como as características principais de cada Nota Técnica.

De um modo geral, a **NT01** tem como objetivo apresentar aspectos gerais e o cenário nacional para os avanços regionais em relação à prática de reúso. A **NT02** levanta a necessidade de planejamento estratégico para o desenvolvimento de projetos no setor saneamento. A **NT03** aborda a metodologia propriamente dita, de forma a apresentar

aspectos relevantes e específicos para a sua construção. Por fim, a **NT04** apresenta e discute desafios para reflexão e vislumbre da institucionalização da prática de reúso no futuro, no âmbito do território nacional, levantando questões abordadas nas discussões mais avançadas a nível internacional.

Salienta-se ainda que as quatro Notas Técnicas perfazem um conjunto e devem ser vistas como partes de um todo. Cada região do país tem características culturais, ambientais e socioeconômicas próprias, com soluções específicas para cenários também diferentes de estresse hídrico. As regiões mais afetadas devem programar e planejar ações a mais curto prazo, enquanto regiões menos afetadas devem ponderar ações para um futuro mais realista em termos de escassez hídrica. Em qualquer dos casos, o planejamento deve levar em consideração as alterações climáticas, o crescimento populacional e o aumento do consumo *per capita* e a consequente demanda de água para abastecimento, produção de alimentos e de manufaturados em geral.

Figura 1: Fluxograma geral e estruturação das Notas Técnicas que compõe a construção metodológica do diagnóstico de potencial regional de reúso de água



Fonte: Elaborado pelos autores.

3. DEFINIÇÕES

Frequentemente, o usuário de sistemas de abastecimento de água (SAA) não conhece a procedência da água que consome, mesmo tratada para alcance dos padrões de potabilidade. Por vezes, nem sequer tem o conhecimento que o sistema de abastecimento de água que fornece água potável para seu consumo é proveniente de um reúso potável indireto não planejado. Igualmente, em geral, o consumidor de vegetais crus também não conhece a procedência da água de irrigação das culturas que consome, que segundo Bastos et al. (2002) muitas vezes pode ter qualidade inferior à do efluente tratado.

Assim, torna-se premente o entendimento sobre a necessidade de avanços no reúso de água no Brasil, acompanhando padrões e progressos estabelecidos a nível internacional. A experiência relacionada ao reúso de água no mundo é reportada desde a pré-história (ANGELAKIS et al., 2018). Em 1918, iniciou-se uma nova fase no estado da Califórnia (EUA),

incorporando planejamento e regulamentação, estabelecendo-se, de maneira pioneira, padrões e diretrizes para reúso de água (ANGELAKIS et al., 2018). A partir de então, observam-se muitas experiências bem-sucedidas em todo o mundo, que devem ser levadas em consideração no desenvolvimento de uma sociedade mais receptiva e ações de governo mais direcionadas às práticas de reúso de água.

Conforme citado anteriormente, o sucesso da construção de uma real e bem-sucedida cultura de reúso de água no Brasil passa pela adoção de conceitos transparentes e corretos. Tome-se como exemplo o termo “reúso de efluente”, ou mesmo “reúso de efluente tratado”, muito utilizados na literatura científica atual. Tal terminologia leva à rejeição imediata da prática, motivo pelo qual se sugere o termo “reúso de água”, independentemente da procedência da água. De forma complementar, no Quadro 1, observam-se conceitos importantes elaborados pelos autores com foco direto na prática do reúso de água.

Quadro 1: Conceitos relacionados à prática de reúso de água

Termo	Conceito
Estação de Tratamento de Esgoto (ETE)	A ETE é uma instalação com um conjunto de diferentes operações e processos unitários para remoção de poluentes específicos presentes no esgoto. O nível de tratamento é condizente com o tipo de tecnologia adotada e a qualidade do efluente desejada. O tratamento a nível secundário reduz as concentrações de sólidos suspensos e dissolvidos, além de matéria orgânica. No entanto, não remove eficientemente nutrientes e organismos indicadores de contaminação fecal. A remoção de ambos está condicionada à modalidade de reúso.
Estação de Tratamento Avançado ou Estação Produtora de Água de Reúso	Uma “Estação de Tratamento Avançado” produz efluente tratado com qualidade superior ao tratamento a nível secundário. Caso a água tratada seja destinada ao reúso, a estação passa a ser considerada como uma “Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR)”. Ressalta-se ainda que seu nível de tratamento é definido a partir da qualidade de água almejada para o uso pré-determinado, sendo nela inseridas as tecnologias para se atingir a eficiência necessária.
Desinfecção	A desinfecção é uma etapa do tratamento avançado e visa eliminar ou reduzir a patogenicidade presente no esgoto. Seu desempenho pode ser modulado a diferentes níveis de eficiência, tendo em vista os objetivos do reúso de água. A cloração, a radiação UV e a ozonização são os processos mais utilizados, embora lagoas de maturação ou de polimento também sejam utilizadas em casos de reúso de água na agricultura. Também podem ser adotados processos em duplo estágio, considerando uma filtração terciária antecedente à unidade de desinfecção, com objetivo de redução da turbidez.
Água de reúso ou água para reutilização	Água produzida por uma EPAR com o objetivo de reinserção nos ciclos urbano ou rural da água. Sua qualidade deve ser compatível com o uso e oferecer os menores riscos possíveis à saúde humana e ao meio ambiente. No contexto internacional, os termos mais utilizados são “água reciclada” (<i>recycled water</i>) e “água recuperada” (<i>reclaimed water</i>). Conforme já mencionado, não se consideram adequados os termos “reúso de efluente” ou “reúso de efluente tratado”.
Reúso de água	Termo adotado para a utilização de águas residuárias na cidade ou no campo. Tem como requisito primordial a adequação da qualidade da água ao uso almejado, sempre com base na segurança sanitária e ambiental.

Termo	Conceito
Reúso direto	Refere-se ao uso planejado da água produzida em uma EPAR, sem que haja lançamento prévio em corpos d'água superficiais ou subterrâneos.
Reúso indireto	Refere-se ao efluente de uma EPAR utilizado para qualquer fim após lançamento em um corpo hídrico superficial ou subterrâneo.
Reúso interno	Refere-se ao efluente tratado quando utilizado dentro das próprias instalações onde ele foi produzido, nomeadamente na própria ETE ou no mesmo estabelecimento.
Reúso externo	Refere-se ao efluente tratado quando encaminhado para reúso em ambientes externos àquele onde ele foi produzido. Ou seja, para usuários externos.
Sistema centralizado de esgotamento sanitário	Quando o esgoto sanitário de uma determinada bacia de esgotamento é coletado e transportado por um sistema coletivo para ser tratado em uma ETE única. Neste caso, o reúso de água pode ser do tipo interno ou externo.
Sistema descentralizado de esgotamento sanitário	Sistema que coleta e trata o esgoto sanitário produzido <i>in loco</i> , como condomínios residenciais e comerciais, empreendimentos empresariais e comerciais, loteamentos e edifícios singulares. Neste caso, em geral, a prática de reúso é do tipo interna, considerando inclusive a possibilidade de separação das diferentes águas provenientes de bacias sanitárias (águas negras) e dos demais acessórios hidráulicos, exceto de pia de cozinha e máquina de lavar louça (águas cinza).
Reúso agrícola	Aplicação da água de reúso em irrigação de diferentes tipos de cultura e a partir de diferentes tipos de equipamentos de irrigação. Ressalta-se que os diferentes tipos de cultura requerem águas de diferentes qualidades. Em geral, nesse processo incluem-se os seguintes aspectos relacionados às culturas: i) consumo cru ou após algum tipo de processamento; ii) desenvolvimento rente ou distante do solo; iii) consumo humano ou não; iv) que apresentam contato direto com a água de irrigação ou não; e outros.
Reúso urbano	Aplicação da água de reúso em ambientes urbanos para usos como lavagem de pátios, estacionamentos, logradouros públicos e similares; irrigação paisagística de canteiros, praças e parques; lavagem de veículos comuns e especiais como trens, metrô, aviões, ônibus e caminhões de lixo; desobstrução de galerias de águas pluviais e/ou tubulações de esgotos sanitários; diversas situações na construção civil, como cura de concreto, maquinário que utiliza água para o funcionamento, umectação de solo, abaixamento de poeira; combate a incêndio; descarga de bacia sanitária em sistemas descentralizados.
Reúso Industrial	Aplicação da água de reúso em ambientes industriais: 1) aplicação no parque industrial como água de processo e/ou em equipamentos como caldeiras e torres de resfriamento; 2) aplicação do tipo urbana, porém em ambiente industrial. Nesse caso, a água de reúso para atividades industriais pode ser proveniente de um reúso interno ou externo, bem como de um sistema centralizado ou descentralizado.
Reúso em piscicultura ou aquicultura	Aproveitamento na criação de espécies aquáticas (aquicultura) ou especificamente de peixes (piscicultura). A água de reúso é então direcionada aos tanques de criação dessas espécies, geralmente destinadas ao consumo humano.
Reúso ambiental	O reúso ambiental se caracteriza por aplicação em situações que consideram algum tipo de recuperação ambiental como a de áreas degradadas, em florestas plantadas, recarga de aquífero, aumento de vazão em lagos ornamentais, fixação de vazões ecológicas de cursos d'água e outros.
Reúso potável	Reúso de água para fins de abastecimento humano, podendo ser dividido em reúso potável direto, reúso potável indireto e reúso potável indireto não planejado, também conhecido como reúso potável <i>De Facto</i> .
Reúso potável direto	É a inserção da água de reúso no sistema de abastecimento de água, sem amortecimento ambiental (como diluição em águas subterrâneas ou águas superficiais) previamente à captação. Ou seja, a água de reúso é misturada diretamente à água captada do manancial (superficial ou subterrâneo) para tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA) ou à água potável no sistema de distribuição.
Reúso potável indireto	A água de reúso é diluída no manancial de captação (superficial ou subterrâneo), de forma planejada, para aumento da vazão e posterior tratamento e distribuição.
Reúso potável indireto não planejado (<i>De Facto</i>)	Quando a água residuária (bruta ou tratada) é lançada indiscriminadamente, sem planejamento, no corpo d'água, a montante de uma captação para abastecimento de água.

Termo	Conceito
Reúso restrito	Trata-se de uma classificação a partir do grau de restrição ao usuário. No reúso restrito, o acesso do público à água de reúso é restringido e, portanto, há maior flexibilidade em relação à qualidade exigida.
Reúso irrestrito	De maneira análoga, trata-se de uma classificação a partir do grau de restrição ao usuário. Entretanto, no reúso irrestrito, o acesso do público à água de reúso é liberado e, portanto, deve haver maiores rigor e exigência em relação à qualidade da água.
Crítérios de reúso	Crítérios desenvolvidos com base nas informações disponíveis e na opinião científica. Oferecem restrições qualitativas (limites numéricos e narrativos) para a prática do reúso de água e servem como base para o desenvolvimento dos padrões de qualidade. Em geral, por não considerarem a viabilidade técnica e econômica, não são mandatórios.
Padrões de qualidade de água de reúso	Restrições qualitativas, com limites numéricos, estabelecidas como regra, princípio ou medida, pela autoridade competente. São valores atribuídos a parâmetros de qualidade de água que se configuram como limites para o reúso de água em diferentes modalidades.
Diretrizes de reúso	Orientações, normalmente voluntárias, consultivas e não obrigatórias. Servem como base para o desenvolvimento de um instrumento legal mandatório e envolvem critérios e padrões de qualidade.
Regulamento de reúso	Documento com padrões, critérios ou diretrizes adotados oficialmente pelo órgão competente regional (municipal, estadual, federal).
Avaliação de risco microbiológico	O reúso de água traz uma característica inerente à sua prática que é o risco microbiológico de contaminação (de seres humanos e meio ambiente), ao se tratar da reinserção de um efluente no meio, mesmo que tratado, para diferentes usos. Dessa forma, a avaliação (quantitativa, semiquantitativa ou qualitativa) de risco microbiológico estima os possíveis riscos associados à prática de reúso, com o objetivo de reduzi-los até um nível mínimo considerado aceitável.
Barreiras	Obstáculos físicos ou químicos que se interpõem à transmissão de perigos e são responsáveis pela redução do contato do receptor (usuário, operador ou demais envolvidos) com a água de reúso. As barreiras podem atuar individualmente ou em conjunto (multibarreiras).
Plano de gestão de riscos	O plano de gestão de riscos é elaborado tendo em consideração a probabilidade de ocorrência de todos os perigos (físicos, químicos e microbiológicos), associada à severidade das suas consequências, e a eficácia das barreiras instaladas e a instalar em todas as operações associadas ao reúso.
Produtor e/ou distribuidor de água de reúso	Pessoa física ou jurídica responsável pela produção e/ou distribuição da água de reúso em quantidade e qualidade firmadas em contrato e compatíveis com os tipos de reúso acordados.
Consumidor da água de reúso	Pessoa física ou jurídica responsável por receber a água de reúso de acordo com as características firmadas em contrato e usá-la nas condições e nas modalidades especificadas no mesmo documento.
Licenciamento e/ou autorização	Instrumentos legais, emitidos pelos órgãos competentes, onde são estabelecidas as condições de autorização da prática de reúso.

4. EVOLUÇÃO DA REGULAMENTAÇÃO DA PRÁTICA DE REÚSO DE ÁGUA NO BRASIL

Até ao presente momento, o Brasil não dispõe de um instrumento legal a nível federal que regulamente o reúso de água em seu território. O histórico de desenvolvimento de um quadro regulatório da prática de reúso no país se iniciou com a publicação de padrões não mandatórios em 1997, seguindo-se a publicação de regulamentos sub-federais no ano de 2020 (Figura 2). Nessa linha do tempo, com duração de mais de 20 anos, há a publicação de critérios, diretrizes e regulamentos para fins de reúso, com

e sem a definição de padrões.

A primeira publicação sobre a temática de reúso de água proveniente de estações de tratamento de esgotos, no Brasil, foi a **NBR 13.969:1997**, intitulada “Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação”. Esta Norma Brasileira, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas em 1997, apesar de não ser mandatória, possui um caráter regulador, demonstrando, já à data, preocupação e interesse no reúso de água a partir do esgoto tratado, como alternativa para minimização das pressões sobre

os recursos hídricos. Observa-se pelo seu título que a abordagem do reúso contemplando a *utilização local para diversas finalidades, excluindo o consumo humano*, está inserida no contexto localizado, caracterizando atualmente um sistema descentralizado, justificado pelo título do seu item 5.6: “reúso local”. De maneira geral, deve ser dado destaque à abordagem de planejamento do empreendimento de reúso na norma, que há mais de 20 anos já indicava a necessidade de previsão dos usos, de estimativa do volume a ser utilizado, de definição do grau de tratamento necessário para o atendimento à qualidade desejada, de previsão de sistema de reservação e distribuição, além da sugestão de elaboração de um manual de operação e treinamento dos responsáveis (ABNT, 1997).

As modalidades de reúso abordadas na NBR 13.969:1997 são categorizadas em 4 classes. Cada classe, relaciona o tipo de uso da água ao grau de tratamento necessário para alcance da qualidade definida em padrões. Nela, foram previstos os seguintes usos, do mais restritivo para o menos restritivo: lavagem de carros, pisos, calçadas; irrigação de jardins; descargas de bacias sanitárias; aplicação em pomares, cerealíferas, forrageiras, pastagens para gados, entre outros.

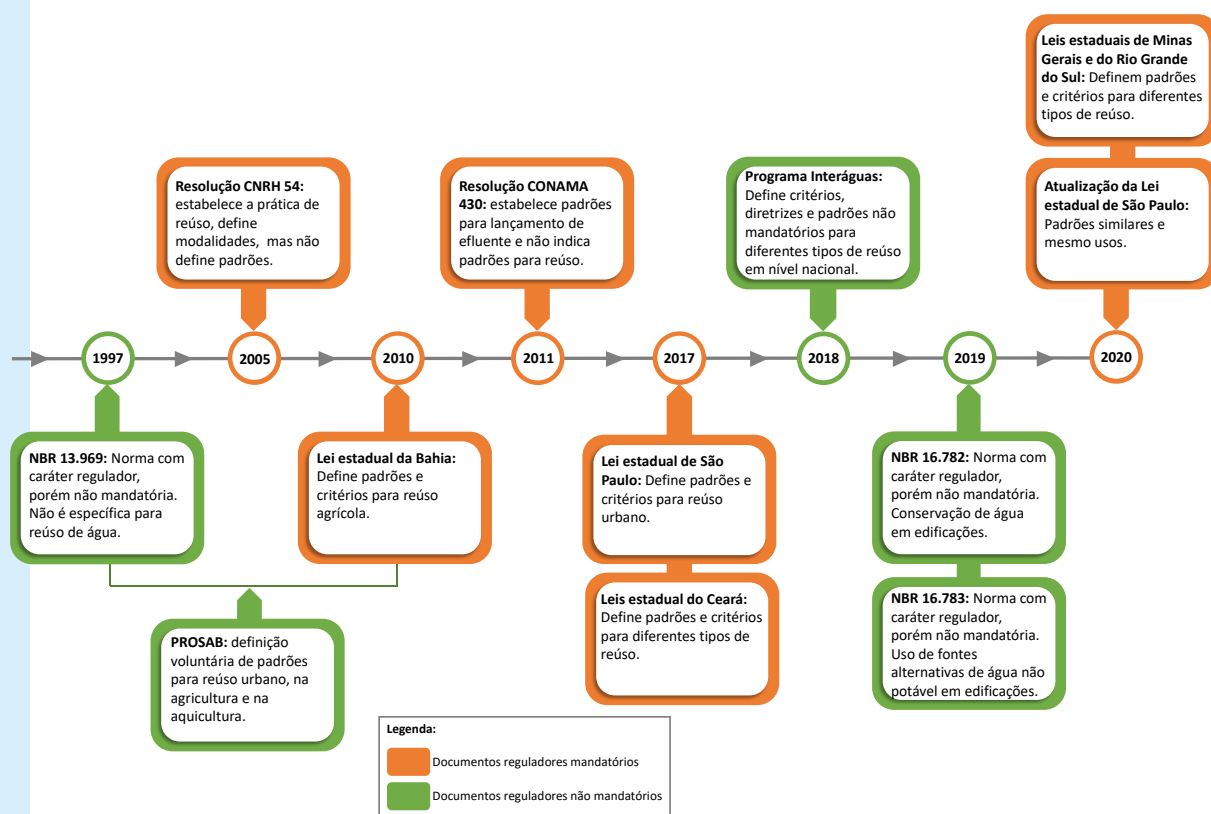
Atualmente, a NBR 13.969:1997 encontra-se desatualizada apesar da sua grande relevância para a inserção da discussão sobre o reúso de água no cenário nacional, no final dos anos 90. Essa desatualização pode ser observada através dos níveis extremamente avançados de tratamento de esgoto localizado, como por exemplo o fluxograma composto por tratamento aeróbio, seguido de filtração convencional e cloração, ou até mesmo com a substituição da filtração convencional por tecnologia de membranas, naquela época chamadas de membranas filtrantes. Na prática, atualmente, a grande maioria das ETEs descentralizadas no país é composta por sistemas simplificados de fossa séptica ou fossa séptica seguida de filtro anaeróbio. No contexto dos sistemas centralizados, atualmente, somente 7% de todo o esgoto tratado no Brasil passa por algum tipo de desinfecção (em sua maioria lagoas de maturação) (LIMA et al., 2020) e, de acordo com ANA (2020a), somente 18 das 3.668 ETEs em operação no país possuem membranas em seus fluxogramas de tratamento).

Somente em 2005 foi publicada a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos

(CNRH) nº 54, que estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais com o objetivo de regulamentar e estimular a prática de reúso direto não potável de água. O seu artigo 3º apresenta cinco modalidades de reúso (urbano, agrícola/florestal, ambiental, industrial e aquicultura) (BRASIL, 2005). Entretanto, esta Resolução não define padrões de qualidade de água de reúso e passa essa atribuição aos órgãos ambientais. Dessa forma, no ano de 2005 o país perdeu uma importante oportunidade de estabelecer critérios e objetivos específicos de reúso de água de forma a fomentar o seu desenvolvimento. Em 2011, o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) publicou a **Resolução nº 430**, que estabelece condições e padrões de lançamento de efluentes (BRASIL, 2011). De fato, essa Resolução não tem o objetivo de estabelecer critérios de reúso. Porém, como a reutilização de efluentes pode ser entendida como uma forma de disposição final adequada, assim como o lançamento em corpos d'água, a resolução poderia ter realçado essa questão. No entanto, somente afirma que as fontes potencial ou efetivamente poluidoras devem proceder ao reúso sempre que possível e adequado, visando o uso eficiente da água. Novamente, com a publicação deste documento em 2011 o Brasil também perdeu a oportunidade de avançar em termos de regulamentação do reúso de água.

Nessa linha do tempo, o Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), financiado pelo governo federal, desenvolveu importantes pesquisas e produziu relevantes resultados para o desenvolvimento do saneamento básico no Brasil entre o final da década de 1990 e o início dos anos 2000. Conforme compilado por Bastos et al. (2008), o PROSAB propôs padrões de reúso de água para agricultura, piscicultura e ambientes urbanos, alinhados à avaliação de risco microbiológico e às características ambientais, culturais e socioeconômicas brasileiras. Entretanto, por se tratar apenas de diretrizes, os critérios e padrões são meramente orientativos e sua adoção é voluntária e não mandatória. Destaca-se ainda que os padrões do PROSAB foram definidos com base na metodologia de AQRM (Avaliação quantitativa de risco microbiológico) recomendada pela OMS, o que os torna mais flexíveis e adaptáveis à capacidade de investimento e ao desenvolvimento tecnológico nacional (SANTOS et al., 2020).

Figura 2: Linha do tempo do estabelecimento do quadro regulatório (mandatório e não mandatório) de reúso de água no Brasil



Fonte: Elaborado pelos autores.

Links disponíveis para consulta dos documentos reguladores abordados na Figura 2: [Bahia - Resolução do Conselho Estadual de Recursos Hídrico nº 75/2010](#); [Ceará - Resolução COEMA nº 2/2017](#); [Programa Interágua \(2017\)](#); [São Paulo - Resolução conjunta SES/SIMA nº 1/2020](#); [Rio Grande do Sul - Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente nº 419/2020](#); [Minas Gerais - Deliberação Normativa do Conselho Estadual de Recursos Hídrico nº 65/2020](#); Bastos et al. (2008); Conselho Nacional de Recursos Hídricos - Resolução nº 54 de 2005; Conselho Nacional do Meio Ambiente - Resolução nº 430 de 2011. As NBR 13.969:1997, NBR 16.782:2019 e NBR 16.783:2019 são de acesso restrito e, portanto, não têm seus links de acesso disponibilizados aqui.

No nível sub federal, a primeira legislação brasileira com a indicações de padrões para o reúso de água ocorreu no ano de 2010, no estado da **Bahia**, que estabeleceu procedimentos para a prática na modalidade agrícola e/ou florestal, baseada nas diretrizes da OMS, de 2006. No ano de 2017, o estado do **Ceará** apresentou, em sua regulamentação para lançamento de efluentes líquidos, diretrizes, critérios e parâmetros para o reúso não potável de água em diversas modalidades. Nesse mesmo ano, o estado de São Paulo definiu critérios e padrões mandatórios para o reúso urbano de água a partir de efluentes de estações de tratamento de esgotos. Já no ano de 2020, dois estados (**Minas Gerais e Rio Grande do Sul**) publicaram legislações referentes à prática, com a definição de padrões para as modalidades pré-definidas nos documentos; e o estado de São Paulo atualizou a

sua lei para o mesmo fim.

Em 2019, com o objetivo de orientar a conservação e o uso da água em edificações, a Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou a NBR 16.782:2019 (sobre requisitos, procedimentos e diretrizes para a conservação de água em edificações) (ABNT, 2019a) e a NBR 16.783:2019 (sobre o uso de fontes alternativas de água não potável em edificações) (ABNT, 2019b). Juntas, elas representam importante papel para a consolidação da prática de reúso de água em sistema descentralizado de esgotamento sanitário, ao nível nacional, apesar de não apresentarem obrigatoriedade.

Ao nível federal, somente em 2017 os padrões de reúso de água foram definidos em diretrizes orientativas e não mandatórias, publicadas pelo **Programa Interágua**, financiado pelo governo federal. O documento

apresentou padrões para as modalidades de irrigação, urbano, industrial, ambiental e aquicultura, considerando as dimensões ambientais, econômico-financeira, social e cultural, e de saúde pública (INTERÁGUAS, 2017). Esse documento ainda define fluxogramas de tratamento de esgotos para alcance dos padrões indicados para cada modalidade, como também apresenta recomendações de licenciamento para cada tipo de reúso. Apesar de não mandatório, ele apresenta os principais padrões de qualidade de água de reúso para os diferentes tipos definidos no nível nacional (Tabela 1).

A atualização do marco regulatório do

saneamento básico, **Lei nº 14.026 de 2020**, define o estabelecimento de normas de referência para o setor, inclusive para a prática de reúso de água, como competência da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Com uma regulamentação mais bem definida, o reúso de água pode vir a se estabelecer como mais uma ferramenta de grande eficácia no gerenciamento dos recursos hídricos e saneamento no Brasil. Nesse sentido, Santos e Vieira (2020) afirmam que a própria experiência nacional é que deve ser responsável pelo aprimoramento da prática e pela atualização de padrões cada vez mais adequados.

Tabela 1: Padrões do Programa Interáguas definidos para as diferentes modalidades de reúso

Padrões de reúso	Observações
Agrícola restrito Coliformes Termotolerantes: 10^3 NMP/100 mL; DBO: 30 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L.	Agrícola restrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve distante do solo sem processamento prévio; após processamento prévio; não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas.
Agrícola irrestrito Coliformes Termotolerantes: 10 NMP/100 mL; Turbidez: 5 UNT; DBO: 15 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L.	Agrícola irrestrito: irrigação de cultura alimentícia que se desenvolve rente ao solo sem processamento prévio.
Urbano restrito Coliformes Termotolerantes: 10^3 NMP/100 mL; Turbidez: 5 UNT; DBO: 30 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L.	Urbano restrito: irrigação paisagística e outros usos em áreas restritas, tais como desobstrução de redes de esgoto, construção civil, lavagem de veículos e combate a incêndio
Urbano irrestrito Coliformes Termotolerantes: 10 NMP/100 mL; Turbidez: 5 UNT; DBO: 15 mg/L; Cloro residual: > 1,0 mg/L.	Urbano irrestrito: irrigação paisagística, bacias sanitárias e lavagem de logradouros.
Industrial Coliformes Termotolerantes: 10^3 NMP/100 mL.	Industrial: Aplicação em vários processos e atividades industriais.
Ambiental Coliformes Termotolerantes: 10^3 NMP/100 mL; DBO: 60 mg/L.	Ambiental: Aplicação em lagoas urbanas, manutenção de <i>wetlands</i> e aumento da disponibilidade hídrica para fins ambientais.
Aquicultura Coliformes Termotolerantes: 10^3 NMP/100 mL; DBO: 60 mg/L.	Aquicultura: criação de peixe ou cultivo de vegetais aquáticos.

Fonte: Interáguas (2017).

5. EXPERIÊNCIA E POTENCIAL NACIONAIS

O reúso de água vem sendo praticado no Brasil, porém ainda de maneira tímida e muitas vezes sem a observância de critérios. Como se analisou no item anterior, o quadro regulatório, apesar de apresentar longo desenvolvimento,

ainda é incipiente no país, o que dificulta a disseminação da prática. Apesar das dificuldades apresentadas, já é possível observar algumas ações mais criteriosas de reúso no país, muito embora seja difícil obter informação sobre os empreendimentos no Brasil. Até mesmo as companhias de água e esgoto que já praticam o

reúso de uma forma institucionalizada, em geral, não apresentam dados claros e transparentes em seus *websites*. Esse cenário é bem ilustrado por Silva Junior et al. (2019), que desenvolveram um estudo com o objetivo de analisar o estado da arte do reúso de água na região Sudeste do país. Os autores concluíram que, do universo de 1287 ETES em operação na região, foram encontrados projetos de reúso somente em 16 instalações e, desse montante, apenas 10 dispunham de dados quantitativos públicos. Ressalta-se que, juntas, as ETES destacadas têm capacidade de produção de 1158,2 L/s de água de reúso, o que correspondente a uma população equivalente de aproximadamente 800 mil habitantes, considerando-se um consumo per capita de água médio de 120 L/hab.dia.

Araujo et al. (2017) destacam a questão relacionada ao tipo de transporte da água de reúso, que também não está bem definida no Brasil. As possibilidades de transporte por caminhão pipa ou por adução ainda são questionadas na maioria dos projetos de reúso, o que tem levado ao abandono de alguns projetos antes mesmo da sua elaboração. Neste contexto, são levantadas questões importantes relacionadas à operacionalização dos empreendimentos e ao uso de combustível fóssil para uma aplicação sustentável de água de reúso. De um lado estão os empreendimentos de grande porte, centralizados, que requerem o transporte da água de reúso por adução. As incertezas quanto à aplicabilidade e à continuidade do projeto frequentemente limitam a construção de um sistema de distribuição mais robusto dedicado a este fim. Por outro lado, a distribuição da água de reúso por meio de caminhões pipa, com uso de combustível fóssil, caminha exatamente no sentido oposto da sustentabilidade que está na origem do próprio reúso de água. Essas questões ainda necessitam mais atenção, por parte de gestores e tomadores de decisão, no sentido de se favorecer a institucionalização desta importante prática no país.

Mesmo diante das dificuldades discutidas, o Brasil já acumula alguma experiência em termos de reúso de água, principalmente com projetos descentralizados. Quanto aos projetos de reúso centralizados, algumas companhias de água e esgoto já vêm produzindo estudos de planejamento de potencial de reúso para os efluentes gerados nas ETES que operam. No estado da Bahia, o Projeto contratado pela

Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA), denominado *Estudo de Avaliação de Potencialidades de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Estado da Bahia*, teve duração de 1 ano e foi finalizado em novembro de 2020, com a indicação da ETE Vitória da Conquista para instalação de Projeto Piloto (IICA, 2020). No estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) lançou edital em dezembro de 2020 para o desenvolvimento de estudo de viabilidade técnica, econômico-financeira, socioambiental e jurídica para celebração de parcerias para fins de exploração dos subprodutos, inclusive água de reúso, gerados nas ETES operadas pela Companhia (COMPESA, 2020). Nesse contexto, destaque ainda deve ser dado à Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas/SP (SANASA), que já apresenta na página principal do seu *website*, [link](#) para “Caminhão Pipa Água de Reúso” que define os critérios, preços e modalidades de compra da água de reúso oferecida pela companhia. (SANASA, 2020).

Em geral, os projetos já em andamento no Brasil se inserem nos contextos urbano, agrícola e industrial, em função das especificidades regionais. Entretanto, outros usos que englobam a aquicultura, a piscicultura e a recuperação ambiental também apresentam um bom potencial.

5.1. URBANO

O reúso de água em ambientes urbanos já vem sendo praticado nas grandes cidades do país para fins “menos nobres”. No Rio de Janeiro, segundo Araujo et al. (2016), a ETE Penha, operada pela Companhia de Água e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), abastece mais de 40 caminhões pipa, diariamente, para fornecimento à Companhia de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) para fins de lavagem de logradouros públicos. Na Figura 3, observa-se a limpeza da ciclovia da praia de Copacabana e na Figura 4 a lavagem do estacionamento da Praça do Ó, na Barra da Tijuca, após evento de feira livre.

Ainda no Rio de Janeiro, Araujo et al. (2016) afirmam que a ETE Alegria, também operada pela CEDAE, forneceu água de reúso a partir do efluente secundário clorado para as obras do Porto Maravilha durante os anos de 2015 e 2016. Na fotografia da Figura 5 observa-se o abastecimento do caminhão nas instalações da ETE Alegria. Na Cidade de Vitória, no Espírito Santo, também há o abastecimento de caminhões

pipa a partir do efluente secundário desinfetado por radiação UV da ETE Mulembá, operada pela Companhia Espírito Santense de Saneamento

Figura 3: Limpeza da ciclovia da praia de Copacabana no Rio de Janeiro, com água de reúso



Fonte: Acervo próprio (Ana Silvia Santos).

Figura 4: Lavagem do estacionamento da Praça do Ó na Barra da Tijuca, Rio de Janeiro, com água de reúso após feira livre



Fonte: Acervo próprio (Ana Silvia Santos).

Figura 5: Abastecimento do caminhão pipa com água de reúso na ETE Alegria no Rio de Janeiro



Fonte: Acervo próprio (Ana Silvia Santos).

Figura 6: Abastecimento do caminhão pipa com água de reúso na ETE Mulembá em Vitória/ES



Fonte: Acervo próprio (Ana Silvia Santos).

Outra aplicação comum da água de reúso nos ambientes urbanos no Brasil ocorre em sistemas descentralizados, como edifícios comerciais, residenciais, restaurantes e centros comerciais. Em geral, esses usos são destinados à irrigação de jardins, lavagem de pátios e descarga de bacias sanitários, a partir das águas cinza (Figuras 7, 8 e 9).

Outros exemplos no país poderiam ser aqui destacados, principalmente nas grandes cidades, já que são conhecidas outras iniciativas, como por exemplo a da COMPESA que abastece caminhões da própria companhia de hidrovácuo e jato para serviços operacionais de manutenção e desobstrução da rede de esgotamento sanitário (COMPESA, 2016).

5.2. AGRÍCOLA

Como a nível global, o maior consumo de água no Brasil é proveniente da prática de irrigação, que representa quase 50% das

retiradas de água (ANA, 2020b). Trata-se de uma prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas. Em geral, a quantidade requerida depende da época do ano, da cultura a ser irrigada, das características do solo e do clima, além do equipamento de irrigação.

De acordo com ANA (2017), a prática de irrigação aumenta o uso da água e isso é um fator negativo para o meio ambiente e para a sustentabilidade dos recursos hídricos; entretanto, de maneira positiva, aumenta a produtividade, reduz os custos unitários, atenua riscos climáticos, otimiza a relação insumos x equipamentos, aumenta a estabilidade e oferta de alimentos, e aumenta a segurança alimentar. De forma a minimizar o impacto do fator negativo e manter os benefícios, a água de reúso surge como fonte alternativa para o favorecimento da prática de irrigação.

Figura 7: Condomínio residencial da Av. Paulista em São Paulo



Fonte: Acervo próprio (Ana Silvia Santos).

Figura 8: Banheiro do Shopping Continental em São Paulo



Fonte: Acervo próprio (Cedido por Alfredo Akira Ohnuma Jr.).

Figura 9: Banheiro do restaurante Outback no Shopping Leblon no Rio de Janeiro



Fonte: Acervo próprio (Ana Silvia Santos).

Já são conhecidas experiências de reúso agrícola no país, principalmente em regiões com extrema escassez hídrica, como é o caso do Semiárido e da região Nordeste como um todo. No entanto, esses projetos, de maneira geral, também não são publicados, dificultando a troca de experiências para o aprimoramento da técnica.

O Instituto Nacional do Semiárido (INSA) vem desenvolvendo pesquisas e parcerias com o intuito de fomentar a prática de reúso na região. Uma das ações de experiência bem-sucedida é a

abordagem do reúso descentralizado com tecnologias simplificadas tanto de tratamento como para reúso em unidades familiares rurais. As fotografias das Figuras 10 e 11 destacam a experiência realizada em Cubati, na Paraíba, para irrigação de cajueiros. Padrões compatíveis com aqueles recomendados pela Organização Mundial de Saúde (SANTOS et al., 2020), mais flexíveis que os estabelecidos pelo Interágua, são alcançáveis com mais facilidade nessas ações.

Figura 10: Unidade familiar rural para produção de água de reúso para fins de irrigação (Cabuti, PB)



Fonte: Acervo próprio (Cedido por Salomão Medeiros).

Figura 11: Irrigação de cajueiros, com água de reúso, por gotejamento (Cabuti, PB)



Fonte: Acervo próprio (Cedido por Salomão Medeiros).

Nas regiões com baixa disponibilidade hídrica, o reúso de água se apresenta como uma condição única de irrigação, tanto em sistemas

descentralizados como centralizados; muitas vezes utiliza-se efluentes de baixa qualidade ou até mesmo brutos. Destaca-se assim, que um

planejamento adequado nesse sentido, com a otimização das ETEs do entorno para a produção de água reúso com a qualidade compatível (em casos de sistemas centralizados), pode alavancar, de maneira segura, o desenvolvimento socioeconômico dessas regiões.

Como observado na Tabela 1, os padrões de reúso indicados pelo Interágua são bastante restritivos, principalmente para irrigação de culturas alimentícias que se desenvolvem rente ao solo sem processamento prévio. No caso das demais culturas, os padrões embora exigentes, são um pouco mais flexíveis, considerando a densidade de Coliformes Termotolerantes inferior a 10^3 NMP/100 mL. Em geral, efluentes secundários não alcançam essa qualidade, requerendo, portanto, uma desinfecção. Chama-se a atenção para a tecnologia de desinfecção mais comum no Brasil, realizada com cloração, que pode trazer danos tanto à cultura como ao meio ambiente. Nesse contexto, destaca-se ainda a possibilidade de suprir não somente a demanda de água para as culturas, como também a de nutrientes. A prática, nesse caso, é conhecida como fertirrigação e deve ser também considerada nas etapas de planejamento.

Como forma de subsidiar o planejamento das ações de reúso para irrigação em todas as Regiões Hidrográficas do Brasil, Lima et al. (2020) realizaram estudo que apresenta resultados importantes para os tomadores de decisão. De maneira geral, os autores concluíram que Regiões Hidrográficas parcialmente ou integralmente inseridas na Região do Semiárido (região mais afetada pela seca no Brasil), como Atlântico Leste, São Francisco, Nordeste Oriental, Nordeste Ocidental e Parnaíba, apresentam capacidade parcialmente instalada de atendimento a aproximadamente 2,0%, 4,5%, 10,0%, 1,0% e 2,5% da demanda para irrigação, respectivamente. Os baixos índices de atendimento a coleta e tratamento de esgotos são responsáveis pelos valores também mais baixos de potencial. Dessa forma, o planejamento das ações de reúso nessas regiões, ainda deve levar em consideração o alcance da universalização dos serviços, inclusive para a produção de maior vazão de água de reúso.

5.3. INDUSTRIAL

O reúso das águas residuárias produzidas nas indústrias, em geral, tem um caráter descentralizado. Aqui é importante se diferenciar as águas residuárias produzidas na fabricação

dos produtos, que apresentam características específicas aos processos que as geram, das águas residuárias dos setores administrativo, restaurantes e vestiários, que apresentam características semelhantes ao esgoto doméstico.

Muitas vezes, o reúso de água interno à indústria pode ser praticado a partir destas fontes de água em duas situações específicas: 1) no próprio processo industrial ou em equipamentos como torres de resfriamento e caldeiras; 2) na lavagem de veículos e/ou de equipamentos, lavagem de pátios e estacionamentos, irrigação de jardins, descarga de bacias sanitárias, combate a incêndio.

No primeiro caso, independentemente da fonte da água de reúso, suas características físico-químicas e biológicas deverão ser compatíveis com o processo produtivo. Em outras palavras, a água de reúso não pode interferir na qualidade do produto da indústria, o que exige uma padronização específica para cada processo produtivo. Por esse motivo, o arcabouço regulatório do reúso de água na maioria dos países não contempla o reúso industrial, tendo em consideração as inúmeras especificidades de cada indústria. Porém, em se tratando dos usos não potáveis descritos no segundo caso do parágrafo anterior, a qualidade da água de reúso poderá seguir as orientações e critérios estipulados pela NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019b).

Por outro lado, o reúso industrial considerando água produzida em ETEs centralizadas, apesar de menos comum, tem um grande potencial no país. O maior empreendimento desse tipo na América do Sul encontra-se instalado no estado de São Paulo. Trata-se do *Projeto Aquapolo*, que utiliza efluente secundário produzido na ETE ABC, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), para produção de água de reúso com o objetivo de abastecimento do Polo Petroquímico do ABC paulista. No Aquapolo, o efluente da ETE ABC passa por um processo composto por reator biológico de membranas de ultrafiltração e osmose inversa, apresentando um efluente final de qualidade compatível com os usos definidos em contrato (Figura 12).

Nesse tipo de projeto, uma questão estratégica a se tratar é a distância entre o produtor da água de reúso (ETE do sistema centralizado) e o consumidor (parque industrial), além da forma de transporte. No caso do Projeto Aquapolo, a adutora da água de reúso tem

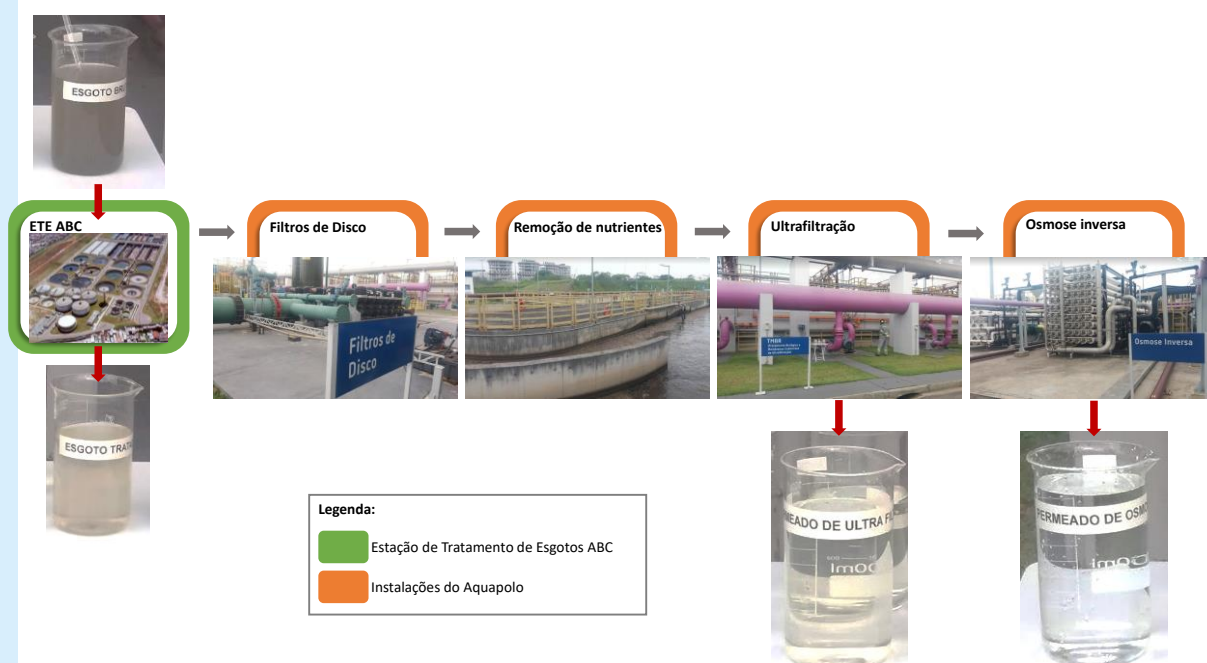
comprimento de 17 km, com capacidade para transportar 650 L/s, e representou um custo bastante elevado em relação ao empreendimento completo. Outro aspecto relevante se refere ao consumo de energia na produção da água de reúso, que impacta significativamente os custos de operação e manutenção da EPAR. O consumo de energia depende diretamente do tipo de tecnologia empregado na produção da água de reúso, que, regra geral, aumenta com o nível de qualidade pretendido.

Destaca-se ainda, que o setor industrial, por motivos financeiros e/ou de condução de práticas sustentáveis com objetivo de valorização da imagem, pratica a conservação e o uso racional

de água a partir de circuitos internos de torres de resfriamento, reutilização de águas de lavagem e outros. Em função das peculiaridades do Brasil e da sua extensa dimensão territorial, é certo que outros projetos, além do Aquapolo, praticam ações de reutilização ou reciclagem de água, assim como no caso de algumas indústrias do Polo Camaçari no estado da Bahia.

O tipo de indústria influencia substancialmente na sua conduta em termos de reúso. Em geral, não se aconselha o reúso de água em indústrias do setor alimentício. Inclusive, as diretrizes do Programa Interáguas limitam esse uso (INTERÁGUAS, 2017).

Figura 12: Desenho esquemático do fluxograma do Projeto Aquapolo



Fonte: Elaborado pelos autores. Fotografias de acervo próprio (Ana Silvia Santos), exceto a da ETE ABC (InstitutoTratabrasil).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência recente vem demonstrando que o Brasil possui um nível de desenvolvimento socioeconômico e tecnológico que justifica amplamente a implementação, com sucesso, de projetos de reúso de água em diferentes modalidades. Vários projetos de reúso de água estão sendo implantados no país em um ambiente desorganizado do ponto de vista institucional, em que a governança se faz ausente nos níveis federal, estadual e municipal.

Com o objetivo de propor uma metodologia estruturada para diagnóstico do potencial de reúso de água numa matriz hídrica regional, apresentam-se nesta Nota Técnica os principais conceitos e terminologia à guisa de consolidação. Apresenta, ainda, uma síntese do arcabouço regulador nacional assim como algumas experiências em curso no país.

Em relação aos instrumentos regulatórios referentes ao reúso de água no Brasil, tanto mandatórios quanto não mandatórios, é evidente que todos são relativamente recentes, com no

máximo 20 anos de existência. Apesar de já terem sido realizados grandes avanços na temática, ainda é necessário um fomento maior para a concretização de uma legislação a nível federal, contemplando diretrizes, critérios e parâmetros para esta prática. Faz-se notar que esta futura legislação deve ser atrelada a alguns fatores: o planejamento adequado, o licenciamento dos produtores, distribuidores e consumidores, a avaliação de risco para os envolvidos, a fiscalização do desempenho dos empreendimentos, entre outros.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Professor **Alfredo Akira Ohnuma Jr.** e o Pesquisador **Salomão Medeiros** pela disponibilização de fotografias que ilustram algumas das práticas de reúso de água abordadas no presente texto.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro. 60p. 1997.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16782**: Conservação de água em edificações – Requisitos, procedimentos e diretrizes. Rio de Janeiro. 22p. 2019.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro. 19p. 2019.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF: ANA, 2017.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Atlas esgotos**: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Brasília, DF: ANA, 2020a.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília, DF: ANA, 2020b.
- ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers Environmental Science**, v.6, n.26, 2018.
- ARAUJO, B. M.; MANHAES, A. C. D.; SANTOS, A.S.P. Viabilidade Econômica e Análise das Práticas de Reúso dos Efluentes das Estações de Tratamento de Esgoto do Município do Rio de Janeiro - ETE Alegria e ETE Penha. In: XVII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Ambiental e Sanitária, Florianópolis, 2016. **Anais [...]**, Florianópolis, SC, 2016.
- ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; PAVAN, F. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso de efluente de ETE para fins industriais não potáveis em comparação ao valor da água potável para a região sudeste do Brasil. **Exatas & Engenharias**, v. 7, n. 17, 2017.
- ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. DE; OHNUMA JUNIOR, A. A. Aspectos econômicos para o reúso na agricultura na Bacia do Rio Paraíba do Sul e comparação com o modelo da gestão de cobrança em Israel. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, MG, 2018. **Anais [...]**, Juiz de Fora, MG, 2018.
- BASTOS, R.K.X.; NEVES, J.C.I.; BEVILACQUA, P.D.; SILVA, C.V.; CARVALHO, G. R.M. Avaliação da contaminação de hortaliças irrigadas com esgotos sanitários. In: XXVII Congreso Interamericano Ingenieria Sanitaria y Ambiental, México, 2002. **Anais [...]**, México, 2002.
- BASTOS, R. K. X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L. O.; SPERLING, M.; AISSE, M. M.; BEVILACQUA, P. D.; PIVELI, R. P. Subsídios à regulamentação do reúso de águas no Brasil – Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**, v. 177, n. 122, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. Diário Oficial da União, Brasília, 15 de julho de 2020.
- BRASIL. **Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direito não potável de água, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, v. 3, n. 1, p. 31, 28 nov. 2005a. Seção 1, p. 31-36, 2005.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Diário Oficial da União, Brasília, v. 2, n. 1, p. 43, 13 maio 2011. Seção 1, p. 43-46, 2011.

COMPESA. COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. **Cidade Saneada adota prática que economiza quase 100 mil litros de água por dia.** Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/cidade-saneada-adota-pratica-que-economiza-quase-100-mil-litros-de-agua-por-dia/>. Acesso em: 15 de dez. 2020. (2016)

COMPESA. COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. **Reúso para ETes.** Informações Gerais para o PMI de Reúso para ETes. Disponível em: <https://servicos.compesa.com.br/portal-de-parcerias/reuso-para-etes/>. Acesso em: 15 de dez. 2020. (2020)

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: Aquicultura, Indústria, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, 2002.

IICA. INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACIÓN PARA LA AGRICULTURA. **Estudo revela potencial de reúso de esgoto tratado na Bahia.** Disponível em: <https://www.iica.int/es/prensa/noticias/estudio-revela-potencial-de-reuso-de-esgoto-tratado-na-ba>. Acesso em: 20 de nov. 2020.

INTERÁGUAS - PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS. **Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil.** Produto III – Critérios de qualidade de água. Brasília. 2017.

LIMA, M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P.; Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply**, 2020.

MARIN, P.; TAL, S.; YERES, J.; RINGSKOG, K. **Water Management in Israel: Key Innovations and Lessons Learned for Water Scarce Countries.** World Bank, Washington, DC. 2017.

MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. A nova centralidade da água e do saneamento pós-COVID-19. **Revista Augustus**, v.25, n. 51, p. 294-315, 2020a.

MELO, M. C.; PEREIRA SANTOS, A. S.; PINHEIRO SANTOS, N. A.; MAGALHÃES DE ARAÚJO, B.; ROSA SILVA DE OLIVEIRA, J.; RIBEIRO CAMPOS, A. Evaluation of potential use of domestic treated effluents or irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu River Basin. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 21, p. 52-63, 2020b.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater.** Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization. 2006.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Potable reuse: Guidance for producing safe drinking-water.** Geneva: World Health Organization. 2017.

SANASA. SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E SANEAMENTO. Página principal. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/inicio/default.aspx>. Acesso em: 14 de dez. 2020.

SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C.; LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, p. 437-462, 2020.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. reúso de água para o desenvolvimento sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, p. 50-68, 2020.

SILVA JUNIOR, L. C. S.; ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; OBRACZKA, M.; BOTTREL, S.E.C. Panorama do reúso de efluentes nas estações de tratamento de esgoto da região Sudeste. In: 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Natal, RN, 2019. **Anais [...]**, Natal, RN, 2019.

WATER EUROPE. **A water smart society for a successful post COVID19 recovery plan.** Bruxelas: WE, 2020. Disponível em: <https://watereurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/A-Water-Smart-Society-for-a-post-covid19-recovery-plan.pdf>. Acesso em: 9 dez. de 2020.

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 04 – DESAFIOS TENDÊNCIAS

TOWARDS A STRUCTURED METHODOLOGY FOR ASSESSING REGIONAL WATER REUSE POTENTIAL: 04 – CHALLENGES AND TRENDS

Maíra Araújo de Mendonça Lima^a, Ana Silvia Pereira Santos^a, Pablo da Silva Avelar^b, Luis Carlos Soares da Silva Junior^c, Bruna Magalhães de Araujo^d, Ricardo Franci Gonçalves^e, José Manuel Pereira Vieira^f.

^aUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, ^bEmpresa Baiana de Água e Saneamento, ^cUniversidade Federal do Rio de Janeiro, ^dInstituto Mineiro de Gestão de Águas, ^eUniversidade Federal do Espírito Santo, ^fUniversidade do Minho.

mairalima.90@gmail.com, ana.pereira@uerj.br, pablo.avelar@embasa.ba.gov.br, luis.junior@coc.ufrj.br, brunamagalhaes5@gmail.com, rfg822@gmail.com, jvieira@civil.uminho.pt

Submissão: 05 de março de 2021

Aceitação: 1 de julho de 2021

Resumo

Na sequência do conteúdo apresentado pelas Notas Técnicas 01, 02 e 03, a presente tem como objetivo elencar e discutir os diversos desafios e tendências sobre a aplicação, sistematização e institucionalização da prática de reúso de água no Brasil. Em linhas gerais, a própria condição brasileira de país em desenvolvimento já carrega uma série de desafios relacionados diretamente à prestação de serviços de saneamento e, conseqüentemente, ao reúso de água. No diálogo internacional, mais avançado, os desafios e tendências são ainda mais proeminentes e, nesse contexto, o Brasil ainda precisa vencer etapas internas de desenvolvimento, mudança de paradigma e modernização do setor para alcançar os objetivos de reúso de maneira segura e responsável, preservando o meio ambiente, os recursos hídricos e a saúde da população. Muitos desses desafios internos podem ser transpostos por meio de implantação e operação de projeto piloto anteriormente à instalação do empreendimento definitivo de reúso e da conscientização de todos os envolvidos, tais como gestores e tomadores de decisão, operadores de sistemas de reúso de água e a sociedade civil como um todo. Essa conscientização pode ser aplicada em contexto de capacitação continuada, com objetivo de transformação e estabelecimento de uma cultura de uso racional e reúso de água, inclusive com a abordagem do projeto piloto como objeto dessa transformação.

Palavras-chave: capacitação continuada; tomadores de decisão; operadores; sociedade civil; projeto piloto.

Abstract

Following the content presented in Technical Notes 01, 02, and 03, the purpose of this TN is to list and discuss the several challenges and trends regarding the practice of water reuse application, systematization, and institutionalization in Brazil. In general terms, the developing country label that Brazil carries poses a series of challenges directly linked to providing sanitation services and, therefore, to water reuse. The international dialogue, in a more mature context, the challenges and trends outstand more even more. Thus, Brazil still needs to overcome internal stages of development, paradigm changes, and modernization of the sector, to achieve the goal of safe and responsible reuse while preserving the environment, water resources, and public health. Many of these internal challenges are achievable through pilot project implementation and operation before establishing the permanent reuse enterprise. Another challenge is raising the consciousness of all those involved, such as managers and decision-makers, operators of water reuse systems, and civil society itself. This consciousness-raising can be applied in the context of continuous training, with the objective of

transformation and establishment of a culture of rational use and water reuse, including the pilot project as a driver of this transformation.

Keywords: capacity building; decision makers; operators; civil society; pilot project.

1. INTRODUÇÃO

Conforme já discutido no conjunto de Notas Técnicas referentes à “proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água”, a reutilização planejada de água a partir de efluente tratado é uma prática crescente em todo o mundo. Visa-se com isso, uma gestão mais eficiente da água em regiões com diferentes níveis de escassez hídrica, ou até mesmo naquelas em que é realizado o planejamento dos recursos de maneira mais ampla, como forma de alavancar o desenvolvimento de suas atividades. A adoção do reúso de água planejado propicia um equilíbrio entre a demanda e a oferta de água para diferentes fins, a longo prazo, e minimiza os impactos no meio ambiente a partir da redução do lançamento de efluentes nos mananciais e da redução da captação de água bruta. Assim, indubitavelmente, a prática de reúso é uma alternativa de preservação dos recursos hídricos, do meio ambiente, e uma ferramenta de impulsionamento do desenvolvimento socioeconômico (SANTOS et al., 2018; ARENA et al., 2020). No entanto, Angelakis et al. (2018) ressaltam que ainda há muitos desafios a vencer de forma a tornar o reúso de água uma prática segura e institucionalizada nas regiões mais afetadas pela seca.

No Brasil, muitos impasses ainda são preponderantes no caminho para a sistematização da prática de reúso: i) baixos índices de atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgotos sanitários, que refletem na reduzida produção de água de reúso; ii) baixa qualidade operacional das Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), que muitas vezes impede o alcance do desempenho desejado; iii) cultura histórica de percepção de abundância de água, que reflete no descaso do usuário em relação ao reúso e ao uso racional de água, além de contribuir para a rejeição psicológica do produto; iv) ausência de um documento legal, a nível federal, que regulamente a prática de reúso de água com o estabelecimento de padrões para diferentes fins (conforme apresentado na **NT01**); v) entraves burocráticos para o desenvolvimento e financiamento de projetos específicos para este

fim (descritos com maiores detalhes na **NT02**); vi) falta de estudos técnico-científicos de viabilidade de implantação de projetos de reúso de água e ausência de formação de recursos humanos capacitados para lidar com esses projetos de reúso de água; vii) falta de segurança em relação aos riscos epidemiológicos intrínsecos à prática, em função das dificuldades de aplicação de metodologias (quantitativa, semiquantitativa e qualitativa) de risco microbiológico; viii) utilização de dados estimados para cálculos de potencialidades, em detrimento ao uso de dados reais, devido à falta de transparência das operadoras de água e esgoto (apresentado na **NT03**); entre outros.

Os projetos de reúso de água demandam um esforço conjunto de diferentes setores no sentido de favorecer o seu estabelecimento de maneira segura e com o real objetivo de atender às expectativas de quantidade, qualidade e suprimento das demandas pretendidas. Assim, o tema “reúso de água” se caracteriza como uma área de conhecimento emergente no Brasil, com características multi e interdisciplinares, que carece de *capacitação continuada* para todos os níveis hierárquicos, desde os tomadores de decisão, até aos operadores (produtores e consumidores) dos sistemas, passando pela sociedade civil, que é diretamente afetada pelos projetos de reúso de água.

Conforme descrito na **NT02**, na administração pública, que é a principal forma de administração de sistemas de esgotamento sanitário e abastecimento de água no país, há um longo caminho a ser seguido no processo de implantação e operação de projetos de reúso. Apesar de a área técnica ter plena capacidade de esclarecer, apontar e definir, com alguma facilidade, a localização das ofertas e a localização das demandas de água de reúso, o sistema de gestão, que muitas vezes se apresenta ineficiente, impede o planejamento e a alocação de recursos para o desenvolvimento do projeto. De maneira simples, conforme já destacado na **NT03**, a localização das ofertas refere-se basicamente às ETEs, enquanto a localização das demandas refere-se às áreas de conflito pelo uso da água, regiões de escassez em diferentes níveis e regiões

com demandas específicas para o impulsionamento do desenvolvimento socioeconômico.

No caso da oferta da água de reúso, há que se destacar a necessidade de avaliação da relação entre quantidade, qualidade e usos pretendidos. A abordagem de qualidade *fit-for-purpose* (ou ajustada para o uso), conforme propõe ISO (2020) e APA (2019), indica que as características físico-químicas e microbiológicas da água de reúso, de acordo com padrões de qualidade de água, devem ser alcançadas conforme o uso pretendido (OMS, 2016). Há assim que se atentar para imposições desnecessariamente muito restritivas para usos que não demandam elevada qualidade. Esse caso, pode acabar por restringir a prática em vez de fomentá-la, conforme amplamente discutido na **NT01**, que abordou os aspectos nacionais de regulamentação, alertando inclusive para a falta de coerência entre os padrões já estabelecidos no país (federais não mandatórios e sub-federais mandatórios). Sobre a demanda de água de reúso, a gestão regional, seja ela municipal, estadual, federal ou até mesmo ao nível de bacia hidrográfica, deve mapear as áreas mais carentes de água, como fator de planejamento, tanto para minimizar os impactos de escassez hídrica e de conflitos pelo uso da água, como para fomentar o desenvolvimento socioeconômico.

No Brasil, historicamente, as ETEs, que nesse contexto representam a oferta de água de reúso, são geridas pela “gestão de saneamento”, enquanto os aspectos de demanda de água são administrados pela “gestão de recursos hídricos”. É no contexto atual da nova lei do saneamento no Brasil (Lei 14.026/2020) que a gestão de saneamento passa a ser integrada à gestão de recursos hídricos (BRASIL, 2020), de forma a caminhar na direção do conceito da água como sendo uma só (*one water*). O estabelecimento desse paradigma é um dos principais desafios propostos por Angelakis et al. (2018).

Ainda em se tratando do conhecimento técnico, o levantamento das potencialidades regionais para implantação do reúso de água deve abordar, além dos fatores mencionados anteriormente (localização das ofertas e localização das demandas), a avaliação de distâncias entre ofertas e demandas, a listagem de áreas prioritárias, estudo preliminar de custo e a produção de mapas, destacados com maiores detalhes na **NT03**. O conjunto de todos esses fatores proporcionam o incremento e a robustez do estudo de potencialidades tão discutido nesse

conjunto de Notas Técnicas, servindo de ferramenta essencial para as tomadas de decisão.

Mediante finalização dos estudos de potencial, Mukejeree e Jansen (2020) destacam como desafio a implantação e operação de projetos piloto de reúso de água, anteriormente à condução do empreendimento definitivo, de forma a produzir experiência e resultados transparentes, inclusive com o objetivo de conquistar o usuário para minimizar os impactos da rejeição. A viabilidade do projeto final pode estar em causa, a partir de uma adequada condução ou não de um projeto piloto. Os mesmos autores destacam a operação de projetos piloto com duração de até 10 anos.

O conjunto das Notas Técnicas (NT), perfazendo quatro conteúdos, tem como principal objetivo a **proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água no Brasil**. Seu foco principal é a inserção dessa fonte alternativa na matriz hídrica regional dentro do território nacional, de forma a propiciar o avanço do planejamento dos recursos hídricos e saneamento, como também auxiliar gestores e tomadores de decisão. A Nota Técnica (**NT04**), última do conjunto apresentado, aborda os problemas e os desafios enfrentados tanto para a elaboração como para a finalização do diagnóstico do potencial de reúso de água para a materialização do projeto piloto e dos empreendimentos futuros na região de estudo.

2. DESAFIOS E TENDÊNCIAS

Os principais desafios relacionados à prática de reúso de água no Brasil estão agrupados e discutidos no Quadro 1. Por ser um país com características bastante peculiares, esses desafios devem ser internalizados de forma a permitir o avanço da prática no território nacional e a evolução/ desenvolvimento de uma experiência particular, com o objetivo de evitar erros já ocorridos no passado em outras regiões. Pelo fato de o Brasil estar atrasado em relação a outras nações do mundo no aspecto de sistematização da prática de reúso, as experiências internacionais devem ser tomadas como exemplo, mas não como eixo principal da condução do processo. A solução dos problemas se faz principalmente com a criação de uma cultura de reúso de água no país, que perpassa um processo educacional longo e desafiador.

As dificuldades e os obstáculos impostos ao cenário nacional (Quadro 1), por si só já

representam um grande desafio. Entretanto, no cenário internacional são apresentados outros, além de tendências demasiadamente mais

avanzadas, conforme destacado por Angelakis et al. (2018):

Quadro 1: Desafios e características para a institucionalização da prática de reúso de água no Brasil

Desafio	Descrição
1 Baixos índices de atendimento aos serviços de coleta e tratamento de esgotos sanitários	De acordo com ANA (2020a), o índice de tratamento de esgotos no Brasil é abaixo de 50% em relação ao esgoto gerado. Na medida em que a prática de reúso depende diretamente da disponibilidade de esgoto tratado, Lima et al. (2020) e Melo et al. (2020) afirmam que áreas com elevadas demandas de água de reúso, apesar do potencial, podem não ser contempladas em função dos seus baixos índices de tratamento de esgoto. Nesse sentido, um aspecto relevante é o vislumbre de desenvolvimento de novos projetos de ETE já em consonância com as demandas por reúso de água, no caminho da universalização (LIMA et al., 2020).
2 Baixa qualidade operacional das ETEs	A prática de reúso de água bem-sucedida é diretamente relacionada à qualidade do efluente produzido na ETE e/ou na Estação Produtora de Água de Reúso (EPAR). Entretanto o desempenho operacional esperado para as ETEs em todo o território nacional nem sempre é alcançado. Para se alcançar esse desempenho, o eixo concepção-projeto-implantação-operação deve ser alinhado e bem conduzido (MORAES et al., 2020; ESPINOSA et al., 2017). Não raro, no Brasil, os projetos de ETE são realizados sem concepção adequada, e etapas construtivas e operacionais inadequadas (CHERNICHARO et al., 2018). Muitas obras são implantadas com projetos básicos e os baixos recursos financeiros aplicados levam a materiais e equipamentos de mais baixa qualidade, gerando instabilidades e sérios problemas operacionais. Ainda, em geral, o monitoramento da qualidade do efluente não é alinhado com as práticas operacionais e muitas vezes não representa o desempenho real da ETE. Neste caso, os regulamentos de reúso devem ser bastante rígidos em relação ao monitoramento, com fiscalização adequada, de forma a garantir a segurança da prática.
3 Cultura histórica de percepção de abundância de água	Apesar de o Brasil ser o país detentor da maior quantidade de água (13%) no mundo (ANA, 2020a), ela está distribuída de maneira desigual em todo o território nacional: regiões com abundância de água têm o menor contingente populacional e, de maneira oposta, regiões com menor disponibilidade hídrica têm altas densidades populacionais. Outro aspecto relevante é a região do Semiárido, predominantemente contida na região Nordeste, que apresenta escassez crônica devido aos baixos índices pluviométricos, altos índices de evaporação e rios intermitentes. Mas, ainda assim, é nesse contexto que se criou uma cultura de percepção de excesso de água, que traz sérios desafios para a implantação de projetos de reúso e uso racional de água em todo o país. A gestão de recursos hídricos e saneamento no Brasil, inclusive a nível regional (estadual e municipal), deve considerar esse aspecto e levantar a absoluta necessidade de conscientização e de transformação desse cenário. Segundo WE (2020), somente com uma sociedade inteligente em termos de água (<i>Water Smart Society</i>), será possível conviver com os problemas de escassez hídrica decorrentes das mudanças climáticas e do crescimento populacional no mundo.
4 Ausência de regulamentação federal sobre reúso de água com o estabelecimento de padrões para diferentes fins	Conforme discutido na NT01 , um dos principais problemas relacionados às dificuldades de desenvolvimento da prática de reúso no Brasil é a ausência de regulamentação a nível federal e a incompatibilidade entre os padrões estabelecidos pelos regulamentos sub-federais no país (SANTOS et al., 2020). Angelakis et al. (2018) corroboram essa afirmação, destacando que mesmo de maneira global, apesar da grande quantidade de documentos reguladores já publicados em diversas regiões do planeta, existe pouca padronização em todo o mundo. Assim, em um país com dimensões continentais como o Brasil, é importante que sejam estabelecidos padrões de requisito mínimos e coerentes para a prática de reúso em documentos reguladores, para proteção da saúde, do meio ambiente e da economia nacional no futuro. É necessário ainda o desenvolvimento de soluções abrangentes e flexíveis, além de um quadro regulatório aliado a uma política de reúso de água eficiente com base em avaliações mais realistas de risco, para que a prática possa ser aplicada de forma segura, responsável e sistêmica.

Desafio	Descrição
5 Entraves burocráticos para o desenvolvimento e financiamento de projetos de reúso	A administração pública no Brasil é conhecida por apresentar diversos entraves burocráticos, conforme destacado na NT02 . No caso do desenvolvimento de projetos de potencialidades e de implantação de empreendimentos de reúso de água, deve haver flexibilização baseada em estudos técnico-científicos que garantam a segurança e a eficácia da prática. Conforme estabelecido por Brasil (2020), a ANA passa a ser responsável pela criação de normas de referência no setor saneamento, e nesse sentido, deverá propor documentos flexíveis e menos burocráticos para favorecer a sistematização da prática.
6 Falta de estudos técnico-científicos de viabilidade de implantação de projetos de reúso de água	As decisões técnico-políticas devem ser tomadas com base em estudos técnico-científicos, que garantam o desempenho, a eficácia e a segurança dos empreendimentos de reúso de água. Metodologias de avaliação de potencialidades já publicadas em diversos estudos (LIMA et al., 2020; MELO et al., 2020; ARAUJO et al., 2017) podem ser replicadas para as regiões específicas de forma a auxiliar o desenvolvimento dos projetos. Convênios entre as instituições de ensino e pesquisa que desenvolvem estudos de reúso de água no Brasil devem ser firmados com companhias de saneamento e órgãos reguladores que pretendem avançar no tema, inclusive como forma de capacitar recursos humanos para lidar com os projetos implantados. No entanto, no Brasil, historicamente a relação desses órgãos com a academia, em geral é desgastada e pouco sólida. Esse alinhamento é fundamental para o desenvolvimento, institucionalização e sistematização da prática de reúso no Brasil.
7 Insegurança em relação aos riscos epidemiológicos	A prática de reúso de água, por utilizar efluente tratado com consideráveis densidades de organismos patogênicos, envolve, naturalmente, o risco de contaminação microbiológica (ISO, 2020; BASTOS et al., 2008). Essa contaminação pode ocorrer por vias de ingestão, adsorção dérmica ou inalação e, de acordo com o fim adotado no reúso de água, essas vias oferecem maiores ou menores riscos (OMS, 2016). Dessa forma, a avaliação de risco deve ser necessariamente incluída como instrumento de viabilidade técnica dos empreendimentos de reúso (ISO, 2020; APA, 2019). Apesar de a OMS propor a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM), essa é de grande complexidade e indicada para água de abastecimento e reúso potável. No caso do Brasil, que ainda não apresentou potencial elevado de reúso potável, as metodologias mais simplificadas, como semiquantitativa (ISO, 2020; APA, 2019) e qualitativa (APA, 2019) podem ser mais adequadas.
8 Falta de transparência das companhias de água e esgoto	O sucesso dos projetos de reúso dependem integralmente de uma relação sólida e de confiança entre as instituições que oferecem a água de reúso e o usuário (MUKEJEREE e JANSEM, 2020). Em geral, as companhias de saneamento e demais instituições similares que fornecem os serviços de água e esgoto, são as que também ofertam a água de reúso. No entanto, por falta de transparência, as relações entre essas instituições e o possível consumidor da água de reúso são bastante desgastadas no país. Essas instituições protagonizam, com frequência, episódios que geram desconfiança, como descarte de esgoto bruto nos corpos hídricos, distribuição de água de abastecimento contaminada, cobrança de tarifa de esgotamento sanitário para regiões que não são abrangidas por esse serviço etc. Dessa forma, é fortemente recomendado que as empresas responsáveis pela produção da água de reúso trabalhem exaustivamente na construção de uma relação de confiança mais sólida com os seus usuários em geral.

- **Reúso potável de água (direto ou indireto)**, que apesar de não ser uma prática disseminada no Brasil, já é realidade em vários países do mundo e é destacado por Angelakis et al. (2018) como sendo a principal tendência sobre o tema “reúso de água”, nomeadamente nos grandes centros urbanos. O reúso potável indireto, de maneira planejada, é aplicado em muitas

regiões do mundo, como Estados Unidos (MUKEJEREE e JANSEM, 2020), Austrália (KHAN e ANDERSON, 2018), Bélgica (FRIJNS et al., 2016), Inglaterra (SANCHEZ-FLORES et al., 2016) e Singapura (HARTLEY et al., 2019; LEFEBVRE, 2018). Já o reúso potável direto é mais restrito e se apresenta também nos Estados Unidos (MUKEJEREE e JANSEM,

2020), além da África do Sul (LAHNSTEINER et al., 2019) e da Namíbia (HARTLEY et al., 2019). Inclusive, a Namíbia apresenta o principal caso de sucesso no mundo com essa modalidade de reúso de água, operado desde 1968 (ANGELAKIS et al., 2018) e ampliado em 2002 (HARTLEY et al., 2019; LAHNSTEINER et al., 2019).

- **Gestão integrada de águas residuárias**, que se baseia na adoção conjunta de sistemas centralizados e descentralizados de esgotamento sanitário nos ambientes urbanos. Atualmente, em geral, nas regiões metropolitanas os esgotos são coletados e tratados em sistemas centralizados e afastados, dificultando a reinserção desses efluentes (como água de reúso) no ciclo urbano da água, por questões logísticas. Trata-se de uma tarefa complexa e economicamente inviável, a implantação de sistema de distribuição de água duplo em regiões urbanizadas. Nesse contexto, Angelakis et al. (2018) afirmam que, no futuro, o planejamento para implantação de sistemas descentralizados de coleta e tratamento de esgotos favorecerão o reúso de água, pela proximidade entre a estação produtora de água de reúso e o usuário, que muitas vezes é o próprio gerador. Assim, os tomadores de decisão devem incluir no planejamento das cidades, a operação integrada de sistemas centralizados e descentralizados.
- **Gestão integrada de águas e águas residuárias**, que aborda a água como uma só, independentemente da sua fonte. No contexto internacional a água é vista, cada vez mais, como uma só (*one water*), que descreve todas as formas de água. O conceito da *one water* refere-se basicamente à união entre os departamentos de água e esgoto, que atualmente são separados nas principais instituições de água e esgoto do mundo. Ao unificá-los, Angelakis et al. (2018) afirmam que é possível desenvolver soluções mais ponderadas, racionais e econômicas para atender às necessidades futuras de água. No Brasil, em 2019, a até então Agência Nacional de Águas (atualmente Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico) lançou a campanha #AÁguaÉumaSó, que tem o objetivo de alertar a sociedade para a

importância da gestão dos recursos hídricos, de forma atenta à conservação da água e do meio ambiente, ao mesmo tempo em que se busca atender às necessidades dos diversos usuários. Nesse sentido, a ANA apresenta uma visão mais global, além da integração entre os setores de água e esgoto, levando em consideração todo o ciclo hidrológico da água, suas diferentes fontes, quantidade e qualidade e a integração entre os domínios estaduais e da união.

- **A articulação entre o tratamento avançado de esgotos e a prática de dessalinização** em megacidades localizadas nas regiões costeiras oferece uma oportunidade adicional para usos de água que requerem maior qualidade, como o potável e o industrial. Angelakis et al. (2018) sugerem que operacionalmente, o efluente da estação de tratamento avançado pode ser combinado com a água dessalinizada para pós-tratamento, de forma a atender padrões de qualidade de água mais elevados (abastecimento doméstico, por exemplo). Inclusive, Lahnsteiner et al. (2018) afirmam que não parece haver razão para que o reúso potável de água (principalmente o direto) não se torne uma opção de gestão de água comum e amplamente utilizada nos próximos 5 a 10 anos.

É importante observar como o debate internacional se encontra em estágio bem mais avançado sobre os desafios e tendências relacionados ao reúso de água. Diante dos diversos aspectos apresentados, o processo de institucionalização e sistematização da prática de reúso parece distante da realidade brasileira. Porém é necessário dar os primeiros passos (SANTOS e VIEIRA, 2020), à semelhança de exemplos como a SANASA, a SABESP, a COMPESA e a EMBASA (conforme apresentado na NT01), e outros. A EMBASA foi responsável pela contratação e elaboração de um importante projeto de avaliação de potencialidades de reúso de água no estado da Bahia que, de maneira geral, inspirou a elaboração desse conjunto de Notas Técnicas, como forma de apresentar uma metodologia de aplicação de estudo de potencial regional de reúso de água para outras regiões do país.

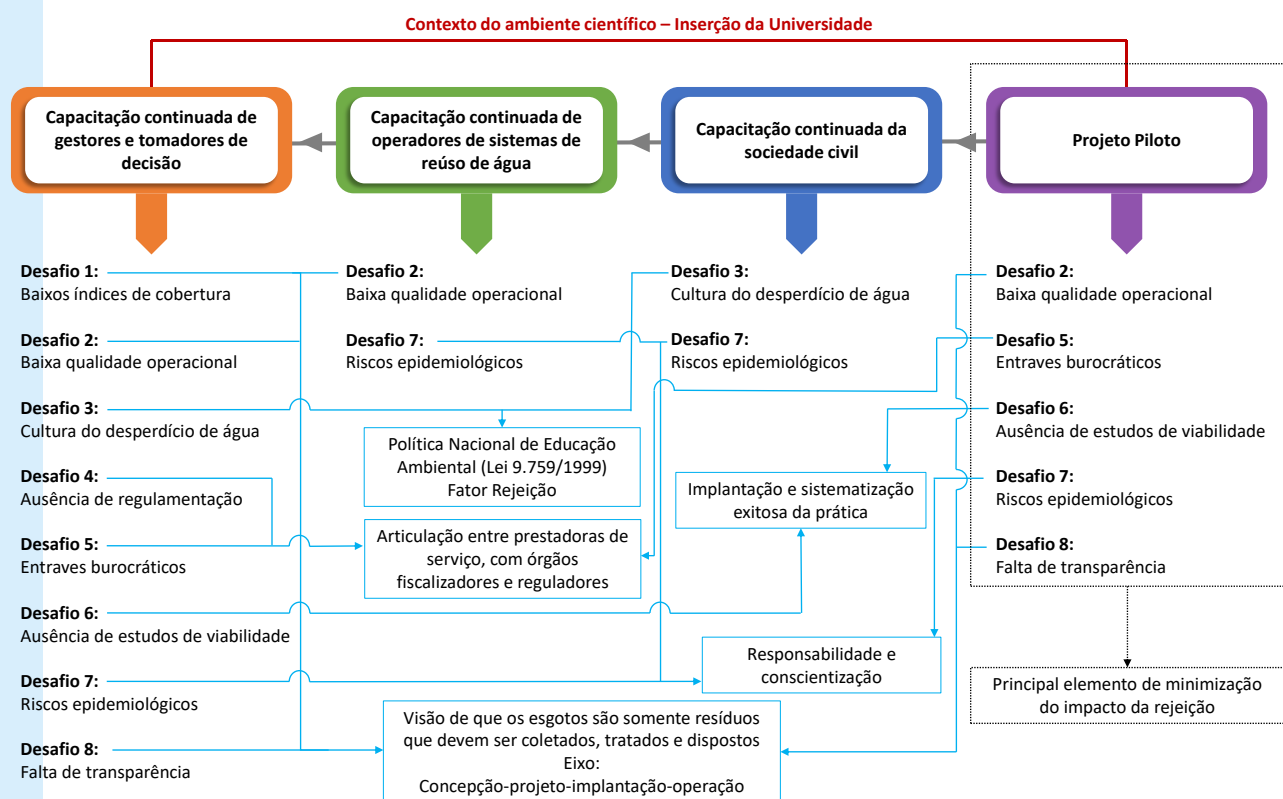
Nesse estudo, aspectos relevantes como a

capacitação continuada e a implantação e operação de projeto piloto podem ser grandes aliados para a transposição de muitos desses obstáculos. A **capacitação continuada** deve ser implementada para toda a hierarquia envolvida nos projetos de reúso, para os potenciais usuários de maneira geral e até mesmo para a sociedade participativa. O **projeto piloto** tem funções específicas de permitir o desenvolvimento de uma experiência prática prévia à implantação de projetos definitivos, além de, a partir da publicação

de dados transparentes, criar um elo de confiança com os demais envolvidos (produtores, consumidores, reguladores, fiscalizadores e sociedade).

Na Figura 1, apresenta-se o fluxograma que envolve os principais desafios relacionados à prática de reúso de água no Brasil, destacados no Quadro 1, assim como a relação entre eles, os principais atores envolvidos nos aspectos de capacitação continuada, e a implantação e operação de projetos piloto.

Figura 1: Fluxograma com os principais desafios distribuídos entre o projeto piloto e os atores envolvidos na capacitação continuada



Fonte: Elaborado pelos autores.

De maneira transversal aos desafios apresentados no Quadro 1 e no fluxograma da Figura 1, destaca-se a necessidade da sistematização da análise de viabilidade econômica dos projetos de reúso de água, que atualmente é segmentada. Os projetos de reúso de água, com todos os seus desafios, não podem ser analisados somente sob a ótica da viabilidade econômica das empresas de saneamento. A análise deve ser sistêmica, envolvendo outros setores da sociedade que se beneficiarão com um maior suprimento de água, mesmo que o projeto não indique viabilidade direta para as empresas de

saneamento. Formas de compensação do caixa destas empresas devem ser consideradas em situação em que a prática do reúso não se viabilize, sobretudo nas pequenas localidades expostas à insegurança hídrica.

3. CAPACITAÇÃO CONTINUADA

No Brasil, o termo “capacitação” tem forte relação com o aprimoramento de técnicas operacionais, para garantia de melhores desempenhos nas atividades realizadas. No setor

do saneamento, em geral, o termo é associado à operação de unidades que compõem os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, tais como redes (de abastecimento de água e de coleta de esgoto), estações elevatórias (de água e de esgoto), reservatórios, adutoras, captações, estações de tratamento de água e de tratamento de esgoto, entre outros. Em inglês, o termo “capacitação” é traduzido como “*capacity building*”, onde “*building*” refere-se à uma atividade que requer “construção”.

Nesse contexto, observa-se uma diferença de entendimento entre o termo adotado no Brasil (menos abrangente) e o internacionalmente adotado (mais abrangente). O termo “*capacity building*”, admitido como pano de fundo do presente texto, revela um processo pelo qual *indivíduos* e *organizações* obtêm, aprimoram e incorporam conhecimentos, habilidades, e ferramentas necessários para a realização de atividades com competência e participações mais marcantes no processo construtivo e na apreensão de conceitos.

Diante do exposto, os autores adotam o termo “capacitação continuada” como forma de abranger **gestores e tomadores de decisão, operadores de sistemas de produção e de aplicação da água de reúso**, além da **sociedade civil** como sociedade participativa na construção do cenário de reutilização regional de água em novos empreendimentos no Brasil.

Gestores e tomadores de decisão

A figura do **gestor** está intimamente relacionada ao binômio liderança e responsabilidade. Uma boa gestão é fundamental para a garantia do funcionamento adequado de uma determinada *instituição* ou da *prestação de um serviço*. No caso das *instituições*, os gestores são aqueles que ocupam os cargos de liderança e são responsáveis pelas tomadas de decisão; no caso da *prestação de serviços de saneamento*, no Brasil, essa gestão é realizada por empresas conhecidas como “prestadoras de serviço”, conforme amplamente discutido na **NT02**. Elas apresentam regras, metodologias, métricas, roteiros, critérios, diretrizes e orientações para a execução dos serviços com o objetivo de garantir a saúde e o bem-estar da população, além da proteção ambiental. Segundo Santos e Vieira (2020), a Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos de Portugal (ERSAR) designa essas empresas como “entidades gestoras”,

exatamente ressaltando a responsabilidade da gestão além daquela de prestação de serviços.

Os oito desafios expostos no Quadro 1 estão diretamente relacionados às empresas gestoras de saneamento e aos seus respectivos gestores.

Os Desafios 1, 2 e 8 estão relacionados com a visão atribuída à gestão como um todo, de que os esgotos são resíduos a serem coletados, tratados e dispostos. Já em 2012, Tchobanoglous (2012) afirmava que a água residuária não era mais vista, no contexto internacional, como um resíduo para disposição, mas uma fonte renovável e recuperável de água de abastecimento, recursos e energia. É nesse ponto que a capacitação continuada de gestores se deve apoiar, ao alavancar a transformação da cultura. Estações de tratamento de esgotos bem concebidas, projetadas, construídas e operadas são, certamente, responsáveis pelo alcance de melhores desempenhos, essencialmente necessários tanto para a proteção da saúde pública e do meio ambiente, como para a condução de ações exitosas de reúso de água. O aumento dos índices de cobertura com serviços de esgotamento sanitário deve ser planejado em função de critérios técnicos e socioeconômicos que podem ser discutidos, elaborados, definidos e aplicados no contexto da capacitação de gestores, para que saibam como lidar responsavelmente com o ciclo urbano da água.

Sobre a transparência das prestadoras de serviços de saneamento básico em relação aos dados dos serviços prestados, segundo o princípio constitucional da publicidade, conhecido somente como “Princípio da Publicidade”, os dados qualitativos e quantitativos de operação de ETES são de caráter público. Trata-se de um dos princípios da administração pública que tem como finalidade mostrar que o poder público deve agir com a maior transparência possível, para que a sociedade tenha o amplo conhecimento de todas as suas atuações e decisões. Essa publicização de dados leva, naturalmente, ao alcance de melhores desempenhos operacionais de ETES, valoriza, conseqüentemente, a confiança do usuário/consumidor e favorece a inserção científica na construção de diálogos mais atuais e mais alinhadas com os avanços internacionais.

Nesse contexto de “transparência”, o Desafio 3 também é despertado, no sentido de se levar um conhecimento técnico à sociedade civil como um todo. Além disso, a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), instituída pela Lei 9.795/1999, indica que instituições como as prestadoras de

serviços de saneamento (públicas ou privadas) devem promover a educação ambiental e o engajamento da sociedade na conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente; e a sociedade deve manter atenção permanente à formação de valores, atitudes e habilidades que propiciem a atuação individual e coletiva voltada para a prevenção, a identificação e a solução de problemas ambientais (BRASIL, 1999).

A ausência de regulamentação e os entraves burocráticos, abordados nos Desafios 4 e 5, devem ser abrangidos pela capacitação continuada de forma a promover um desenvolvimento do setor, com um debate mais moderno dando garantia de segurança e responsabilizando as partes envolvidas. Prestadoras de serviços e órgãos reguladores e fiscalizadores necessitam de articulações e interações mais dinâmicas e diretas, conduzidas por especialistas técnicos, no sentido de elaborarem e aplicarem documentos reguladores que favoreçam a sistematização da prática de reúso de maneira rápida e com menos burocracia, mas com garantia de segurança.

Os estudos de viabilidade técnica, que representam o Desafio 6, são essenciais para a implantação exitosa de infraestruturas que envolvem a prática de reúso de água. Assim, os gestores devem ser orientados para “como esses estudos devem ser realizados” e a importância deles no contexto completo. É importante que no nível de gestão haja planejamento para designação de recursos financeiros e humanos para esses tipos de estudos.

O Desafio 7 trata dos riscos epidemiológicos que também devem ser abordados e conduzidos no âmbito da capacitação de gestores. Conforme já mencionado anteriormente, os estudos de avaliação de risco, com diferentes metodologias, são conduzidos pela área técnica, mas são essenciais para as tomadas de decisão por parte dos gestores. A construção desse conhecimento é de grande relevância para que as tomadas de decisão sejam adequadas para cada caso. Projetos de reúso de água não devem ser aplicados sem estudos de avaliação de risco de contaminação microbiológica, mesmo que simplificados (ISO, 2020; REBELO, 2018).

São os gestores que tomam as decisões e, dessa forma, para que essas sejam assertivas e com mais baixos riscos de erros, as informações devem ser todas bem produzidas e os riscos devem ser estimados e baseados em experiência ou conhecimento acumulados, onde informações

incompletas e sem precisão podem levar a erros catastróficos. De acordo com Drucker (2014), as decisões não podem ser confundidas com boas intenções. Para que sejam de fato “decisões”, devem ser poucas, que fazem a diferença, com um planejamento de implementação efetivo e com pessoas designadas para cada tarefa.

Operadores de sistemas de produção e de uso, fornecimento ou distribuição de água de reúso

Inicialmente, destaca-se que as empresas, entidades de classe, instituições públicas e privadas devem promover programas destinados à capacitação dos trabalhadores, visando a melhoria e o controle efetivo sobre o ambiente de trabalho, bem como sobre as repercussões do processo produtivo no meio ambiente (BRASIL, 1999). Novamente, chama-se a atenção para a definição mais global do termo “capacitação continuada”, que envolve a construção do conhecimento.

A capacitação continuada de operadores de sistemas de produção e fornecimento de água de reúso é relacionada principalmente aos desafios 2 e 7 destacados no Quadro 1. Em geral, a baixa qualidade operacional (Desafio 2) é imputada somente à operação. Conforme destacado por Moraes et al. (2020), quando o eixo concepção-projeto-implantação-operação não é bem alinhado e bem conduzido, o baixo desempenho operacional é atribuído ao fim da linha, isto é, à operação. Entretanto, é importante destacar que a operação de sistemas de saneamento básico no Brasil, especificamente de esgotamento sanitário, sofre com a negligência das etapas anteriores de concepção, projeto e implantação nos seguintes principais aspectos, que devem ser abordados na capacitação continuada de gestores e tomadores de decisão:

- Falta de estudo de concepção para definição do projeto que mais se adequa às características locais;
- Adoção de tecnologias de tratamento inadequadas à região, em função de: condições climáticas desfavoráveis; complexidade operacional para um quadro técnico de nível inferior; e elevado consumo de energia elétrica que leva a operações mais onerosas;
- Utilização de equipamentos com materiais frágeis e de mais baixo custo, como consequência de uma cultura relacionada ao serviço de esgotamento sanitário ser

menos importante do que o de abastecimento de água;

- Falta de planejamento e de investimento em manutenção de equipamentos que o ambiente agressivo das ETEs danifica com mais rapidez;

No caso específico dos **operadores**, a grande lacuna encontra-se na falta de conhecimento técnico teórico para o entendimento e a operação adequada no contexto da prática. Nesse sentido, a capacitação continuada de operadores deve favorecer essa união entre os conceitos práticos e teóricos para o alcance de bons desempenhos.

Em 2006, o governo federal, no âmbito do então Ministério das Cidades e do Programa de Modernização do Setor Saneamento, implantou a Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental (ReCESA), que tinha como propósito, reunir, articular e integrar um conjunto de instituições e entidades com o objetivo de promover o desenvolvimento institucional do setor de saneamento, mediante soluções de capacitação, intercâmbio técnico e extensão tecnológica, com abrangência em sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem de águas pluviais urbanas e resíduos sólidos (ReCESA, 2008). A Rede foi dividida em núcleos regionais para as regiões Nordeste, Sul, Sudeste e Centro-Oeste, para oferecimento de cursos gratuitos de capacitação para operadores de sistemas de saneamento, com uma abordagem pedagógica específica para esse público.

A proposta pedagógica da ReCESA buscava uma conexão entre o “saber fazer” e o “saber científico”. Naquela época, a proposta se mostrava inovadora, mantendo-se atual nos dias de hoje e ainda com as mesmas dificuldades para a sua implantação. Essas dificuldades são inerentes aos aspectos culturais e aos paradigmas do setor saneamento no Brasil. Apesar de exitoso, o programa perdeu forças e deixou de ser aplicado, principalmente por questões financeiras.

O resgate do contexto da ReCESA é altamente aderente ao conteúdo da presente Nota Técnica, que sugere uma capacitação continuada, baseada em abordagem semelhante para dois grupos: 1) operadores dos sistemas de **produção** de água de reúso; 2) operadores dos sistemas de **aplicação** da água de reúso nas suas diferentes modalidades. De maneira simplificada, o primeiro grupo deve se esmerar para produzir uma água de reúso com a qualidade definida para a modalidade

designada; e o segundo, somente pode aplicá-la na modalidade e no cenário licenciado ou autorizado.

Como já discutido nesse conjunto de Notas Técnicas, o risco de contaminação microbiológica (Desafio 7) é intrínseco à prática de reúso e essa responsabilidade é de fundamental importância para garantia da segurança dos envolvidos. Um empreendimento de reúso que foi dimensionado para um determinado cenário/modalidade leva em consideração a qualidade da água produzida e do cenário de uso. Neste caso, o risco é avaliado considerando-se essas especificidades. Portanto, uma água produzida para lavagem de ruas, em geral requer uma qualidade inferior àquela produzida para irrigação de laranjeiras. Dessa forma, a água produzida para um empreendimento licenciado e autorizado para a prática de reúso na lavagem de rua deve atender a qualidade demandada e não pode ser utilizada para a irrigação de laranjeiras. Ainda, no caso das laranjeiras, uma água que irriga a plantação por equipamento de aspersão apresenta um risco maior de contaminação dos envolvidos, do que a que irriga por gotejamento. Assim, ressalta-se que a responsabilidade do trabalho deve ser destacada na capacitação continuada de operadores.

Sociedade civil

A **sociedade civil** pode e deve participar das decisões relacionadas à gestão de recursos hídricos e saneamento, já que, de acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), a água é um direito humano fundamental (UN, 2010) e o Objetivo do Desenvolvimento Sustentável nº 6 (ODS.6) garante que a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento devem ser asseguradas para todos (UN, 2015). No Brasil, tanto a antiga Lei do Saneamento (Lei 11.445/2000), como o novo Marco Legal do Saneamento (Lei 14.026/2020) determinam que a gestão do saneamento básico deve ser participativa, de forma a não só envolver a sociedade, como fomentar a sua participação nos processos de formulação de políticas, de planejamento e de avaliação dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020). Ainda, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei 9433/1997, define os Comitês de Bacias Hidrográficas como um importante instrumento que permite a participação dos usuários das águas sob seus domínios e das entidades civis de recursos

hídricos com atuação comprovada na bacia (BRASIL, 1997).

Nesse sentido, essa participação pode ser direta ou indireta. A participação direta, refere-se aos representantes da sociedade civil em ambientes de planejamento e deliberação, tais como audiências públicas e comitês de bacias hidrográficas, com atuação e impactos diretos. A participação indireta refere-se ao cidadão comum, que mesmo de maneira indireta é afetado pelas decisões tomadas sem o seu conhecimento. Ambos os cenários primam pela participação democrática nos espaços de gestão de recursos hídricos e saneamento, com fins de justiça socioambiental (BERTOLDI e ROSA, 2019).

A participação direta da sociedade (por representação) está relacionada a todos os Desafios descritos no Quadro 1 e na Figura 1, considerando-se o conceito da gestão participativa no planejamento e nas decisões técnico-políticas envolvidas na gestão de recursos hídricos e saneamento.

Na discussão apresentada no presente texto, o objetivo principal em termos de desafios relacionados à capacitação da sociedade civil aborda principalmente a participação indireta. Trata-se de uma sociedade que precisa se engajar e se conscientizar sobre os aspectos atuais e futuros relacionados à água, por meio da construção de uma sociedade inteligente em termos de água (WE, 2020). No Brasil, a PNEA (BRASIL, 1999) aborda a promoção da educação ambiental em todos os níveis de ensino e o engajamento dessa sociedade na conservação, recuperação e melhoria do meio ambiente, além de estimular a construção de uma sociedade ambientalmente equilibrada.

O foco aqui não é abordar a efetividade dessa participação e sim relacioná-la com os desafios já descritos, no âmbito do planejamento e da sistematização da prática de reúso de água no Brasil. É nesse sentido que se sugere que os Desafios 3 e 7 estejam mais alinhados com a capacitação continuada dessa sociedade civil que participa indiretamente do tema. No caso do Desafio 3, é preciso abordar de maneira ampla a questão da disponibilidade hídrica real e da sua escassez em função dos aspectos de crescimento populacional, aumento da demanda por água, poluição acentuada das reservas hídrica e mudanças climáticas. Já o Desafio 7 deve ser alcançado nessa capacitação de forma a apresentar o risco inerente à prática, porém com transmissão de segurança para minimizar os

efeitos naturais da rejeição psicológica. Conforme destacado por Santos e Vieira (2020), essa rejeição pode ser entendida por “Fator Eca”, que em inglês é abordado como “*Factor Yuck*” e refere-se diretamente ao “nojo”.

Destaca-se ainda que a engenharia brasileira não vem fazendo esse papel de maneira adequada e que essa abordagem deve acompanhar a evolução da tecnologia da informação, das ciências sociais, das metodologias pedagógicas e dos diferentes objetos de capacitação atualmente disponíveis para o despertar do interesse e do aprendizado. O tema deve ser abordado em todos os níveis de ensino nos diferentes ambientes educacionais, por todos os meios de comunicação social, nos setores empresariais e sempre, como linguagem específica e atualizada (BRASIL, 1999).

4. PROJETO PILOTO

Mukherjee e Jensen (2020) apresentam uma ampla discussão sobre o êxito dos empreendimentos de reúso de água e consideram a prévia implantação e operação de escala piloto, aspectos relevantes para coleta de dados e informações (quantitativas, qualitativas e econômica), assim como para a comunicação transparente com o público e agências governamentais, gestoras e de gerenciamento de risco.

Cumprе ressaltar que o Brasil possui uma relevante experiência na condução de projetos piloto na área de saneamento básico, adquirida ao longo de 10 anos de implementação e desenvolvimento do Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) desenvolvido no âmbito da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), por meio do qual foram construídos e operados vários parques experimentais de tecnologias de saneamento em todo território nacional. O PROSAB foi de grande importância para a aplicação/inação tecnológica no país, ao desenvolver projetos reais, em escalas de bancada e de demonstração, de forma a atender as necessidades e as peculiaridades nacionais, com tecnologias de mais fácil aplicabilidade, baixo custo de implantação, operação e manutenção, e com resultados diretos para a melhoria das condições de vida da população brasileira. Toda a sua história, que abrange as áreas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos urbanos, e gestão de águas pluviais está contada nas suas mais de 3 dezenas de publicações que podem ser acessadas

no [website](#) da FINEP.

O projeto piloto, que por si só aponta para a garantia de êxito no empreendimento (Desafio 6), configura-se não somente como uma etapa importante, mas também estratégica no contexto da avaliação do potencial regional de reúso de água e da sistematização da prática. A sua operação é capaz de fornecer resultados preliminares relacionados aos principais entraves e aos benefícios, além de poder ser de grande relevância para o alinhamento da aceitação por parte da população e para o estabelecimento dos reais custos de produção da água de reúso. Ressalta-se que a sua aplicabilidade está diretamente relacionada ao porte do projeto, embora seja sempre recomendada.

No presente texto, a abordagem do projeto piloto se dá alinhada aos empreendimentos de grande porte, com recortes espaciais definidos nos âmbitos de região hidrográfica, bacia hidrográfica e limite administrativo estadual, onde muitos cenários podem ser apresentados, estudados e extrapolados. Assim, na definição das principais características do projeto piloto, em empreendimentos de grande porte deve-se abranger, conforme abordado na **NT03**, a listagem de áreas prioritárias, o levantamento e localização das ofertas e demandas, a avaliação de distâncias entre potenciais ofertas e demandas, além de permitir a realização do estudo preliminar de custo.

As áreas prioritárias são as regiões que possuem elevado potencial para a implantação do projeto piloto, onde são levantados os tipos de demanda (entre as diferentes modalidades de reúso abordadas na **NT01**), onde são analisadas as distâncias entre a localização das ETEs até à área escolhida, e onde o custo pode ser preliminarmente composto. Para tanto, sugere-se uma avaliação estratégica para cada projeto piloto aventado no planejamento, com elevado nível de detalhamento e consideração de características locais, viabilidade, tipos de transporte, possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais, além de demais fatores que interfiram na replicação do modelo. Trata-se de um planejamento similar ao de concepção abordado na **NT02**, que deve apresentar projetos comparáveis entre si de forma a facilitar a adoção da concepção básica a ser implantada e operada no formato de projeto piloto. Assim, para a sua definição e instalação, apresentam-se no Quadro 2 os fatores que devem ser levados em consideração em relação à água de reúso: i) quantidade de água de reúso demandada; ii) qualidade relacionada ao uso

pretendido; iii) localização dos reservatórios de armazenamento e/ou abordagem econômica de transporte (caminhão ou adução) até o consumidor; iv) estruturação da tarifa de reúso; e v) articulação para aceitação da população.

Diante dos aspectos relacionados a implantação e operação de projeto piloto anteriormente à condução do(s) empreendimento(s) definitivo(s), observa-se a aderência do tema com os Desafios 2, 5, 6, 7 e 8 destacados no Quadro 1 e na Figura 1, conforme já relatado de maneira geral no Quadro 2. A operação do projeto piloto com objetivos claros e definidos permite um ganho de qualidade operacional (Desafio 2) e facilita a superação dos entraves burocráticos (Desafio 5), na medida em que, com transparência (Desafios 8), permite a articulação entre as prestadoras de serviço, os órgãos fiscalizadores e os reguladores, além de outros parceiros. Ainda, como uma importante ferramenta do estudo de viabilidade (Desafio 6), o projeto piloto permite uma avaliação mais aprofundada dos riscos microbiológicos de contaminação (Desafio 7) e se mostra um importante elo de confiança entre os envolvidos de maneira geral.

Por fim, destaca-se que o projeto piloto ainda pode ser um importante elemento de capacitação continuada para todas os atores envolvidos (gestores e tomadores de decisão, operadores de sistemas de reúso de água e sociedade civil), conforme demonstrado no fluxograma da Figura 1. E, especificamente no caso do público representado por operadores, possibilita ainda a elaboração de manuais de operação que considerem uma proposição de revisão e implantação de rotinas operacionais mais detalhadas e adequadas à prática de reúso, bem como indica a inclusão de fatores relevantes ao alcance de melhores práticas operacionais das ETEs e/ou EPARs.

Classicamente, o manual de operação é um documento integrante dos projetos executivos de ETE no Brasil. De acordo com Jordão e Pessoa (2017), o manual de operação de ETE é o documento técnico que indica os objetivos do tratamento, os parâmetros de qualidade a serem alcançados no efluente tratado, as eficiências relativas aos principais componentes e constituintes do esgoto, as regras ou instruções para operação das diversas unidades e equipamentos eletromecânicos, a forma de se avaliar a eficiência alcançada, o plano de amostragem e as respectivas análises do esgoto

ao longo do tratamento, a forma de apresentar relatórios periódicos e resultados alcançados, o plano de manutenção preventiva das principais unidades da ETE, recomendações relativas ao quadro de pessoal técnico e administrativos e outras eventuais indicações.

Nesse contexto, o manual de operação indica como conduzir as atividades operacionais e de controle para que os objetivos de qualidade sejam alcançados. Para tanto, em função de diversos fatores como desgaste das unidades, maior conhecimento das práticas por parte dos funcionários ao longo da operação, flutuação de operadores, conhecimento real das características do esgoto afluente, evolução do acréscimo de vazão ao longo dos anos até o alcance da vazão máxima, entre outros, sugere-se que o manual de operação seja revisto e que cursos de capacitação sejam planejados e implementados à equipe. Nos casos de ETEs consideradas para potenciais ofertas de água de reúso, há uma nova variável a ser introduzida na confecção do manual de operação. E a experiência da operação do projeto piloto pode ser fundamental para a construção desse conteúdo.

Ressalta-se ainda a importância do entendimento de que o manual de operação, neste caso, não deve ser encarado como um documento estático e estanque. Este documento deve ser atualizado com dados reais de operação sempre que a equipe operacional da ETE ou da EPAR perceba a necessidade da sua revisão. Essa atualização deve ser realizada em concomitância com atividades de capacitação continuada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta Nota Técnica 04 apresentam-se os principais desafios e tendências para o futuro da sistematização da prática de reúso de água no Brasil. Para que essa institucionalização seja alcançada, a gestão de saneamento, recursos hídricos e áreas afins, dos ambientes urbanos e rurais, deve levar em consideração aspectos relevantes e integrados, tanto de infraestruturação como de gestão eficiente e planejada. Neste contexto, destacam-se os seguintes:

- Conhecimento, caracterização e avaliação das principais demandas de água nas áreas urbanas e nas áreas rurais (integradas ou não ao ambiente urbano);

- Gerenciamento das ofertas de água de abastecimento, por sistemas convencionais (de captação superficial e subterrânea) para os diferentes fins;
- Alcance dos serviços de esgotamento sanitário e de abastecimento de água universalizados;
- Concepção, elaboração de projeto, implantação e operação adequados de Estações de Produção de Água de Reúso a partir do efluente da Estação de Tratamento de Esgoto;
- Em regiões litorâneas, e quando possível, avaliação da integração de unidades de dessalinização da água do mar com outras fontes alternativas de água, com definição de rotas de tubulação entre as plantas de dessalinização, tratamento de esgoto, produção de água de reúso e reservatório;
- Planejamento e implantação de reservatórios estratégicos de água de reúso para diferentes fins;
- Integração do transporte da água de reúso por caminhão pipa e/ou tubulação;
- Condução da capacitação continuada de gestores, de operadores e da sociedade civil;
- Definição de metas e métodos para redução dos impactos de rejeição psicológica por parte dos usuários;
- Gestão eficiente das prestadoras de serviços de saneamento básico, considerando o conceito da gestão integrada de águas e águas residuárias (*one water*) e o planejamento;
- Gestão integrada de sistemas centralizados e descentralizados de abastecimento de água e esgotamento sanitário para fins de reúso;
- Operação de projetos piloto com objetivos de consolidação da prática, capacitação, relação transparente com o usuário e auxílio na composição tarifária.

Por fim, a sistematização da prática de reúso de água deve ser conduzida de maneira gradual e planejada, com foco nos fatores mais relevantes e características particulares de cada região de estudo, a partir de uma gestão integrada e eficiente entre os setores envolvidos.

Quadro 2: Fatores relacionados à implantação do projeto piloto em empreendimentos de grande porte

Desafio	Descrição
Quantidade de água de reúso demandada	A demanda hídrica para diferentes fins é um fator relevante neste contexto de implantação e operação do projeto piloto. Nesse sentido, é importante analisar a quantidade de água demandada, na região do entorno, em situações que poderiam ser beneficiadas com o projeto. Atender quantitativamente as demandas na fase de operação do projeto piloto se configura como uma importante ferramenta de aprendizagem e interiorização de dificuldades inerentes à prática.
Qualidade da água de reúso	Alinhada à abordagem <i>fit-for-purpose</i> (ajustada ao uso), a qualidade da água de reúso deve ser definida em relação ao uso final pretendido, adequado a cada situação, tendo em vista a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Destaca-se aqui a avaliação da necessidade de otimização da ETE para atendimento da qualidade requerida, lembrando que somente 34% das ETEs em operação no Brasil apresentam desempenho de remoção de matéria orgânica superior a 80% e somente 9% apresentam algum tipo de desinfecção em seus fluxogramas (ANA, 2020b). A qualidade deve ser categorizada de acordo com o tipo de uso e com o nível de restrição (restrito e irrestrito), conforme indicado no Programa Interáguas (INTERÁGUAS, 2017). Essa categorização possui o objetivo de redução do risco de contaminação microbiológica associada à prática (SANTOS et al., 2020).
Reservação e/ou Transporte da água de reúso	Um dos grandes entraves nos estudos de avaliação de potencial de reúso é a estratégia a ser adotada em relação à necessidade de reservação da água de reúso e/ou o transporte direto até o consumidor final. A implantação de reservatórios pode ser para a finalidade de redução das distâncias entre as ETEs e o consumidor final, assim como o de armazenamento em função da sazonalidade das demandas. Nesse caso, ainda se discute a pós desinfecção para se evitar o recrescimento de microrganismos (ISO, 2020; APA, 2019). Já o transporte direto pode ser estabelecido através de adutoras ou de caminhões-pipa (NT03). Araujo et al. (2017) desenvolveram uma metodologia para o cálculo do custo do transporte da água de reúso em caminhão pipa com o objetivo de avaliar as distâncias máximas viáveis.
Estruturação da tarifa de reúso	Trata-se de uma tarefa complexa e sensível, mas necessária para tornar os empreendimentos viáveis economicamente. Embora sejam muitas as suas vantagens técnicas, nem sempre a prática de reúso de água é a melhor solução para a escassez hídrica. A operação do projeto piloto apresenta-se como uma grande aliada, ao facilitar a composição desse custo, levando em consideração os custos operacionais, de capital e de reposição, descritos na NT02. Ressalta-se, entretanto, que a depender do quadro de escassez hídrica da região, o reúso de água pode ser a única solução de abastecimento e, nesse caso, agrega-se mais uma variável à composição do custo, tornando a tarefa ainda mais complexa. Esse cenário pode demandar a imposição de uma tarifa extremamente elevada, que quando comparada à cobrança pelo uso da água pode limitar a implantação da prática de reúso. Segundo Melo et al. (2020), o valor da cobrança pelo uso da água no Brasil é em torno de 0,02 a 0,03 R\$/m ³ , nas bacias hidrográficas com políticas de cobrança já instaladas (NT03). Diante dos baixos valores atribuídos, um dos objetivos dessa cobrança, que é fomentar o uso racional da água não é alcançado (OCDE, 2017). Nesse contexto de elevado grau de escassez hídrica, Israel se destaca por reutilizar atualmente 87% do esgoto tratado no país, com a imposição de tarifas elevadas para a água de reúso, apesar de mais baixas do que as tarifas para água superficial e dessalinizada (ARAUJO et al., 2017).
Aceitação da população	Conforme já mencionado, a implantação e operação do projeto piloto pode ter forte relação com a minimização do impacto da rejeição psicológica (<i>Factor Yuck</i>) do usuário da água de reúso. Nesse caso, a transparência das ações, principalmente por parte das instituições de produção e oferta de água de reúso, é que vai alavancar a confiança do usuário. Nesse contexto, Harris-Lovett et al. (2015) afirmam que a operação de projetos piloto, aliada a uma linha de comunicação com a população, pode ser um bom caminho para o sucesso na aceitação pública. Países como Singapura investiram na aproximação da população com o tema, criando centros de visitação da NEWater, como instalações piloto, e atualmente 30% da demanda de água no país é suprida com água de reúso, de maneira exitosa (LEFEBVRE, 2018). Ressalta-se a importância de um programa de envolvimento da população com o projeto piloto, com o objetivo de transmitir confiança e segurança.

REFERÊNCIAS

- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2020a.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2020b.
- ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLIOUS G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers Environmental Science**, v. 6, n. 26, 2018.
- APA. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Guia para reutilização de água – usos não potáveis**. Lisboa: APA, 2019.
- ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; PAVAN, F. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso de efluente de ETE para fins industriais não potáveis em comparação ao valor da água potável para a região sudeste do Brasil. **Exatas & Engenharias**, v. 7, n. 17, 2017.
- ARENA, C.; GENCO, M.; MAZZOLA, M. R. Environmental Benefits and Economical Sustainability of Urban Wastewater Reuse for Irrigation—A Cost-Benefit Analysis of an Existing Reuse Project in Puglia, Italy. **Water**, v. 12, n.10, p. 2926, 2020.
- BASTOS, R. K. X.; KIPERSTOK, A.; CHERNICHARO, C. A. L.; FLORENCIO, L.; MONTEGGIA, L. O.; SPERLING, M.; AISSE, M. M.; BEVILAQUA, P. D.; PIVELI, R. P. Subsídios à regulamentação do reúso de águas no Brasil – Utilização de esgotos sanitários tratados para fins agrícolas, urbanos e piscicultura. **Revista DAE**, v. 177, n. 122, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 14.026, 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. Diário Oficial da União, Brasília, 15 de julho de 2020.
- BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 5 de janeiro de 2007**. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Brasília, DF. 2007.
- BRASIL. **Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999**. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Brasília, DF, 1999.
- BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 1997.
- BERTOLDI, M. R. ; ROSA, R. G. . A concretização do direito à informação ambiental: o acesso à informação para a efetividade da cidadania socioambiental brasileira. **Revista de Direito Econômico e Socioambiental**, v. 10, p. 233-257, 2019.
- CHERNICHARO, C. A.; RIBEIRO, T. B.; PEGORINI, E. S.; POSSETTI, G. R. C.; MIKI, M. K.; SOUZA, S. N. Contribuição para o aprimoramento de projeto, construção e operação de reatores UASB aplicados ao tratamento de esgoto sanitário - Parte 1: Tópicos de Interesse. **Revista DAE**, v. 66, p. 5-16, 2018.
- DRUCKER, P. F. **Innovation and Entrepreneurship: Practice and Principles**. New York: Harper & Row, p. 277, 2014.
- ESPINOSA, M.F.; SPERLING, M.; VERBYLA, M.E. Performance evaluation of 388 full-scale waste stabilization ponds systems with seven different configurations. **Water Science and Technology**, v. 75, n. 4, p. 916-927, 2017.
- FRIJNS, J.; SMITH, H. M.; BROUWER, S.; GARNETT, K.; ELELMAN, R.; JEFFREY, P. How governance regimes shape the implementation of water reuse schemes. **Water** v. 8, p. 605, 2016.
- HARRIS-LOVETT, S. R.; BINZ, C.; SEDLAK, D. L.; KIPARSKY, M.; TRUFFER, B. Beyond User Acceptance: A Legitimacy Framework for Potable Water Reuse in California. **Environmental Science Technology**, v. 49, n. 13, p. 7552–7561, 2015.
- HARTLEY, K.; TORTAJADA, C.; BISWAS, A.K. A forma model concerning policy strategies to build public acceptance of potable water reuse. **Journal of environmental management**, v. 250, 2019.
- INTERÁGUAS - PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS. Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto III – Critérios de qualidade de água. Brasília. 2017.
- ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16075-1:2020** – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation, International Organization for Standardization, Geneva. 2020.

JORDÃO, E. P e PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2017.

KHAN, S.J.; ANDERSON, R. Potable reuse: experiences in Australia. **Environmental Science and Health**, v. 2, p. 55-60, 2018.

LAHNSTEINER, J.; VAN RENSBERG, P.; ESTERHUIZEN, J. Direct potable reuse – a feasible water management option. **Water reuse and desalination**, v. 8, n. 1, 2018.

LEFEBVRE, O. Beyond NEWater: an insight into Singapore's water reuse prospects. **Environmental Science & Health**, v. 2, p. 26-31, 2018.

LIMA, M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P.; Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2020.280>. Acesso em: 20 de fev. 2021.

MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P.; SANTOS, N. A. P.; ARAÚJO, B. M.; OLIVEIRA, J. R. S.; CAMPOS, A. R. Evaluation of potential use of domestic treated effluents or irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu River Basin. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 21, p. 52-63, 2020.

MORAES, D. L.; SANTOS, A. S. P.; BILA, D. M.; SILVA JÚNIOR, L. C. S.; ARAUJO, B. M. Análise comparativa de parâmetros hidráulicos para dimensionamento de tecnologias em Estações de Tratamento de Esgoto. **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, p. 22-41, 2020.

MUKHERJEE, M.; JENSEN, O. A comparative analysis of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia. **Safety Science**, v. 121, p. 5-14, 2020.

OCDE. **Cobranças pelo uso de recursos hídricos no Brasil: Caminhos a seguir**. Éditions OCDE, Paris, 2017.

OMS. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE. **Sanitation safety planning manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta**. Geneva: World Health Organization. 2016.

ReCESA. Rede de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. Processos de tratamento de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 1 / Ministério das Cidades.

Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, DF, 2008.

REBELO, A. Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água. In: Atas do 14º Congresso da Água, Évora. 2018.

SANCHEZ-FLORES, R.; CONNER, A.; KAISER, R. A. The regulatory framework of reclaimed wastewater for potable reuse in the United States. **International Journal of Water Resources Development**. 2016.

SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C.; LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Revista Sustinere**, v. 8, n. 2, p. 437-462, 2020.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M.; RAMOS, L. T. A.; PEREIRA, C. B.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. Capacidade de reúso de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. **Semioses** (Rio de Janeiro), v. 12, p. 16-33, 2018.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso De Água Para O Desenvolvimento Sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, p. 50-68, 2020.

TCHOBANOGLOUS, G. New directions for wastewater treatment in the 21st century. In: Flotation 2012 Proceedings 6th International Conference on Flotation for Water and Wastewater Systems, New York, NY, International Water Association. 2012.

UN. United Nations. General Assembly Resolution A/RES/64/292. 2010. **The human right to safe drinking water and sanitation**. Disponível em: https://www.un.org/en/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292. Acesso em: 1 de jul. 2020.

UN. United Nations. General Assembly Resolution A/RES/70/1. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_1_E.pdf. Acesso em: 1 de jul. 2020.

WATER EUROPE. **A water smart society for a successful post COVID19 recovery plan**. Bruxelas: WE, 2020. Disponível em: <https://watereurope.eu/wp-content/uploads/2020/04/A-Water-Smart-Society-for-a-post-covid19-recovery-plan.pdf>. Acesso em: 9 dez. de 20

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 02 – PLANEJAMENTO TÉCNICO E ESTRATÉGICO

TOWARDS A STRUCTURED METHODOLOGY FOR ASSESSING REGIONAL WATER REUSE POTENTIAL: 02 – TECHNICAL AND STRATEGIC PLANNING

Pablo da Silva Avelar^a, Luis Carlos Soares da Silva Junior^b, Maíra Araújo de Mendonça Lima^c, Ana Sílvia Pereira Santos^c, Karina de Moura Costa Alencar^c, Ricardo Franci Gonçalves^d, José Manuel Pereira Vieira^e.

^aEmpresa Baiana de Água e Saneamento, ^bUniversidade Federal do Rio de Janeiro, ^cUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, ^dUniversidade Federal do Espírito Santo, ^eUniversidade do Minho

pablo.avelar@embasa.ba.gov.br, luis.junior@coc.ufrrj.br, mairalima.90@gmail.com, ana.pereira@uerj.br, kmcalencar@gmail.com, rfg822@gmail.com, jvieira@civil.uminho.pt.

Submissão: 05 de março de 2021

Aceitação: 1 de julho de 2021

Resumo

O planejamento é indispensável para o êxito dos projetos de infraestrutura urbana e rural voltados para as ações de saneamento e recursos hídricos, onde os estudos de avaliação de potencial de reúso de água estão inseridos. Nesse setor brasileiro, em que a administração pública é predominante, a morosidade das ações e a falta de planejamento levam à implantação de projetos sem garantia do alcance dos objetivos iniciais propostos. A contratação de serviços de consultoria especializada, neste caso, requer um planejamento mínimo com etapas obrigatórias a serem percorridas, tais como a elaboração do termo de referência. Este, por apresentar uma abordagem técnica, serve de caminho para outros documentos com maior carga jurídico-administrativa, tais como o edital. Assim, a presente Nota técnica envolve aspectos relacionados ao caminho técnico para a contratação de serviços desse tipo, que levam em consideração a concepção e o planejamento do projeto. A concepção deve ser o mais abrangente possível e fiel às características gerais e específicas da região de estudo. Diferentes concepções, comparáveis entre si, levam à adoção da concepção básica que será o objeto do termo de referência. Esse, por sua vez, documento objetivo conciso e contextualizado, deve abranger minimamente os objetivos do projeto e o escopo dos produtos esperados, cronograma, responsabilidade dos envolvidos, formas de pagamento e outros. A presente Nota Técnica tem como objetivo apresentar os elementos essenciais para o planejamento das ações de reúso de água, incluindo estudos de potencial, modalidades de financiamento e definição de parcerias.

Palavras-chave: planejamento do projeto; estudo de concepção; termo de referência; parcerias; contratação.

Abstract

Planning is paramount for the success of urban and rural infrastructure projects focused on sanitation and water resources, which includes studies to evaluate water reuse potential. In Brazil, public administration prevails in these sectors. Thus, the slow pace of action and poor planning lead to projects that do not meet the initially proposed goals. Hiring specialized consulting services, in this case, requires minimum planning with mandatory steps, such as the term of reference development. Due to its technical approach, the reference term serves as a path for other documents with a higher legal-administrative load, such as the tender process. Thus, the present Technical Note addresses technical pathways for hiring services of this kind, regarding the project's conception and planning. The ideation should be as comprehensive as possible, besides trustworthy to all the study area's features (general and specific). Different conceptions, which are comparable among themselves, result in adopting the basic design that will be the Term of Reference's goal. This, in turn, a concise and contextualized objective document, should minimally cover the objectives of the project and the scope of

the expected products, schedule, responsibility of those involved, payment methods and others. This Technical Note aims to present all the essential elements for planning water reuse actions, including potential studies, financing modalities and definition of partnerships.

Keywords: project planning; conception study; term of reference; partnerships; contracting.

1. INTRODUÇÃO

Historicamente, a gestão de recursos hídricos se apresenta dissociada da gestão de saneamento básico no Brasil. Mais recentemente, com a publicação do novo Marco Legal do Saneamento no país, pela Lei 14.026/2020 (BRASIL, 2020a), as atribuições de elaboração e implantação de normas de referência para a regulação do setor saneamento, conjuntamente com o setor de recursos hídricos, foram destinadas à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (anteriormente à publicação da Lei 14.026/2020 designada somente por Agência Nacional de Águas). É nesse contexto que se espera um desenvolvimento mais harmonioso e integrado da gestão de saneamento e recursos hídricos, no país, nos próximos anos.

A universalização dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no Brasil, conforme previsto no ODS.6 (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6) na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (UN, 2018), encontra-se ainda longe de ser alcançada: somente 61,9% do esgoto sanitário gerado é coletado e, desse montante, somente 54,1% são encaminhados até uma estação de tratamento de esgoto (ANA, 2020). Esse cenário contribui de maneira bastante negativa para a indisponibilidade hídrica que atualmente acomete algumas regiões do país, nomeadamente o Semiárido, em função da sua escassez natural de recursos hídricos, e a região Sudeste, em função do consumo elevado de água e o considerável montante de água poluída nos corpos hídricos.

Passa-se então a vislumbrar o esgoto sanitário como uma importante fonte de água para minimizar os impactos do estresse hídrico, que atualmente dificultam o desenvolvimento socioeconômico de algumas regiões, impactam a produção de alimentos provenientes do setor agrícola, geram conflitos pelo uso da água e deixam cidades inteiras sem água por períodos muitas vezes prolongados. Segundo (ANA, 2020), dos 5.570 municípios brasileiros, 2.848 decretaram situação de emergência ou estado de calamidade pública, por falta de água, no ano de

2019, sendo 1.438 situados na região Nordeste do país.

Porém, para que a prática de reúso de água a partir do esgoto sanitário seja sistematizada e institucionalizada, é necessário um esforço conjunto de planejamento técnico estratégico, que passa pelo desenvolvimento de estudos de avaliação de potencial regional de reúso de água. Em algumas regiões do país, essa fonte alternativa, pode ser responsável pela garantia de água aos diferentes usos múltiplos pretendidos na região do estudo.

Apesar desse cenário de insegurança hídrica no Brasil, Santos e Vieira (2020) afirmam que caminhos estão sendo traçados para a implementação do reúso de água no alívio das pressões sobre os recursos hídricos, ao estimarem que aproximadamente 1,5% do esgoto tratado no país é reutilizado de maneira planejada. Entretanto, avanços mais robustos devem ser aplicados e acelerados, considerando-se a segurança, a responsabilidade e o planejamento a partir do diagnóstico do potencial de reúso em um determinado contexto regional.

Planejamento pode ser entendido como um conjunto de processos, técnicas e atitudes administrativas que possibilitam a avaliação e o entendimento da aplicabilidade de um determinado projeto para uma tomada de decisão no presente, acarretando efeitos no futuro (ECHTERNACHT e QUANDT, 2017). As decisões tomadas no presente, refletem ações no futuro e o planejamento adequado alinha as expectativas, reduz os riscos e as incertezas e favorece o alcance dos objetivos. No setor saneamento, os processos de planejamento, quando existem, são morosos, incipientes, burocráticos e muitas vezes ineficazes. Segundo Leite e Rezende (2010), os gestores responsáveis pela prestação dos serviços públicos, onde se enquadram os de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, devem aproveitar as oportunidades geradas pelo avanço das tecnologias da informação/comunicação e acesso às informações necessárias, estratégicas, precisas e personalizadas para que se possa realizar uma confiável tomada de decisão.

Os estudos de potencial de reúso podem ser encarados como uma importante etapa de planejamento e absolutamente necessários para a garantia do sucesso dos empreendimentos, não devendo ser negligenciados. Para isso, as etapas de implantação passam por caminhos técnico e jurídico-administrativo. O primeiro trata da organização de um projeto com seus objetivos e fontes de financiamento até a elaboração técnica do termo de referência (TR). O segundo transforma o TR em distintos objetos de contratação, quer em ambiente público ou privado. Diante dos diferentes caminhos jurídico-administrativos possíveis, os autores se limitaram, no presente texto, somente à abordagem técnica.

O conjunto das Notas Técnicas (NT), perfazendo quatro conteúdos, tem como principal objetivo a **proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água no Brasil**. Seu foco principal é a inserção dessa fonte alternativa na matriz hídrica regional dentro do território nacional, de forma a propiciar o avanço do planejamento dos recursos hídricos e saneamento, como também, auxiliar gestores e tomadores de decisão. A presente Nota Técnica (**NT02**) tem como objetivo a abordagem técnica do planejamento estratégico relacionado ao desenvolvimento de estudo de avaliação do potencial regional de reúso de água.

2. ADMINISTRAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO NO BRASIL

Com a publicação da Lei 14.026/2020 que, atualiza o marco regulatório do saneamento no Brasil (BRASIL, 2020a), o país inicia uma trajetória de transformação da administração dos serviços de saneamento. Até o momento, a participação pública na administração do setor é bastante superior à participação privada (BRASIL, 2020b). Entretanto, esse cenário poderá ser alterado nos próximos anos, em função do estabelecimento da necessidade de licitação na concessão dos serviços de saneamento, no novo marco regulatório (BRASIL, 2020a). Cabe ressaltar que isso não significa a privatização do setor e sim, a possibilidade da maior inserção privada, já que tanto as empresas públicas como as privadas estão aptas a participarem dos processos licitatórios; esse cenário não se enquadra à administração direta.

Atualmente, as instituições que prestam serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário à população, no Brasil,

também conhecidas como prestadoras de serviço, podem ser de abrangência regional, microrregional ou local, cabendo a titularidade dos serviços sempre ao município. Quanto à organização jurídico-administrativa, são classificadas como administração direta, autarquia, sociedade de economia mista, empresa pública, empresa privada e organização social (BRASIL, 2020b). Em relação somente ao serviço de esgotamento sanitário, a ANA classifica a sua organização como sendo realizada de forma indireta (delegação da prestação dos serviços para autarquia municipal, companhia estadual ou concessionária privada) ou de forma direta (sem prestador de serviço institucionalizado) (ANA, 2017).

Na Tabela 1, encontram-se apresentados dois aspectos relevantes para o entendimento da predominância da administração pública nos serviços de saneamento, até o momento: i) distribuição das prestadoras de serviço, segundo a abrangência jurídico-administrativa; ii) cálculo da participação percentual de empresas no setor da administração pública e da administração privada. O primeiro aspecto refere-se às instituições participantes do SNIS 2019 (BRASIL, 2020b) e o segundo aspecto é resultado de um cálculo simples, por parte dos autores.

Observa-se claramente a larga maioria da participação pública (acima de 90% das empresas prestadoras de serviço) em relação à participação privada no setor saneamento no Brasil, até o ano de 2019. Mesmo com a publicação do novo marco regulatório, a inserção da participação privada tende a ser lenta. Em relação à administração direta, apesar do número considerável de prestadoras de serviço indicadas na Tabela 1 (1063 de abrangência local), em 2017, dos 5.570 municípios brasileiros, 2.588 (equivalente a pouco mais de 10% da população urbana brasileira), enquadrava-se nesse modelo, enquanto 2.982 (equivalente a 88,9% da população urbana do país) enquadravam-se na forma indireta de administração (ANA, 2017).

Diante do atual cenário de elevada participação pública na prestação de serviços de saneamento básico no Brasil e da real possibilidade da inserção privada no sistema, se pretende, com essa Nota Técnica, descrever as etapas técnicas normalmente necessárias para o desenvolvimento de projetos de avaliação de potencial de reúso de água em regiões do território nacional. Conforme destacado na **NT01**, trata-se de uma etapa de grande relevância para a aplicação segura e eficiente do reúso de água,

com vistas à sua institucionalização no país.

3. ETAPAS

A complexidade e a exigência de uma quantidade maior ou menor de etapas a serem realizadas no estudo de potencial, depende da dimensão do projeto, do custo envolvido e das exigências e diretrizes internas da instituição responsável. Porém, algumas etapas padrão são fundamentais para a viabilidade do projeto.

De forma a facilitar a disseminação do conhecimento e para o melhor entendimento do público-alvo, foram listados e discutidos os principais aspectos relativos aos processos

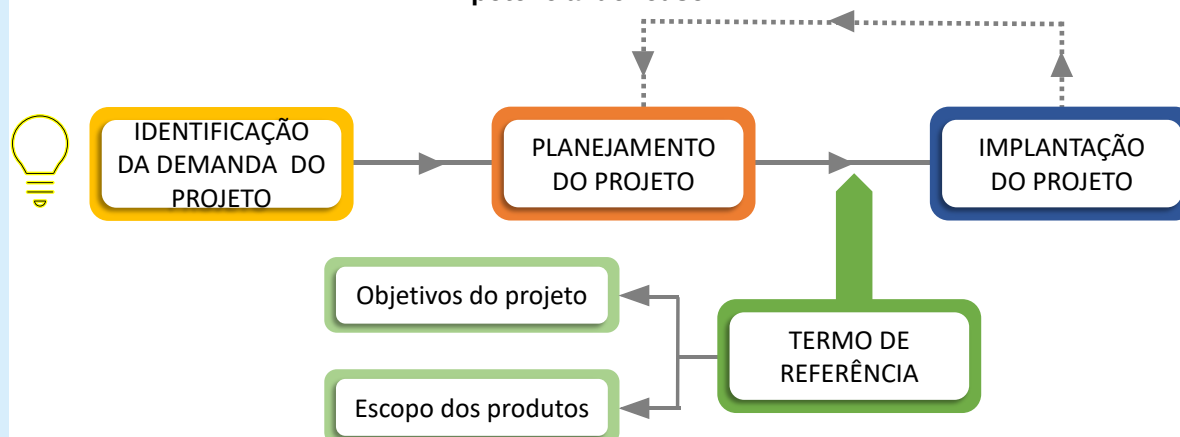
necessários que possibilitem a efetivação de um projeto na escala desejada (Figura 1). As etapas que compõem tais processos abordam: 1) a identificação da demanda de projeto com a sua devida contextualização; 2) o planejamento do projeto, contemplando a busca por parcerias e fontes de financiamento; 3) os pormenores da elaboração de um termo de referência, juntamente com a clara definição dos objetivos e dos produtos esperados; e 4) a implantação do projeto, que por sua vez é também objeto de um novo planejamento. Ressalta-se que as etapas listadas na presente Nota Técnica foram baseadas na experiência dos autores.

Tabela 1: Distribuição das prestadoras de serviço participantes do SNIS 2019 e participação percentual de administração pública e privada no setor saneamento

Organização Jurídica	Abrangência			Total
	Regional	Microrregional	Local	
Administração direta (D)	0	0	1063	1063
Autarquia (I)	2	3	421	426
Sociedade de economia mista (I)	24	0	6	30
Empresa pública (I)	1	0	5	6
Empresa privada (I)	1	5	104	110
Organização social (I)	0	0	5	5
Total	28	8	1604	1640
Percentual público (%)	96,4	37,5	93,5	93,3
Percentual privado (%)	3,6	62,5	6,5	6,7

Fonte: Dados extraídos de Brasil (2020b); Observações: D – Administração Direta ANA (2017), I – Administração indireta ANA (2017).

Figura 1: Fluxograma das etapas básicas para realização de estudos de diagnóstico de potencial de reúso



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1. IDENTIFICAÇÃO DA DEMANDA DO PROJETO

O projeto, em geral, nasce de uma ideia, que por sua vez nasce de uma demanda específica. Essa demanda deve ser fruto de um planejamento de ações integradas do Estado que envolve as prestadoras de serviços de saneamento (públicas e privadas, de administração direta e indireta), os órgãos gestores de recursos hídricos, de meio ambiente e de saneamento, os demais órgãos públicos relacionados ao desenvolvimento socioeconômico da região, além das associações representantes da sociedade civil.

No âmbito da prestadora dos serviços de saneamento básico, as ações e as decisões relacionadas à prática de reúso de água não podem ser aleatórias e devem fazer parte desse planejamento integrado, levando em consideração os aspectos da prestação dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Ainda, em geral, esse tipo de serviço pode envolver uma contratação externa, de consultoria específica e especializada, com requerimento inclusive, de comprovação técnica.

Assim, para o planejamento das ações, é necessária uma contextualização sobre o tema, levantando a importância da execução do estudo. Trata-se de uma abordagem da problemática de maneira geral e com dados específicos da região de estudo, que justifiquem o objeto do contrato, tais como os principais aspectos ambientais, culturais e socioeconômicos da região, os aspectos legais relacionados ao tema, dados gerais de disponibilidade hídrica e dos principais usuários de água, características básicas de precipitação e evapotranspiração, índice de cobertura dos serviços de esgotamento sanitário e abastecimento de água, existência de ETES candidatas a serem produtoras e fornecedoras de água de reúso, e outros assuntos que a equipe de planejamento considerar relevantes.

A contextualização também deve abordar os maiores entraves para a efetivação da prática de reúso, no contexto regional da avaliação. Essa abordagem tem que levar em consideração a percepção dos atores sociais envolvidos na prática do reúso, que vão desde os tomadores de decisão até os usuários. Ainda, o caminho técnico, até a contratação da consultoria externa, é de responsabilidade da contratante e começa pelo planejamento do projeto, que deve estar bem alinhado com as expectativas de resultados.

3.2. PLANEJAMENTO DO PROJETO

Após a identificação da demanda, iniciam-se os esforços para o delineamento, o planejamento e a concepção do projeto. No contexto do saneamento básico, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou duas Normas Brasileiras, a NBR 9648:1986 (ABNT, 1986) e a NBR 12211:1992 (ABNT, 1992), para sistemas de esgotamento sanitário e para sistemas de abastecimento de água, respectivamente, que indicam ferramentas relevantes para a concepção e a estruturação de projetos dessas naturezas. Em ambos os documentos citados são destacados **requisitos gerais** que devem ser avaliados e **atividades técnicas específicas** que devem ser definidas e executadas. Assim, no Quadro 1, estão apresentadas algumas dessas ferramentas que foram compiladas e outras que foram agregadas (**atividades administrativas específicas**) pelos autores para orientar o desenvolvimento do planejamento do projeto de avaliação do potencial regional de reúso de água. O planejamento ainda deve envolver aspectos relacionados às alterações climáticas, que na época do desenvolvimento das normas citadas, o assunto não tinha a relevância que tem atualmente.

É importante destacar que não é absolutamente necessário que todos esses elementos estejam alinhados e com respostas claras e definidas, na fase de planejamento do projeto. Porém, é importante que eles sejam mencionados e estudados ainda nessa etapa, para que aqueles que não estiverem alinhados, sejam incluídos com algum destaque no TR, como produto esperado da contratada.

Todos esses elementos em conjunto levam a diferentes concepções de projeto e, nessa fase de planejamento, podem viabilizar ou não o avanço da avaliação do potencial regional de reúso de água. No desenvolvimento, outras concepções podem surgir, como a transposição de bacias e a busca por outras fontes de água, alternativas ou não, mas diferentes da água de reúso. Assim, a fase de planejamento do projeto deve ser muito bem trabalhada para que diferentes concepções compatíveis entre si sejam definidas, de forma a facilitar a escolha da concepção básica que será objeto do TR. Observa-se que neste momento é fundamental a proximidade entre os técnicos da área de esgotamento sanitário e os da área de abastecimento de água, como propõe o conceito *one water* (única água) destacado na **NT04**, de

forma a formularem propostas mais ponderadas, racionais e econômicas.

Novamente, chama-se a atenção para o nascimento da ideia, que parte do conhecimento de uma demanda específica. No caso dos estudos de avaliação de potencial regional de reúso de água, o principal propulsor é a escassez hídrica (perene ou sazonal) que demanda um planejamento adequado. Há situações em que a demanda se dá não por condições atuais de falta

de água, e sim em função de previsões futuras de estresse hídrico causado, principalmente, pelo crescimento populacional, pela poluição dos corpos hídricos existentes, pelas condições climáticas locais desfavoráveis e pelas mudanças climáticas globais. Por isso, é imprescindível que esse planejamento esteja alinhado com a necessidade de confrontamento dos fatores previamente identificados pelo gerenciamento dos recursos hídricos.

Quadro 1: Ferramentas para concepção e estruturação do projeto de avaliação do potencial regional de reúso de água

Item	Detalhamento
Requisitos iniciais	
Características físicas, ambientais e geomorfológicas	Dados quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos (corpos receptores e mananciais de captação), características de relevo, conhecimento preliminar das características do solo, fauna e flora.
Informações meteorológicas	Dados históricos de temperatura, precipitação, evapotranspiração, ventos e insolação.
Dados demográficos	População atual, taxa de crescimento populacional, densidade demográfica, distribuição populacional em áreas urbanas e rurais.
Sistemas existentes	Conhecimento dos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário existentes, bem como suas condições gerais de operação e manutenção.
Características de uso do solo	Tipos de ocupação atual e prevista, bem como planos diretores e documento similares de planejamento do uso do solo. Avaliação da existência de cadastros rurais, urbanos e de uso da água.
Desenvolvimento socioeconômico	Situação atual da região, bem como avaliação de crescimento e possibilidade de desenvolvimento nos setores comercial, industrial e agropecuário.
Aspectos legais	Avaliação do quadro legal nas esferas municipal, estadual e federal, relacionado ao tema do projeto.
Atividades técnicas específicas	
Definição do objetivo e da metodologia do estudo	Na fase inicial do planejamento, muitos objetivos são levantados. Posteriormente às reflexões técnicas, somente os principais devem ser escolhidos, de forma a delimitar a abrangência. Ainda, a definição de uma metodologia clara de trabalho alinha as expectativas com os produtos finais.
Delimitação da área	Realizada de acordo com o escopo do projeto, com o tipo de administração dos serviços de saneamento (direta ou indireta) e com a abrangência: bacia hidrográfica, bacia sanitária, zoneamento rural x urbano, município e estado.
Alcance do projeto	Estimativa de início e fim do desenvolvimento do projeto de potencial e de início de implantação do empreendimento. Operação de projeto piloto deve ser levada em consideração.
Estimativa preliminar de vazões a serem consideradas	Vazões atualmente em operação nos serviços que demandam uso de água, assim como vazões esperadas.
Avaliação preliminar de impactos ambientais	Levantamento de aspectos ambientalmente relevantes, ainda na fase de planejamento do projeto.

Item	Detalhamento
Estimativa de valores	Estimativa preliminar de valores, ainda sem formalização, para reflexão em relação às possíveis fontes de recursos.
Atividades administrativas específicas	
Setores da organização envolvidos	Todos os setores envolvidos e principalmente os que serão responsáveis pela gestão e fiscalização do contrato.
Recursos (não financeiros) disponíveis	Espaços físicos de trabalho (quando for o caso), bancos de dados, fontes de consulta, relatórios históricos e outros que favoreçam o trabalho dos desenvolvedores do projeto.
Parcerias de cooperação técnica	As parcerias, além de proporcionarem rapidez e eficiência na transferência de conhecimento técnico entre as partes, trazem celeridade aos processos de contratação inerentes ao desenvolvimento de um projeto no ambiente público. Ressalta-se ainda o papel da Universidade com considerável conhecimento científico sobre o tema, e possibilidade de desenvolver parceria em projeto de pesquisa aplicado.
Financiamento	Destacado como item específico

Fonte: Adaptado de (ABNT, 1986) e (ABNT, 1992).

Em geral, esses fatores estão relacionados à demanda reprimida de áreas agrícolas ou industriais, à expansão de novos empreendimentos com necessidade de grandes quantidades de água, ou ainda às áreas extremamente urbanizadas, onde os corpos hídricos já se encontram em níveis elevados de poluição e, portanto, não suportam o acréscimo de novos lançamentos de efluentes mesmo que tratados (ANA, 2020). Muitas vezes essas demandas são conjuntas no gerenciamento de uma bacia hidrográfica e, neste caso, a água de reúso pode ser a grande responsável pela minimização de conflitos pelo uso da água (MELO et al., 2020). Na maioria dos projetos se avalia inclusive a quantidade de água que deixa de ser retirada dos mananciais, favorecendo usos mais nobres como o abastecimento público. Embora sejam esses os motivos mais frequentes, as possibilidades de fundamentação da necessidade do projeto são muitas e devem se basear em pelo menos um dos aspectos técnico, econômico, ambiental e/ou social.

Tipos de financiamento

Conforme mencionado anteriormente, um item que merece destaque no projeto é o seu financiamento, considerando-se desde a fonte de fomento, até a forma de financiamento, as contrapartidas do órgão, entre outros.

Importante lembrar que a atualização do Marco Legal, Lei nº 14.026 de 2020 incentiva projetos de reúso de água a partir de estações de

tratamento de esgotos, que necessariamente serão viabilizados economicamente por diferentes formas de financiamento. Segundo Brasil (2020a), os contratos relativos à prestação dos serviços públicos de saneamento básico deverão dispor sobre metas de eficiência e de uso racional da água, do reúso de água, e sobre possíveis fontes de receitas alternativas, complementares ou acessórias, bem como as provenientes de projetos associados, incluindo, entre outras, a alienação e o uso de efluentes sanitários para a produção de água de reúso, com possibilidade das receitas serem compartilhadas entre o contratante e o contratado, caso aplicável.

Assim, alguns tipos de financiamento estão aqui destacados para que possam viabilizar economicamente a implantação de estudos sobre potencial de reúso em qualquer região do Brasil, seja ente público, privado ou microempresas. São eles: BNDES Finem - Saneamento ambiental e recursos hídricos, Programa Saneamento para Todos da CAIXA e FINISA - Financiamento à Infraestrutura e ao Saneamento da CAIXA. O objetivo dos autores nessa seção é tão somente o de demonstrar alguns caminhos, mas ressalta-se que muito outros similares encontram-se à disposição, inclusive em órgãos internacionais.

BNDES Finem - Saneamento ambiental e recursos hídricos

No âmbito do BNDES Finem, podem participar empresas sediadas no país, fundações, associações e cooperativas, entidades e órgãos

públicos. As condições de financiamento dependem do porte do cliente, a partir de uma receita operacional bruta anual, mínima de R\$ 360 mil /ano. Assim, de acordo com BNDES (2020), nesse programa de financiamento, os estudos sobre o potencial regional de reúso podem ser enquadrados dentro do grupo de serviços nacionais em duas categorias, conforme detalhado no Quadro 2.

O Programa Saneamento para Todos, da Caixa Econômica Federal, visa financiar empreendimentos ao setor público e ao setor privado com recursos oriundos de Fundo de

Garantia do Tempo de Serviço - FGTS e da contrapartida do solicitante. Se enquadram na categoria de “setor Público”, os estados, municípios, Distrito Federal, concessionárias públicas de saneamento, consórcios públicos de direito público e empresas públicas não dependentes. No “setor privado” enquadram-se as concessionárias ou sub-concessionárias privadas de serviços de saneamento básico, ou empresas privadas, organizadas na forma de sociedade de propósito específico para o manejo de resíduos sólidos e manejo de resíduos da construção e demolição.

Quadro 2: Detalhamento das categorias do programa de financiamento “BNDES Finem” apropriadas aos estudos de avaliação de potencial regional de reúso de água

Item	Detalhamento	
	Inclui	Não inclui
Serviço técnico especializado Estudos e projetos	Estudos e projetos de engenharia básica, engenharia detalhada, plano de urbanismo, plano de revitalização e similares, prévios à implantação do empreendimento, mesmo os realizados por equipe própria.	Gastos regulatórios ou com licenciamento, gastos pré-operacionais, e serviços técnicos especializados (consultorias e certificações). Estes podem ser incluídos em outras modalidades.
Serviço técnico especializado P&D	Contratação de serviços relacionados à pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, processos e serviços, bem como contratação de testes e ensaios em projetos de P&D.	Remuneração de equipe própria do projeto, tais como: gastos com mão-de-obra diretamente relacionada ao projeto, inclusive equipe própria de P&D.

Fonte: Adaptado de (BNDES, 2020).

Programa Saneamento para Todos (CAIXA)

Nesse programa, os estudos sobre o potencial de reúso local podem ser enquadrados dentro da modalidade “Estudos e Projetos” que se destinam a diversas produções, como: planos municipais e regionais relativos ao saneamento básico, estudos de concepção e projetos para empreendimentos com foco nas áreas de saneamento básico, manejo da construção e demolição e preservação de mananciais.

Ressalta-se que, de acordo com CAIXA (2020), a modalidade de esgotamento sanitário é destinada ao incentivo para elevar os índices de coleta, tratamento e destinação final adequados de efluentes. Novamente levanta-se a importância de se indicar a prática de reúso de água como uma

forma adequada de destino final de águas residuárias.

FINISA – Financiamento à infraestrutura e ao saneamento (CAIXA)

A FINISA auxilia no aumento na qualidade da vida da população, através da geração de empregos e renda por meio de diversos empreendimentos de infraestrutura contempladas por essa linha de financiamento (CAIXA, 2020). As modalidades abrangidas pela FINISA são as de estudos de viabilidade técnico-econômica de reúso nos municípios, estados e no Distrito Federal. Nesse tipo de financiamento, o ente público pode reivindicar recursos de apoio financeiro em ações orçamentárias em

andamento, como, por exemplo, investimentos em infraestrutura, construção de escolas, hospitais, entre outros.

3.3. ELABORAÇÃO DE TERMO DE REFERÊNCIA

O termo de referência (TR) é um objeto importante do processo de contratação de consultoria externa e de desenvolvimento de estudos internos, tanto na administração pública como na privada, que visa norteá-la. Assim, o TR deve ser produzido a partir de estudos preliminares e conter elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado para caracterizar o objeto da contratação (BRASIL, 1993).

No contexto do saneamento básico, onde se enquadra a prática de reúso de água, a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) publicou em 2018 o documento intitulado “Termo de Referência para Elaboração de Plano Municipal de Saneamento Básico”, que tem forte relação com o objeto de estudo do presente conjunto de Notas Técnicas, embora seja direcionado especificamente à elaboração dos planos municipais de saneamento básico (FUNASA, 2018). Nesse documento, a FUNASA indica os seguintes recortes que podem também ser aplicados ao estudo de avaliação de potencial regional de reúso de água: **substantivo**, **territorial** e **temporal**. O **recorte substantivo** indica a abrangência ou o serviço de reúso de água a ser prestado no contexto da gestão de recursos hídricos e saneamento; o **recorte territorial** indica o espaço físico de abrangência do estudo (nas áreas rurais e urbanas), tais como município, estado, bacias hidrográficas e/ou de esgotamento, áreas agrícolas, distritos industriais; o **recorte temporal** refere-se à abrangência do horizonte do projeto (FUNASA, 2018). Todos os três recortes, conjuntamente, definem o objeto principal do TR que deve ser claro, objetivo e específico para o que se espera.

Destaca-se que a elaboração do TR, bem como a concepção anteriormente apresentada, deve buscar articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e rural, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de recursos hídricos e saneamento, de promoção à saúde, de segurança alimentar e outras, de relevante interesse socioeconômico, voltadas para a melhoria da qualidade de vida e da minimização dos impactos da indisponibilidade hídrica.

No TR são delimitadas as responsabilidades da contratante e da contratada, produtos esperados, cronograma de entregas, formas de pagamento e os valores dos produtos. De acordo com Brasil (1993), e adaptado ao contexto desse conjunto de Notas Técnicas, o TR deve expressar as informações diversas levantadas em torno de um dado objeto ou serviço, que servirá tanto como fonte para guiar a aquisição ou a contratação dos serviços almejados, como para o desenvolvimento de estudos internos, na própria instituição. Para tanto, o TR deve conter elementos necessários e suficientes, com nível de precisão adequado, para caracterizar o objeto da contratação, elaborado com base nas indicações dos estudos técnicos preliminares, que assegurem a viabilidade técnica e ambiental, e que possibilite a avaliação do custo do serviço e a definição dos métodos e do prazo de execução.

No caso da avaliação do potencial de reúso em uma determinada região, são fundamentais a descrição do conhecimento geral e específico (estado da arte) e a contextualização do arcabouço legal na região em que o projeto será desenvolvido. As muitas regiões do território brasileiro são marcadas por grandes diferenças ambientais, culturais e socioeconômicas, que demandam avaliações específicas para conhecimento aprofundado dessas particularidades locais.

Atualmente, é comum no Brasil o desenvolvimento de projetos de sistemas de esgotamento sanitário e de abastecimento de água que não levam em consideração as particularidades locais e regionais, muito menos um estudo de concepção que considere a possibilidade do reúso de água. Esse é um dos principais motivos pelos quais muitos desses sistemas operam de forma insatisfatória no país (MORAES et al., 2020). Nesse sentido, o TR para realização de estudos de potencial de reúso de água deve exigir a contextualização regional, de forma a garantir a aplicabilidade real dos projetos provenientes do estudo de potencial. É neste momento, de elaboração do TR, que essas necessidades são amarradas e as expectativas são alinhadas, para o alcance dos objetivos pretendidos.

Um TR incompleto ou inconsistente leva à dificuldade de se selecionar a proposta mais vantajosa e/ou a um contrato sem mecanismos adequados para a gestão contratual. Esse cenário tem como consequência o não alcance dos objetivos inicialmente elencados na fase de

planejamento do projeto e o desperdício de recursos.

Por fim, um ponto a se destacar na elaboração do TR é que ele deve ser o mais sucinto e objetivo possível, a fim de não trazer dúvidas à contratação e execução dos serviços contratados. Entretanto, devem ser considerados todos os elementos necessários para o adequado desenvolvimento do projeto e, neste caso, é melhor “pecar pelo excesso do que pela omissão”. Na presente Nota Técnica, são sugeridas as abordagens para os **objetivos do projeto** e o **escopo dos produtos**, mas ressalta-se que outros elementos importantes e direcionados a cada projeto devem ser incorporados, tais como cronograma, regras da contratação, formas de pagamento, valores financeiros associados, entre outros.

Objetivos do projeto

Os objetivos, alinhados às expectativas da fase de planejamento do projeto, devem ser divididos em **geral** e **específicos**, de forma a facilitar tanto o entendimento por parte da contratada, como o delineamento dos produtos esperados.

O **objetivo geral** aborda a questão principal do certame, que, neste caso, trata-se de um estudo de avaliação e/ou de diagnóstico, a fim de explorar as potencialidades de reúso de água a partir de efluente de estações de tratamento de esgotos da região de estudo. Os **objetivos específicos** propõem um delineamento das ações que levarão ao alcance do objetivo geral, a partir da confecção dos produtos definidos. Assim, os objetivos gerais devem abranger os seguintes aspectos, que devem ser adaptados de acordo com as particularidades de cada escopo:

- Apresentar um estado da arte sobre aspectos legais, práticos e tecnológicos de reúso de água no Brasil e no mundo, de forma a esclarecer o contexto do estudo e subsidiar as tomadas de decisão. Detalhes dos aspectos legais podem ser observados na **NT01**;
- Identificar e caracterizar as ETEs em funcionamento ou em planejamento de implantação, com vistas à adaptação para produção de água de reúso para diferentes finalidades (**NT03**);
- Estudar e apresentar diferentes opções de tecnologias para adequação de ETEs

em operação e em fase de projeto, à produção de água de reúso para diferentes finalidades. Nesse caso é imprescindível que se levem em consideração, tecnologias adequadas às características locais da área de estudo. Para isso, os projetos de PD&I (Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação) podem ser de grande valia para fomentar a redução da dependência tecnológica que atualmente impõe especificidades extremamente avançadas para a condição brasileira, custos de importação de insumos elevados e manutenibilidade dos equipamentos comprometida.

- Identificar e caracterizar qualitativa e quantitativamente as principais demandas de água da região de estudo, atuais e futuras, considerando-as como os potenciais usuários da água de reúso (**NT03**);
- Definir particularidades relacionadas aos ambientes urbano e rural, que necessariamente adotam diferentes premissas para a reutilização de água. É importante referir que em ambos, os sistemas podem ser descentralizados (exemplos nas **NT01**). Em ambiente rurais, destacam-se as unidades agrícolas familiares para os sistemas descentralizados. Para o caso dos ambientes urbanos, apresenta-se uma abordagem de tendência na **NT04**, ao considerar como desafio, a gestão integrada de águas residuais, com a interrelação entre os sistemas centralizados e os descentralizados;
- Para o caso específico do reúso de água na agricultura, mapear os produtores rurais e suas principais características, como tipos de culturas a serem irrigadas, quantidade de água necessária, qualidade exigida para a água, períodos específicos que demandam irrigação, equipamentos utilizados na irrigação e outros;
- Definir e apresentar critérios para o desenvolvimento da cultura de conservação, uso racional e reúso de água na região de estudo. Este é um dos principais desafios apresentados na **NT04**, no contexto da “capacitação continuada”;

- Dependendo do porte do projeto, é interessante solicitar a produção de mapas, conforme apresentado na **NT03**, utilizando a ferramenta SIG, para georreferenciamento, minimamente dos potenciais produtores e usuários da água de reúso. De maneira mais aprofundada, é possível ainda delimitar distâncias entre eles, definir regiões com exigências de diferentes qualidades de água, tipos de culturas a serem irrigadas no ambiente rural, de forma a facilitar a tomada de decisão para a implantação dos futuros projetos de reúso;
- Definir aspectos relacionados à implantação de projeto-piloto, tais como área prioritária, ETE de estudo, usuário específico e outros. Nesse caso, a Universidade ou um centro de pesquisa pode ser um importante aliado na condução do monitoramento do projeto-piloto (**NT04**);
- Realizar estudo de viabilidade econômica do reúso de água, definindo os índices financeiros e informando os custos fixos, variáveis, ponto de equilíbrio, investimento etc. O foco é avaliar se o novo empreendimento será de fato sustentável economicamente na região.
- Por fim, pode ser interessante ainda, finalizar o estudo de potencial, com a apresentação de um TR (de projetos básico e executivo) e de um orçamento já com vistas à efetivação da prática de reúso de água no âmbito do projeto-piloto ou do projeto real, de acordo com o porte do estudo.

É fundamental uma clara definição dos objetivos para o projeto, uma vez que o documento é a interface entre o proponente e o executor. Portanto, essa etapa e a seguinte, de definição do escopo dos produtos, são essenciais para o sucesso do estudo.

Escopo dos produtos

Os produtos são divididos por temas a fim de facilitar a gestão do contrato, com o atendimento claro aos objetivos propostos inicialmente, em uma ordem cronológica também definida no planejamento do projeto. A divisão dos produtos por tema e por ordem cronológica é estratégica por

favorecer o andamento do estudo, facilitar a disponibilização de dados que estão sob a tutela do contratante, e apoiar o pagamento dos serviços a partir da entrega e aprovação de cada produto.

Nesse momento, uma forma interessante de amarração dos objetivos aos produtos, e posteriormente ao cronograma, é indicar no escopo de cada produto os objetivos que se almejam alcançar em cada um; o mesmo pode ser realizado na elaboração do cronograma. Essa ação permite aos gestores e à equipe responsável pela elaboração do TR, uma avaliação mais aprofundada sobre a abrangência dos aspectos inicialmente definidos como objeto do estudo. Ainda, sugere-se a criação de um *check list* para garantir que todos os aspectos discutidos e aprovados na fase de planejamento do projeto tenham sido contemplados em todos os produtos.

Destaca-se que independentemente da definição do escopo de cada produto, o primeiro deles deve ser o **Plano de Trabalho**, que deve ser apresentado após a conclusão do certame e assinatura da ordem de serviço com a contratada. Trata-se de uma etapa essencial para um novo planejamento (já voltado para a execução do objeto) e para a correta condução do estudo. O Plano de Trabalho é a materialização do planejamento, contemplando todas as atividades estabelecidas no escopo de cada produto do TR. Nesse produto, a contratada deverá apresentar de forma detalhada, *como, quando e por quem* serão realizadas as atividades.

Na definição do escopo desse produto (Plano de Trabalho), que norteará o desenvolvimento dos demais, é possível definir aspectos básicos a serem nele contemplados, tais como:

- Descrição das atividades que serão executadas, com suas respectivas especificidades.
- Cronograma detalhado e baseado naquele mais abrangente definido no TR; quando possível, devem ser alocadas as reuniões de grande porte e os eventos de gestão participativa, quando couber.
- Organograma básico que reflita as ações e seus respectivos responsáveis, por parte da contratada; se possível e a depender do porte do estudo, podem ser definidos os pares da contratante responsáveis pelas ações.
- Métodos ou metodologias de desenvolvimento das atividades propostas para desenvolvimento dos

demais produtos; devem ser bem estruturados, com a aprovação da contratante, de forma a garantir a exequibilidade do estudo, com a participação efetiva de todos os envolvidos, no recorte temporal proposto.

Para efeito de ilustração e facilitação do entendimento, no Quadro 3 estão apresentados os produtos e seus respectivos escopos, definidos no TR do projeto conduzido pela Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA), no período compreendido inicialmente entre outubro de 2019 e novembro de 2020, intitulado “Diagnóstico do potencial de reúso de efluentes no estado da Bahia” (EMBASA, 2019). Por motivo de acréscimo de um novo produto (Resumo executivo), no decorrer do desenvolvimento do projeto o prazo final foi alterado para janeiro de 2021. Esse TR, por ser de acesso público, está apresentado no Material Suplementar da presente Nota Técnica.

Embora os autores tenham indicado na **NT01** que o termo correto a ser utilizado para designar a prática seja “reúso de água”, em detrimento ao termo “reúso de efluente”, o segundo foi adotado no Quadro 3, de forma a refletir com fidelidade os produtos definidos no estudo citado. Ainda para efeito de esclarecimento, o objetivo geral desse estudo foi a realização de um diagnóstico de potencialidades do reúso de água a partir dos efluentes gerados nas ETEs do estado da Bahia, operadas pela EMBASA, identificando, caracterizando, quantificando e qualificando os potenciais produtores (oferta) e usuários (demanda) de água de reúso (EMBASA, 2019).

Destaca-se ainda que os produtos devem ser entregues em linguagem adequada, com informações sistematizadas, em forma de relatórios descritivos, com registros fotográficos, planilhas, gráficos, entre outros elementos julgados necessários para cada produto. Todos esses elementos devem estar explicitados no termo de referência.

Apesar de não abordado diretamente nos Produtos descritos no TR do projeto da EMBASA, os autores recomendam fortemente a inclusão de um, relacionado à *dimensão econômica*, no sentido de se definir critérios para a tarifação da água de reúso. É ela que vai permitir a operacionalização do empreendimento, levando-se em consideração que obviamente, ele deve se pagar ao longo dos anos.

De acordo com Fonseca e Gabriel (2015), a

tarifação de água de abastecimento no Brasil não é uma tarefa simples, não obstante os seus inúmeros benefícios associados principalmente ao estímulo ao uso racional e à consideração dessa como a fonte primária mais adequada e racional para o financiamento dos serviços públicos que admitem essa forma de remuneração.

Segundo Speers (2007), os custos dos prestadores de serviços de saneamento podem ser divididos em: operacionais, de capital e de reposição. Os operacionais envolvem o custo de recursos como materiais de energia, recursos humanos, produtos químicos e aluguéis de espaços; os de capital referem-se ao custo de obtenção de capital, incluindo um retorno sobre o investimento feito; e os de reposição abordam o custo da substituição ou reparação de bens à medida que se gastam.

Nesse contexto, tal como para a tarifação de água de abastecimento, a da água de reúso deve empregar como estratégia da gestão de custo, a identificação e as cadeias de formação dos custos característicos dos 3 setores indicados por Speers (2007), além das estratégias de gestão de demandas, investimentos e políticas tarifárias (ANJOS JR., 2001). Estrutura similar pode ser adotada no caso da água de reúso, onde pesem as particularidades relativas à necessidade de adequação das tarifas à situação socioeconômica dos usuários, como uma característica marcante no Brasil. É preciso, ainda, ter-se em consideração que os custos de produção, reservação e distribuição devem necessariamente estar embutidos na tarifa, de modo a se prever o retorno em tempo razoável no contexto do investimento.

No Brasil, o esquema de reúso de água oferecido pela SANASA, destacado na NT01, apresenta de forma transparente não só o valor da tarifa, como também as modalidades de compra da água de reúso. Atualmente (2021), a SANASA faz entrega de volumes de 7 m³ ou 14 m³, no próprio município de Campinas/SP, com valores correspondentes à R\$ 290,19 e 369,34, respectivamente; ou permite a retirada pelo solicitante, na Estação de Produção de Água de Reúso (EPAR), com caminhão próprio, no valor de R\$ 2,25/m³ (SANASA, 2021).

Em Israel, país conhecido pela exploração eficiente e exitosa da prática de reúso de água, a tarifa da água de reúso para irrigação em 2017, encontrava-se no valor médio de US\$ 0,28, inferior ao de captação da água superficial (US\$ 0,46) e ao da água dessalinizada (US\$ 0,33) (MARIN et al., 2017). De acordo com Araujo et al. (2017),

Israel apresenta tarifas de água para uso na irrigação bem acima do que agricultores pagam na maioria dos países ao redor do mundo, e abaixo dos valores atribuídos à água superficial e à água

dessalinizada no país, incentivando o uso racional da água e o desenvolvimento de práticas agrícolas modernas.

Quadro 3: Produtos definidos no termo de referência do projeto “Diagnóstico do potencial de reúso de efluentes no estado da Bahia” - EMBASA

Produto	Escopo resumido
Produto 1: Plano de trabalho	Deve apresentar a descrição das atividades, cronograma, fluxograma, métodos de desenvolvimento dos serviços e organização para a sua execução, com indicação dos eventos necessários, conforme o escopo básico apresentado no TR.
Produto 2: Diagnóstico do potencial de reúso de efluentes no estado da Bahia	Deve pesquisar, coletar informações, processar e analisar todos os elementos e dados existentes disponíveis e envolvidos na área de estudo, tais como: dados quantitativos e qualitativos das ETEs, potenciais usuários da água de reúso pertencentes à cadeia produtiva da região, dados gerais da área como características socioeconômicas, ambientais e culturais. Deve levantar e apresentar soluções tecnológicas de adequação à qualidade desejada para o reúso e adequadas às particularidades regionais.
Produto 3: Mapa temático com os potenciais de reúso de efluente no estado da Bahia	Deve apresentar mapa temático dinâmico, com acesso fácil e amigável ao conteúdo das informações coletadas, considerando basicamente: localização das ETEs e seus pontos de lançamento, regiões e localidades com potencial para efetivação da prática de reúso (produtores e usuários) e definição e marcação de áreas prioritárias.
Produto 4: Manual de orientações e práticas de reúso de efluente tratado	Deve apresentar modelo padrão, com especificações mínimas, visando a prática de reúso no futuro, descrevendo: qualidade do efluente, tipificação das modalidades de tratamento, formas de armazenamento, sistema de distribuição dos efluentes a serem reutilizados, tecnologia apropriada à especificidade do local e potenciais usuários.
Produto 5: Termo de referência para projeto-piloto de reúso de efluentes no estado da Bahia	Deve apresentar um TR para contratação de projeto básico e executivo de reúso de efluentes, de acordo com as características de uma área identificada preliminarmente durante o desenvolvimento do Produto 2, e com sua escolha devidamente justificada.
Produto 6: Resumo Executivo	Deve ser apresentado um documento com a compilação de todas as informações apresentadas durante o projeto, com ilustrações, gráficos e tabelas que facilitem o entendimento dos leitores. Além de publicizar o projeto, almeja-se apresentar de forma clara e objetiva todo o seu desenvolvimento.

Fonte: Adaptado de EMBASA (2019).

3.4. IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

No Brasil, frequentemente, os projetos de saneamento básico são implantados sem concepção adequada, levando ao incumprimento

dos seus objetivos. E não raro, mesmo quando os estudos de concepção são bem desenvolvidos e formulados com bases sólidas, os projetos acabam não sendo implantados ou sofrendo adaptações para se encaixarem aos recursos

financeiros disponíveis.

Nesse sentido, para garantia da implantação da infraestrutura de uma prática de reúso de água responsável e segura, o estudo de potencial deve apresentar todas as nuances conforme já destacado até o momento. Além disso, para garantia dessa implantação, é necessário que o estudo incorpore instrumentos bem alinhados e estruturados, tanto no contexto da administração pública como no da administração privada.

No exemplo apresentado no Quadro 3, a EMBASA definiu como Produto 5 do estudo de potencialidades contratado, a elaboração de um TR para implantação e operação de um projeto piloto, previamente à sistematização da prática na empresa e no estado. Conforme é destacado na **NT04**, o projeto piloto tem funções específicas de permitir o desenvolvimento de uma experiência prática anteriormente à implantação de projetos definitivos, além de, a partir da publicação de dados transparentes, criar um elo de confiança com os demais envolvidos (produtores, consumidores, reguladores, fiscalizadores e sociedade).

Dependendo do porte do projeto e das condições e das características do estudo de potencial, o projeto piloto não se aplica, apesar da forte indicação (MUKHEJEERE e JENSEN, 2020; ANGELAKIS et al., 2018; FIELDING et al., 2019), principalmente no sentido de ganho de experiência operacional e de confiança dos envolvidos. Nesse caso, um dos produtos da contratação, pode ser o TR para implantação direta do empreendimento. Nesse sentido, o objetivo é primar pela implantação do projeto, considerando todos os aspectos definidos no estudo de avaliação de potencial regional de reúso de água. Seguindo essa lógica o fluxograma da Figura 1 demonstra a interação entre a implantação e o planejamento do projeto.

4. DEFINIÇÃO DAS PRINCIPAIS PARTES INTERESSADAS

Para o início e o bom andamento do projeto, a identificação das partes interessadas é importante no sentido de se realizar ações e manter o engajamento (MARTINS e SOUZA NETO, 2017). Para tal, a seguir são apresentados 6 tipos de parceiros que se configuram como partes interessadas a serem consideradas no desenvolvimento de um estudo de avaliação do potencial regional de reúso de água. Tratam-se, essencialmente, de parceiros institucionais,

relacionados à disponibilização de dados, definição de critérios de licenciamento, regulação e fiscalização, detentores de amplo conhecimento específico sobre o tema e representação da sociedade civil envolvida direta e indiretamente. Para cada projeto, em decorrência de diferentes escopos, abrangências e portes, outras parcerias podem ser incorporadas.

- 1) **Prestadoras de serviço de esgotamento sanitário e de abastecimento de água**, representados por administração direta, autarquia, sociedade de economia mista, empresa pública, empresa privada ou organização social, conforme definido por Brasil (2020b). Essas instituições são fundamentais para o fornecimento de dados relacionados a ofertas e demandas potenciais de água de reúso. As ofertas são representadas pelas ETEs em operação e em planejamento, que se configuram como as principais fornecedoras de água de reúso. As demandas são representadas pelos usuários de grandes quantidades de água no ambiente urbano, que podem representar candidatos a consumidores de água de reúso, tais como distritos industriais, companhias municipais de limpeza urbana, setores da prefeitura responsáveis pela conservação das vias públicas, parques e jardins, empresas que operam (e lavam) veículos especiais, e setores da construção civil.
- 2) **Associações de produtores rurais**, que representam grandes consumidores de água para atividades agrossilvipastoris, e **associações de representação industrial**, que se configuram como grandes consumidores de água em distritos industriais. Os produtores rurais são atores importantes e parceiros primordiais em estudo de avaliação de potencial de reúso de água na irrigação, enquanto as indústrias, no reúso industrial. Assim, devem ser envolvidos desde o início dos estudos, de forma a contribuírem com dados para o desenvolvimento do projeto e no futuro poderem ser efetivos consumidores. Essa participação, ao longo do desenvolvimento do estudo, garante engajamento e maior comprometimento

com as ações de implantação dos projetos no futuro, além de minimizar os impactos da rejeição psicológica natural à prática de reúso, que está abordada com destaque na **NT04**, como um dos principais desafios.

- 3) Além dos fornecedores e usuários, as **entidades regulatórias**, como as secretarias e institutos de meio ambiente, vigilância sanitária, além de agências reguladoras de saneamento, possuem papel importante em projetos de reúso de água. Essas instituições são responsáveis por desenvolver as regulações e regulamentações para aplicação da prática, aspectos de licenciamento e definição de tarifas, assim como, fornecimento de dados para levantamento de demandas, como o cadastro de usuários outorgados em uma bacia hidrográfica de interesse.
- 4) **Universidades e centros de pesquisa** que concentram capacidade técnica e intelectual em relação ao tema. As parcerias com essas instituições, de preferência em convênios e/ou em projetos de PD&I, são bastante bem vindas na condução de pesquisas específicas, combinadas com as demandas do projeto e de se fornecer conhecimento adequado e atualizado para o desenvolvimento exitoso do estudo.
- 5) Às **entidades que atendem à sociedade civil** cabe o papel de representar a sociedade na fiscalização dos projetos e ações. Nessa categoria, destacam-se os comitês de bacia hidrográfica, que possuem grande conhecimento dos recursos hídricos contidos em sua delimitação geográfica; os conselhos de recursos hídricos e meio ambiente, cuja função normativa fornece segurança técnica aos tomadores de decisão; além dos ministérios públicos que possuem papel fundamental na defesa e resolução de conflitos de interesse público. Aqui, destaca-se que os comitês de bacias hidrográficas, por meio de suas agências delegatárias ou órgão executivo, que já administram recursos financeiros advindos da cobrança pelo uso da água, podem ser

executores de projetos desse tipo. Ainda, a sociedade civil deve ser abordada no contexto da gestão participativa dos projetos de recursos hídricos e saneamento básico.

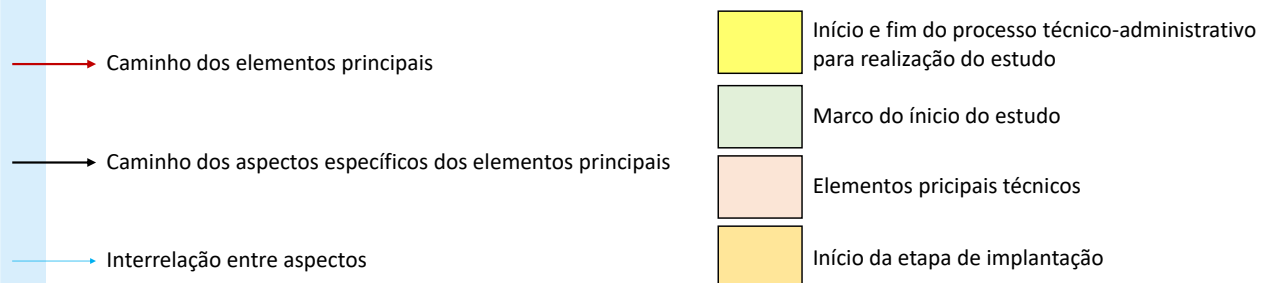
- 6) Por fim, o **governo**, em suas diversas instâncias como, o poder legislativo, ministérios e secretarias relativas ao meio ambiente e recursos hídricos, tem como função o desenvolvimento de propostas de leis, decretos e regulamentos, bem como elaboração, execução e monitoramento de programas e ações relacionados às políticas existentes, visando a aplicação dos recursos financeiros.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os principais aspectos técnicos para elucidar o caminho para a contratação e desenvolvimento de estudos de avaliação de potencial regional de reúso de água no território brasileiro foram abordados e detalhados na presente Nota Técnica. Assim, as considerações finais abordam um roteiro básico, apresentado na Figura 2, que pode ser facilmente adotado pelos desenvolvedores de trabalhos dessa natureza, considerando-se, claro, a inserção de novos elementos, de acordo com as particularidades e porte do projeto. Nela, observam-se os elementos principais, os seus aspectos específicos e as suas interrelações. Essas interações são responsáveis pelas definições e amarrações dos aspectos técnicos de forma a garantir que no caminho jurídico-administrativo não haja perda de qualificação técnica do projeto.

6. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Sr. **César Silva Ramos**, Diretor Técnico e de Planejamento da Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA, por acreditar e incentivar a produção desse conteúdo, bem como à Gerência de Tecnologia Operacional –TDOT, unidade onde está lotado um dos autores desta nota.



Gesta, v. 9, n. 2 – Avelar, Silva Junior e Lima et al., p. 18 - 35, 2021 – ISSN: 2317-563X

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro. 1986.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12.211**: Estudos de concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro. 1992.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas esgotos**: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA, 2017.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília: ANA, 2020.

ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers Environmental Science**, v. 6, n. 26, 2018.

ANJOS JR., A.H. **Gestão estratégica do saneamento**. 1 ed. Barueri: Manole. 2011.

ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; PAVAN, F. Comparativo econômico entre o custo estimado do reúso de efluente de ETE para fins industriais não potáveis em comparação ao valor da água potável para a região sudeste do Brasil. **Exatas & Engenharias**, v. 7, n. 17, 2017.

BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento. **BNDES Finem - Saneamento ambiental e recursos hídricos**. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finem-saneamento-ambiental-recursos-hidricos>. Acesso em 27 jan. 2020.

BRASIL. **Lei Federal n. 8.666 de 21 de junho de 1993**. Institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. Diário da República, 1ª série - nº 116, 1993.

BRASIL. **Lei nº 14.026**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. Diário Oficial da União, Brasília, 15 de julho de 2020a.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019**. Brasília: SNS/MDR, p. 183, 2020b.

CAIXA. **Saneamento para todos. Saiba mais**.

Disponível em: <

http://www1.caixa.gov.br/gov/gov_social/municipal/assistencia_tecnica/produtos/financiamento/saneamento_para_todos/saiba_mais.asp>. Acesso em 27 jan. 2020a.

CAIXA. **FINISA - Financiamento à Infraestrutura e ao Saneamento**. Financiamento à infraestrutura e ao saneamento com processos de contratação e prestação de contas ágeis e simplificados. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/poder-publico/modernizacao-gestao/finisa/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 27 jan. 2020b.

ECHTERNACHT, T. H. de S.; QUANDT, C. O. A gestão do conhecimento como suporte ao processo estratégico na administração pública municipal: um estudo comparativo de casos no Brasil e em Portugal. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, João Pessoa, v. 7, Número Especial, p. 35-49, mar. 2017.

EMBASA. Empresa Baiana de Águas e Saneamento. **Solicitação de Propostas nº 052-2019 (Licitação Internacional)**. Anexo I – Termo de Referência. Estudo de avaliação das potencialidades de reúso de efluente sanitário tratado no estado da Bahia. Disponível em: http://www.iica-ecuador.org/ftp/tdrs_Brasil/EDITAL_SOLICITA%C3%87%C3%83O%20DE%20PROPOSTAS%20N%C2%BA%20052-2019_PUBLICADO.pdf. Acesso em: 24 de fev. 2021.

FIELDING, K. S.; DOLNICAR, S.; SCHULTZ, T. Public acceptance of recycled water. **International Journal of Water Resources Development**, 1–36, 2018

FONSECA, A.; GABRIEL, C. F. Análise da influência da tarifação em seis indicadores operacionais e de qualidade dos serviços de abastecimento de água no Brasil. **Eng. Sanit. Ambient.**, v. 20, n. 2, 2015.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Termo de referência para elaboração de plano municipal de saneamento básico**. Instrumento de apoio da Cooperação técnica da Fundação Nacional de Saúde – Funasa/MS 2018.

LEITE, L. de O.; REZENDE, D. A. Modelo de gestão municipal baseado na utilização estratégica de recursos da tecnologia da informação para a gestão governamental: formatação do modelo e avaliação em um município. **Revista de Administração Pública**, v. 44, n.2, p.459-493, mar/abr 2010.

MARIN, P.; TAL, S.; YERES, J.; RINGSKOG, K. **Water Management in Israel: Key Innovations and Lessons Learned for Water Scarce Countries**. World Bank, Washington, DC. 2017.

MARTINS, E. G. P.; SOUZA NETO, J. Mensuração do Engajamento das Partes Interessadas em Projeto na Visão do Gerente de Projeto e das Próprias Partes Interessadas. **Revista de Gestão e Projetos**, [s. l.], v. 08, n. 01, p. 42–56, 2017.

MELO, M. C.; PEREIRA SANTOS, A. S.; PINHEIRO SANTOS, N. A.; MAGALHÃES DE ARAÚJO, B.; ROSA SILVA DE OLIVEIRA, J.; RIBEIRO CAMPOS, A. Evaluation of potential use of domestic treated effluents or irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu River Basin. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 21, p. 52-63, 2020.

MORAES, D. L.; SANTOS, A. S. P.; BILA, D. M.; SILVA JÚNIOR, L. C. S.; ARAUJO, B. M. Análise comparativa de parâmetros hidráulicos para dimensionamento de tecnologias em Estações de Tratamento de Esgoto. **Revista Internacional de Ciências**, v. 10, p. 22-41, 2020.

MUKHERJEE, M.; JENSEN, O. A comparative analysis

of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia. **Safety Science**, v. 121, p. 5-14, 2020.

SANASA. Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento. **Água de reúso**. Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/servico/aguaReuso.aspx?f=A>. Acesso em: 12 fev. 2021.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso De Água Para O Desenvolvimento Sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, p. 50-68, 2020.

SPEERS, A. **Bonn Charter Principles Series n. 4 – The Price of Water**. p. 1-4, 2007.

UN. United Nations. **Sustainable Development Goal 6 Synthesis Report 2018 on Water and Sanitation**. New York. 2018.

PROPOSIÇÃO DE UMA METODOLOGIA ESTRUTURADA DE AVALIAÇÃO DO POTENCIAL REGIONAL DE REÚSO DE ÁGUA: 03 – METODOLOGIA DE POTENCIALIDADES (DEMANDAS E OFERTAS) E ANÁLISE ESPACIAL

TOWARDS A STRUCTURED METHODOLOGY FOR ASSESSING REGIONAL WATER REUSE POTENTIAL: 03 - METHODOLOGY OF POTENTIALITY (DEMANDS AND OFFERS) AND SPATIAL ANALYSIS

Luis Carlos Soares da Silva Junior^a, Máira Araújo de Mendonça Lima^b, Pablo da Silva Avelar^c, Ana Sílvia Pereira Santos^b, Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares^d, Ricardo Franci Gonçalves^e, José Manuel Pereira Vieira^f.

^aUniversidade Federal do Rio de Janeiro, ^bUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, ^cEmpresa Baiana de Água e Saneamento, ^dAgência Nacional de Águas e Saneamento Básico, ^eUniversidade Federal do Espírito Santo, ^fUniversidade do Minho

luis.junior@coc.ufri.br, mairalima.90@gmail.com, pablo.avelar@embasa.ba.gov.br, ana.pereira@uerj.br, ssoares@ana.gov.br, rfq822@gmail.com, jvieira@civil.uminho.pt.

Submissão: 05 de março de 2021

Aceitação: 1 de julho de 2021

Resumo

O reúso de água é um tema de larga difusão e desenvolvimento em várias regiões do mundo. No Brasil, a sua aplicação é recente e ainda incipiente. Dessa forma, o país ainda deve construir a sua própria experiência e identidade no assunto. As questões já estudadas e exauridas em outros países devem servir como exemplo, porém não devem ser o principal propulsor das ações no território nacional. Para que o Brasil assuma a sua identidade com objetivo de institucionalização e sistematização da prática de reúso de água em todo o território nacional, mesmo considerando as suas dimensões continentais e as distintas características gerais entre as suas regiões, estudos de avaliação de potencial devem ser conduzidos anteriormente à realização dos empreendimentos. Trata-se de uma ferramenta de planejamento, necessária para alcance do êxito. Muitos projetos de sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, no país, não alcançam os objetivos, muitas vezes, em função da falta de planejamento. É nesse cenário que a presente Nota Técnica apresenta elementos essenciais para o desenvolvimento de uma metodologia de planejamento para a condução de estudos de avaliação de potencial de reúso regional de água no Brasil. Nessa metodologia são abordados aspectos relacionados à delimitação da área de estudo, às localizações e aos levantamentos de possíveis fontes de oferta e demanda de água de reúso, bem como as ferramentas de avaliação de potencial e de análise espacial, que possibilitam a elaboração de mapas que favorecerão as tomadas de decisão. Para as possíveis ofertas e demandas de água de reúso, são ainda indicados passos para análise quantitativa e qualitativa de forma a permitir o melhor conhecimento das suas particularidades e definir fatores de otimização eventualmente necessários para o alcance de qualidade desejada para os diferentes tipos de reúso pretendidos.

Palavras-chave: ofertas de água de reúso; demandas de água de reúso; otimização de ETEs; distância e transporte; análise espacial.

Abstract

Water reuse is a topic of widespread and development in various regions of the world. In Brazil, its application is recent and still incipient. Thus, the country must still build its own experience and identity in the matter. Issues already studied and exhausted in other countries should serve as an example, but they should not be the main propulsion of actions in the national territory. For Brazil to assume its identity with the objective of institutionalizing and systematizing the practice of water reuse throughout the national territory, even considering its continental dimensions and the distinct general characteristics between its regions,

potential assessment studies must be carried out prior to the achievement of the enterprises. It is a planning tool, necessary to achieve success. Many projects for water supply and sewage systems in the country do not achieve the objectives, often due to the lack of planning. It is in this scenario that this Technical Note presents essential elements for the development of a planning methodology for carrying out studies to evaluate the potential of regional water reuse in Brazil. In this methodology, aspects related to the study area delimitation, locations, and surveys of possible sources of water reuse offer and demand are addressed, as well as the potential assessment tools and spatial analysis, which enable the elaboration of maps that will favor decision making. For the possible offers and demands of reused water, steps are also indicated for quantitative and qualitative analysis to allow the best knowledge of their particularities and to define optimization factors that may be necessary to achieve the desired quality for the different types of reuse intended.

Keywords: water reuse offers; water reuse demand; optimization of WWTP; distance and transport; spatial analysis.

1. INTRODUÇÃO

Cerca de 2 bilhões de pessoas no planeta vivem em países de elevado estresse hídrico; aproximadamente dois terços da população mundial vivem em situação de escassez hídrica severa, no mínimo um mês ao ano (WWAP, 2019). Os fatores que contribuem para o agravamento desse cenário estão associados ao crescimento populacional, às mudanças climáticas, à poluição generalizada dos corpos hídricos e ao desenvolvimento econômico desconectado da sustentabilidade. A discussão sobre a falta de água para os usos pretendidos, em diversas regiões, e as alternativas de minimização desses impactos levam em consideração aspectos relacionados à quantidade e à qualidade da água disponível, aos índices de coleta e tratamento de esgotos, ao lançamento inadequado de esgoto bruto nos corpos hídricos, aos conflitos pelo uso dos recursos ambientais (SOUZA et al., 2017; ANGELAKIS et al., 2018), às perdas de água nos sistemas de distribuição (SANTOS e VIEIRA, 2020) e aos desperdícios, de maneira geral.

No Brasil, no ano de 2018, o índice médio de perdas de água nos sistemas de distribuição alcançou quase 40%. Na região Nordeste, onde se enfrentam os maiores desafios de escassez hídrica no país, as perdas alcançaram 46,0%. Manaus, capital do estado do Amazonas, e Porto Velho, capital do estado de Rondônia, apresentam índices de perda superiores a 75% (BRASIL, 2019). Em relação a coleta e tratamento de esgotos, o Brasil apresenta índices muito distantes do conceito da universalização. Menos de 60% da população urbana brasileira é atendida por coleta de esgoto e menos de 40% do esgoto gerado no país é tratado; estados

como Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Rondônia e Pará, apresentam esses índices abaixo dos 15% (ANA, 2020a). Destes, Amapá, Rondônia e Pará apresentam índices ainda piores, inferiores a 10%. No estado do Maranhão, a sua capital, São Luís, apresenta somente 4% de esgoto tratado e apesar do município de Caxias, o segundo maior do estado, apresentar 100% de atendimento com serviço de esgotamento sanitário, 95% da população é atendida com sistemas individual, nomeadamente fossa séptica (ANA, 2017a).

Além dos baixos índices de coleta e tratamento de esgotos, é importante destacar a qualidade dos efluentes tratados. Segundo Lima et al. (2020a), até 2017, 30% da vazão total tratada no Brasil passava somente por etapa primária ou primária avançada, garantindo desempenho médio de redução de matéria orgânica da ordem de 60%; e apenas 7% da vazão total tratada no Brasil passava por etapa terciária de desinfecção. Não há dúvida da urgência tanto de aumento desses índices de atendimento, como também de otimização das unidades existentes e em operação, para geração de efluentes de melhor qualidade de forma a minimizar a poluição de corpos hídricos, proteger a saúde pública e produzir água de reúso para as regiões mais afetadas pela seca. Ainda, de forma a garantir a conservação e o uso racional da água, é premente a necessidade de redução dos índices de perda nos sistemas de distribuição de água.

Em função das diferentes características socioeconômicas, culturais e ambientais presentes entre as regiões brasileiras, a gestão de recursos hídricos e de saneamento no país apresenta grandes desafios. Por certo, a escassez dos recursos hídricos e o aumento das

demandas de água para o abastecimento humano, para o setor industrial e para atividades agrícolas, impulsionam o desencadeamento dos conflitos pelos usos da água. Torna-se assim inevitável a necessidade da conservação e do uso racional da água, do tratamento adequado dos esgotos e do reúso de água, como ferramentas de gestão de recursos hídricos e saneamento (ASANO et al., 2007). A água reciclada, recuperada ou de reúso é reconhecida pela Organização das Nações Unidas como uma fonte alternativa e confiável para o suprimento de grande parte das demandas hídricas existentes no mundo (WWAP, 2017).

A institucionalização da prática de reúso prevê a sua adoção de forma sistêmica e a sua inserção na matriz hídrica regional. Dessa forma, de acordo com Hespanhol (2008), a prática deve ser aplicada com o objetivo de cobrir demandas parciais ou totais dos diversos usos consuntivos (aqueles que consideram consumo efetivo de água), não somente em regiões de baixa disponibilidade hídrica (áridas e semiáridas), mas também naquelas em que as demandas de água são excessivamente elevadas ou acima da capacidade de oferta. Essas regiões acabam sendo palcos de conflitos pelos usos múltiplos da água e sofrem restrições de consumo, afetando diretamente o seu desenvolvimento econômico.

O planejamento adequado deve ser o principal fator para o suprimento das demandas regionais, quando se trata do reúso de água. Nesse caso, um importante instrumento de gestão e planejamento estratégico são o estudo do potencial regional e o levantamento das ofertas e das demandas para este fim.

Araujo et al. (2019) avaliaram o potencial do reúso para áreas irrigadas na bacia hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu e concluíram que 8% da demanda para a agricultura poderia ser suprida com a água de reúso, com o potencial atualmente disponível. Destaca-se ainda que essa região, inserida no Semiárido brasileiro, possui baixo índice de tratamento de esgotos, evidenciando a absoluta necessidade de aumento desses índices também para fins de reúso. Lima et al. (2020a) realizaram estudo similar, com a elaboração de uma metodologia de levantamento de potenciais de reúso de água para todas as regiões hidrográficas brasileiras, onde foram levantadas as demandas para irrigação e as ofertas de água de reúso para cada uma delas. Melo et al. (2020) avaliaram o potencial de reúso em uma bacia hidrográfica do rio Paracatu, em Minas Gerais,

que atualmente vive situações de conflito pelo uso da água. Nesse estudo, os autores propuseram uma metodologia com uso de Sistema de Informação Geográfica (SIG) para alocação espacial tanto das instalações de oferta de água de reúso, como das áreas de demanda de água.

O SIG é uma ferramenta importante para apoiar tecnicamente estudos de avaliação das potencialidades da aplicação da água de reúso. A partir das bases de dados georreferenciadas, entre as diversas possibilidades, é possível fazer análise espacial sobrepondo as informações em diferentes camadas, de acordo como os objetivos pretendidos. Essa análise, que pode ser visualizada em mapas elaborados para cada área de estudo, permite relacionar as informações mais relevantes para cada caso, tais como: as distâncias entre produtores e consumidores; características que envolvam as culturas a serem irrigadas *versus* a qualidade de água produzida em cada ETE; os tipos de equipamentos de irrigação alocados em cada área; entre outras informações. O acesso a essa base de dados pode ser disponibilizada aos usuários de forma ilustrativa ou interativa. O formato interativo permite acesso técnico para atualização de dados, facilita a visualização e a compreensão, além de proporcionar aos gestores uma ferramenta de tomadas de decisão mais assertivas.

O conjunto das Notas Técnicas (NT), perfazendo quatro conteúdos, tem como principal objetivo a **proposição de uma metodologia estruturada de avaliação do potencial regional de reúso de água no Brasil**. Seu foco principal é a inserção dessa fonte alternativa na matriz hídrica regional dentro do território nacional, de forma a propiciar o avanço do planejamento dos recursos hídricos e saneamento, como também, auxiliar gestores e tomadores de decisão. A presente Nota Técnica (NT03) propõe uma metodologia de potencialidades regionais de reúso de água, com a delimitação da área de estudo, o levantamento das demandas e ofertas, e a análise espacial para visualização em mapas.

2. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A concepção de um projeto de reúso de água deve ser uma etapa criteriosa e com planejamento adequado, de forma a garantir o sucesso do empreendimento, a segurança e o atendimento dos objetivos pretendidos. A

delimitação da área de estudo é parte fundamental desse processo, podendo se apresentar em diferentes escalas (Figura 1).

Em geral, as concepções de reúso de água na escala meso são realizadas no âmbito dos limites administrativos **estaduais** e **municipais**. Isso se dá, em função de os órgãos reguladores e os órgãos gestores de recursos hídricos e de meio ambiente serem definidos nesses contextos institucionais. Os potenciais geradores de água de reúso na escala meso são as empresas operadoras de sistemas de esgotamento sanitários, tais como concessionárias estaduais (públicas ou privadas), sistemas autônomos de água e esgoto e autarquias públicas municipais. Um exemplo da delimitação de uma área de estudo estadual refere-se ao projeto contratado pela Empresa Baiana de Saneamento (EMBASA), denominado *Estudo de Avaliação de Potencialidades de Reúso de Efluente Sanitário Tratado no Estado da Bahia*, que avaliou o potencial de reúso de água nos 367 municípios baianos abrangidos pela companhia. No contexto

municipal, pode-se observar com mais detalhamento o exemplo do município de Campinas, operado pela SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas/SP), apresentado na **NT01**.

Fora desse contexto dos limites administrativos públicos, e inseridos na escala macro do gerenciamento dos recursos hídricos, destacam-se as **regiões hidrográficas** ou ainda em menor escala, as **bacias hidrográficas**. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) (BRASIL, 1997) estabeleceu que a gestão das águas (federais e estaduais) no território nacional deve ser realizada no âmbito da bacia hidrográfica. Mais tarde, a Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 32 definiu a divisão hidrográfica em função de regiões hidrográficas mais abrangentes (BRASIL, 2003). Essas divisões visaram o atendimento das necessidades de gestão de recursos hídricos com as configurações físicas e características locais (PORTO e PORTO, 2008).

Figura 1: Fluxograma das diferentes escalas que podem ser abordadas na delimitação da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores.

A gestão dos recursos hídricos é descentralizada, onde as decisões são deliberadas na instância dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) (BRASIL, 1997). De acordo com ANA (2020b), esses comitês são compostos por representantes do poder público, dos usuários e da sociedade civil interessados nos usos múltiplos da água. De maneira resumida, os comitês têm as seguintes competências: i) promover o debate entre as partes interessadas; ii) arbitrar conflitos entre usuários; iii) aprovar o

plano da bacia, e acompanhar sua execução; iv) propor usos insignificantes para efeitos de isenção de outorga; v) estabelecer a ferramenta da cobrança; e vi) estabelecer critérios para rateio de custos das obras de usos múltiplos. Portanto, no contexto da inserção da água de reúso na matriz hídrica, cabe ao CBH incluir fontes alternativas no planejamento estratégico de recursos hídricos da bacia, para atendimento de demandas atuais ou futuras, minimização de conflitos, redução do lançamento de carga

orgânica dos efluentes, além do estabelecimento de mecanismos para cobrança pelo uso dessa água.

Frequentemente, na gestão das bacias hidrográficas e das regiões hidrográficas, o planejamento da inclusão da água de reúso na matriz hídrica pode ser facilitado em função da especificidade atribuída a esses fóruns. Melo et al. (2020), Lima et al. (2020a) e Santos et al. (2018) apresentam diferentes metodologias de planejamento, que podem ser adotadas como exemplos para outros estudos aplicados a outras áreas, inclusive com a definição de novas variáveis alinhadas com outros objetivos.

De maneira mais localizada, regiões de estudo como **polos industriais**, **áreas irrigadas** (públicas e privadas), ou **sistemas descentralizados** podem ser delimitadas de acordo com os objetivos dos gestores. Nesses casos, as especificidades já são intrínsecas à escala, o que pode facilitar consideravelmente o planejamento e a concepção do empreendimento (exemplos podem ser observados na abordagem da **NT01** e uma discussão mais aprofundada sobre a gestão integrada de sistemas centralizados e descentralizados para planejamento de reúso de água nos ambientes urbanos, na **NT04**). No caso do reúso de água em edificações urbanas, que caracterizam sistemas descentralizados, Gonçalves, Keller e Franci (2019) apresentaram um estudo comparativo entre Brasil e Alemanha, com dados de consumo de água, distribuição do consumo nas residências, potencial de reúso nas edificações, tecnologias mais utilizadas e custo de implantação, operação e manutenção.

Independentemente do âmbito (estado, município, região hidrográfica, bacia hidrográfica ou outras regiões específicas), a delimitação da área de estudo deve envolver aspectos e passos sequenciais com a abordagem de diferentes variáveis, conforme apresentadas no Quadro 1.

Por fim, é importante observar que a área de estudo deve ser delimitada de acordo com a área de abrangência do projeto, com os objetivos alinhados no âmbito da gestão de recursos hídricos e saneamento e em um contexto de planejamento estratégico adequado (Ver **NT02**).

3. LEVANTAMENTO E LOCALIZAÇÃO DAS OFERTAS

Ao se delimitar a área de estudo, é necessário observar a localização das ofertas

(EPAR) a nível regional. Nesse sentido, a principal base de dados para consulta de informações sobre ETes é o Atlas Esgotos, um relatório que levantou dados de sistemas de esgotamento sanitário nos municípios brasileiros entre os anos de 2013 e 2015 (ANA, 2017a) e foi atualizado recentemente, em 2020 (ANA, 2020a). Nesse relatório são abordados os dados relativos à cobertura de atendimento aos serviços de esgotamento sanitário existentes (coleta, coleta e tratamento, solução individual) e com dados de: localização, tecnologia de tratamento, vazão, eficiência média de remoção de matéria orgânica, entre outros. Esse documento vem sendo amplamente utilizado na gestão de saneamento devido ao grau de refinamento das informações, quando comparado às alternativas existentes (LIMA et al., 2020b).

Mesmo diante de dados secundários, é importante verificar a disponibilidade dos dados reais para garantia de maior rigor da informação, além de atualização das informações pré-existentes. Os principais dados referentes às ETes de interesse para esse tipo de projeto são: localização georreferenciada, vazão média (atual e futura), tecnologias de tratamento, desempenho e qualidade final do efluente. É importante que sejam identificados também eventuais planos de expansão da capacidade de tratamento das EPARs de interesse. Essa etapa de aprofundamento consiste no levantamento de dados primários diretamente com o responsável pelos serviços de saneamento local, em especial, no setor operacional das estações. Esses dados devem, preferencialmente, ser compostos por séries históricas de vazão de operação da estação, e características físico-químicas e microbiológicas do efluente após o tratamento. A partir desse relatório, recomenda-se uma análise dos dados para verificação das flutuações das concentrações, assim como variações das vazões para assegurar que essas oscilações e variações não prejudiquem uma operação de reúso adequada. Para este caso, pode ser suficiente o desenvolvimento de uma análise simples de estatística descritiva, a partir dos seguintes parâmetros:

- Número de dados: quantidade de dados utilizados na análise;
- Medidas de tendência central: representam a tendência de agrupamento de dados em torno de um valor central, tais como média e

- mediana;
- Medidas de dispersão e variação de dados: usadas para avaliar o grau de variabilidade de um conjunto de dados numéricos, tais como desvio padrão e coeficiente de variação;
 - Medidas de localização relativa: permite comparar dados e agrupá-los em categorias, (quartis de 10%, 25%, 75%, 90%), ou determinar a posição exata de valores (mínimo e máximo);
 - Distribuição de frequência: são faixas de valores nas quais pode ser dividida a amostra e suas respectivas frequências de ocorrência.

Quadro 1: Variáveis relacionadas à delimitação da área de estudo

Variável	Explicação
Localização das ofertas (LO)	A localização das unidades, atuais e futuras, que podem fornecer água de reúso (ETE ou EPAR) é de grande relevância, sendo considerada uma das principais variáveis. É importante definir as ofertas, de modo a estabelecer critérios de fornecimento, tais como quantidade, qualidade, transporte e outros. Ter uma unidade de tratamento de esgotos em operação não significa, de imediato, ter disponibilidade para o reúso.
Localização das demandas (LD)	A localização das demandas, de maneira análoga à localização das unidades de oferta de água de reúso, é igualmente considerada prioridade. Essa variável deve prever as diferentes áreas, com distintos objetivos de demandas (atuais e futuras) que se encontram nas proximidades das unidades de oferta. Neste caso, podem ser elencadas áreas de conflitos pelo uso da água, áreas mais impactadas pela seca, áreas de expansão de atividades agrícolas ou industriais, entre outras.
Análise de qualidade (AQ)	A qualidade atualmente apresentada pelo efluente deve ser uma variável de destaque, já que pode inclusive demandar otimização da ETE para atender os objetivos de reúso ou mesmo melhorar aspectos operacionais. Uma avaliação criteriosa da série histórica de qualidade dos efluentes das potenciais Estações Produtoras de Água de Reúso (EPAR) é recomendada.
Avaliação de distâncias (AD)	É sabido que as distâncias entre unidades de oferta e áreas de demanda de água de reúso podem ser fatores limitantes para alavancar os empreendimentos. Distâncias muito elevadas podem apresentar custos de transporte inviáveis, seja ele realizado por caminhão ou por adução. No caso do transporte por adução, deve-se avaliar ainda o desnível geométrico entre os pontos de produção e de destino da água de reúso.
Listagem de áreas prioritárias (LAP)	Em regiões de escassez hídrica, os gestores podem se deparar com mais de uma área carente de água, inclusive com demandas de diferentes modalidades de reúso. Assim, é importante hierarquizar as áreas prioritárias, de acordo com os objetivos definidos, que podem ser: aumento da produção agrícola, impulsionamento do desenvolvimento socioeconômico, redução de conflitos, melhoria da qualidade de corpos hídricos, entre outros. Destaca-se que essa hierarquização deve ser baseada, com mais peso, em critérios técnico/científicos do que em critérios políticos.
Estudo preliminar de custo (EPC)	O estudo de custo deve ser realizado de maneira preliminar e em ordem de grandeza, de forma a subsidiar e orientar as tomadas de decisão e os passos futuros para o estabelecimento dos empreendimentos prioritários.

Conforme apresentado por ANA (2020a), 34% das ETEs em operação no Brasil alcançam, atualmente, somente o nível secundário de tratamento, com eficiência de redução de matéria orgânica acima de 80%. Para fins de reúso, a grande maioria apresenta desempenho desprezível em relação à redução de organismos indicadores de contaminação fecal; somente 9% apresentam lagoas de maturação em seus fluxogramas, caracterizando desinfecção.

Nesse contexto, é importante ainda avaliar a necessidade de melhoria das unidades atualmente em operação e instaladas na área de estudo, para atendimento dos objetivos de reúso. Essa otimização pode levar em consideração: i) somente adequações operacionais para alcance do desempenho esperado para as tecnologias implantadas; ii) melhorias tecnológicas dos processos atualmente instalados; e iii) complementação ou alteração do fluxograma atualmente instalado, com novos processos tecnológicos mais adequados aos objetivos pretendidos. No caso das ETEs ainda em planejamento todo o projeto deve ser concebido para a produção de água de reúso com a qualidade almejada, de forma a minimizar trabalhos futuros. Esse tipo de planejamento, com uma visão sistêmica por parte dos gestores, é fundamental para o desenvolvimento do setor nas regiões de estudo.

A depender do porte do projeto, caso este envolva um conjunto de estações a serem analisadas, é possível criar uma métrica para categorização das unidades de tratamento. Lima et al. (2020a) adotaram os termos “Categoria 01” (efluente secundário com remoção de matéria orgânica superior a 80%), “Categoria 02” (efluente desinfetado) e “Sem Categoria” (efluentes que apresentam desempenho inferior às demais categorias). É importante notar que as adequações necessárias à prática de reúso são mais exequíveis em plantas com, no mínimo, a etapa secundária em operação. Contudo, a existência de uma tecnologia secundária não resulta, necessariamente, em um efluente de qualidade compatível com o aproveitamento, uma vez que diversos fatores influenciam no seu desempenho, como: qualidade de operação e manutenção da estação, e adequação do projeto à realidade do sistema de esgotamento sanitário. A partir da classificação anterior e dos dados do efluente da ETE, recomenda-se dividir a próxima etapa de análise das ofertas em termos qualitativos e quantitativos. A qualidade do

efluente é fundamental para a definição da(s) unidade(s) adicional(is) de tratamento e a finalidade da água de reúso. Em demandas mais restritivas pode ser necessária a implementação de um sistema terciário para o polimento do efluente secundário, contemplando uma etapa de desinfecção ou até mesmo de remoção de nutrientes. Dessa forma, tanto a destinação da água de reúso quanto seus respectivos padrões requeridos serão responsáveis por determinar o nível de tratamento necessário na EPAR.

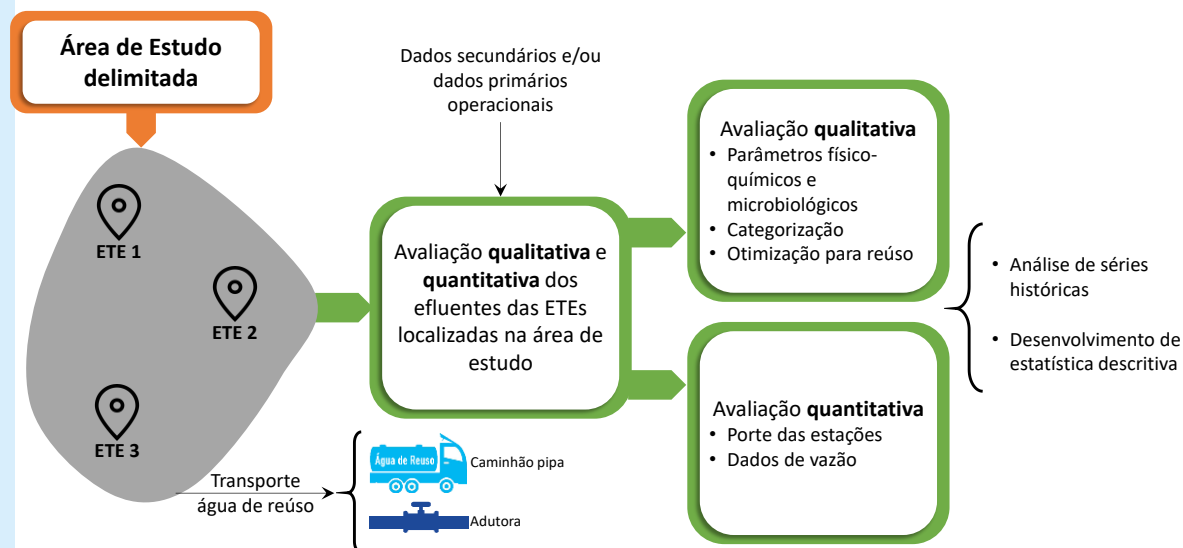
O Programa Interáguas (INTERÁGUAS, 2017) destacado na **NT01** indica tecnologias de tratamento de esgoto sanitário alinhadas aos padrões de qualidade de água para cada modalidade de reúso. Em linhas gerais, são indicados os sistemas compostos por etapa secundária seguida por desinfecção direta, ou etapa secundária seguida por desinfecção em duplo estágio (INTERÁGUAS, 2017). Segundo Araujo (2019), a desinfecção em duplo estágio (filtração terciária seguida de desinfecção) apresenta uma água de melhor qualidade, ao garantir melhor desempenho na desinfecção, em função de uma unidade de filtração (areia, carvão e outros) à montante da desinfecção, para fins de redução de turbidez.

A localização da ETE, bem como as tecnologias adotada no processo de tratamento, são os fatores que mais influenciarão na viabilidade financeira do reúso (ARAUJO; SANTOS; SOUZA, 2017; MELO et al., 2020). Em relação à localização, essa viabilidade se dá, principalmente, devido aos custos envolvidos em cada modalidade de transporte da água da estação ao consumidor. Em geral, o uso de caminhões-pipa é o mais comum, tendo em vista sua adaptabilidade em atender diferentes consumidores menores, com demandas esporádicas e baixo custo inicial, quando comparado à alternativa de adutoras. Contudo, o transporte por tubulações se mostra mais viável com grandes volumes a consumidores fixos, assim como menores custos de operação. Já em relação às tecnologias adotadas no processo, diferentes qualidades de água podem ser alcançadas a partir de diferentes arranjos tecnológicos, implicando diretamente na viabilidade dos empreendimentos em termos de custos de implantação, operação e manutenção, além da complexidade operacional. Conforme destacado na **NT01**, há que se levar ainda em consideração a manutenibilidade dos empreendimentos de reúso, que geram

incertezas quanto à aplicabilidade e à continuidade do projeto para implantação de adutoras, bem como o uso de combustível fóssil para uma aplicação sustentável de água de reúso.

Na Figura 2, encontra-se apresentado um diagrama esquemático dos principais aspectos discutidos anteriormente sobre o levantamento e a localização das ofertas de água de reúso.

Figura 2: Diagrama esquemático dos principais aspectos relacionados ao levantamento e localização das ofertas de água de reúso



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. LEVANTAMENTO E LOCALIZAÇÃO DAS DEMANDAS

As demandas de água estão relacionadas aos seus usos múltiplos, destacados pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), nº 357/2005, tais como abastecimento doméstico e industrial, irrigação, dessedentação de animais, e outros (BRASIL, 2005). Os usos em que a água é consumida no seu processo produtivo, diminuindo a disponibilidade de água do corpo hídrico para usos futuros, são considerados usos consuntivos, e.g. usos industriais, abastecimento público, irrigação etc. Já os usos que não exercem consumo de água e não afetam diretamente a sua quantidade, são considerados não consuntivos, e.g. geração de energia hidroelétrica, navegação, recreação etc. (ANA, 2019). De forma ainda mais aplicada, a ANA, apresenta uma relação entre a água retirada e a água efetivamente consumida no Brasil, para usos como abastecimento urbano, rural, animal e industrial, irrigação, mineração e termelétricas. No ano de 2019, a média anual total de água retirada foi de aproximadamente 2 mil m³/s, enquanto a

média anual total de água consumida foi em torno de 1 mil m³/s, representando no geral, uma relação de 50% de consumo efetivo em relação à retirada. Tanto em termos de retirada como de consumo, a irrigação aparece com os maiores percentuais em relação aos demais usos: quase 50% da água retirada e 66% da água consumida (ANA, 2020b). Ressalta-se que a relação entre retirada e consumo de água na irrigação, refere-se principalmente à água que a cultura usa para desenvolvimento, além da eficiência dos sistemas de irrigação; os mais eficientes colaboram para valores mais próximos entre água consumida e água retirada.

É nesse contexto de gestão de recursos hídricos que a água de reúso se insere como uma fonte alternativa para demandas específicas. Nota-se assim, a relevância do levantamento da demanda de água na região de estudo, tanto para o conhecimento dos usos múltiplos e suas vazões perenes e sazonais, como para gerenciamento dos recursos hídricos, de maneira geral. O trabalho desenvolvido por Melo et al. (2020) teve como pano de fundo exatamente o cenário de avaliação do potencial de reúso de água em uma região de conflito pelo uso da água, em função

dos seus usos múltiplos.

Para a obtenção de dados necessários para o levantamento, bem como a localização e a caracterização das demandas de água na área de estudo, existem diversas fontes, com destaque para os **documentos públicos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico** e os **bancos de dados (federal e estaduais) de outorga de direito pelo uso da água**. Outras fontes de informações podem também ser utilizadas, tais como levantamentos de associações do setor industrial e agrícola, além de documentos técnico-científicos desenvolvidos no âmbito da academia e informações sobre grandes consumidores de água detidas por prestadoras de serviços de saneamento.

Documentos públicos da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é uma ferramenta prevista na PNRH. Trata-se de um amplo banco de dados de coleta, tratamento, armazenamento e divulgação de informações sobre recursos hídricos, onde se enquadram uma série de documentos e manuais que a ANA vem produzindo, referentes aos usos de água em diferentes contextos regionais do país. Assim, os dados consolidados no SNIRH servem como ferramentas de apoio à gestão e planejamento dos recursos hídricos. Entre os documentos publicados pela ANA sobre a temática, destacam-se as publicações que possuem abrangência nacional para a obtenção dos dados de demanda e descritas com maiores detalhes no Quadro 2.

Quadro 2: Documentos da ANA para a obtenção dos dados de demanda de água

Documento	Descrição
Conjuntura dos recursos hídricos (publicados anualmente entre 2009 e 2020)	O primeiro relatório “Conjuntura dos recursos hídricos” foi publicado em 2009 e é atualizado anualmente com novas informações. O documento mais recente é o “Informe 2020”, onde são apresentadas: as demandas de água, por finalidade, para o ano de 2019; o total de retiradas e consumos de água por Região Hidrográfica; o perfil do uso da água nas Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs); as maiores retiradas por finalidade; e outros. Trata-se de uma referência para o acompanhamento sistemático da situação dos recursos hídricos no país, através de um conjunto de indicadores e estatísticas sobre a água e sua gestão. Neste caso, todas as informações apresentadas são de domínio público e alimentam o SNIRH.
Manual de usos consuntivos de água (2019)	Nesse estudo, foram disponibilizados os resultados de estimativas dos usos consuntivos para todos os municípios brasileiros desde 1931 até o ano de publicação do estudo, além da projeção para 2030. A categorização das demandas foi realizada por modalidade (irrigação, abastecimento urbano, rural e industrial, uso animal, mineração e termelétrica), com definição da vazão correspondente para cada uma delas e por localidade.
Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada (2021)	O Atlas Irrigação, publicado originalmente em 2017 e atualizado em 2021, tem como um dos objetivos o suprimento da carência de dados relativos à agricultura irrigada, agregando a esses, dados de recursos hídricos na escala nacional. No documento, é abordado o histórico da agricultura irrigada, o contexto atual e o cenário para 2040. As demandas de irrigação são apresentadas referentes às médias anuais por tipologia (arroz, café, cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada, culturas anuais em pivôs centrais e outras culturas e sistemas) e unidade da federação.
Água na indústria: uso e coeficientes técnicos (2017)	O estudo estimou as demandas hídricas por tipologia de indústria de transformação a partir de coeficientes técnicos baseados no número de trabalhadores. As demandas para o setor industrial são apresentadas de diferentes maneiras: relação de municípios com vazões de retirada superiores a 1 m ³ /s; proporção da demanda hídrica industrial por região brasileira; vazões de consumo e de retorno em relação à vazão retirada por tipologia industrial; proporção das vazões consumidas por tipologia industrial, entre outros.

Fonte: ANA (2017b); ANA (2019a); ANA (2020b); ANA (2021).

Links disponíveis para consulta dos documentos produzidos pela ANA abordados no Quadro 2: [Conjuntura dos Recursos Hídricos](#); [Manual de usos consuntivos de água \(2019\)](#); [Água na indústria: uso e coeficientes técnicos \(2017\)](#); [Atlas Irrigação \(2021\)](#).

Bancos de dados (federal e estaduais) de outorga de direito pelo uso da água

A outorga de direito de uso da água é um instrumento de gestão previsto na PNRH e tem o objetivo de disciplinar os usuários, garantir um controle quantitativo e qualitativo, para preservar os usos múltiplos deste recurso, bem como assegurar o direito de acesso aos usuários (BRASIL, 1997). A lei estabelece a necessidade de uma autorização pelo direito de uso da água nas atividades que geram impactos quantitativos e qualitativos, relacionados diretamente aos seus usos. As unidades federativas e a união, por meio dos órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos e a ANA, respectivamente, detêm uma base consolidada de dados relacionada aos usos outorgados da água em nível estadual e federal, o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNAUH). Essa base de dados é de acesso público e nela constam cerca de 80% de todos os usuários regularizados no país (ANA, 2020b). O CNAUH se configura como uma das mais importantes ferramentas disponíveis para o levantamento de demandas de água em estudos de avaliação de potencial regional de reúso de água.

É importante destacar que os usuários podem ser cobrados pelo uso da água e nem todos os usos possuem a necessidade de outorga. Na prática, os setores sujeitos a essas cobranças, no Brasil, são prestadores de serviços de saneamento, indústria, geradores de energia hidrelétrica e agricultura (OCDE, 2017).

Na presente Nota Técnica, a outorga de direito pelo uso da água é abordada como um importante dado para levantamento de usos da água no território nacional. Entretanto, quando alinhada à cobrança pelo seu uso, revela um relevante aspecto econômico para o desenvolvimento de projetos e infraestruturas no contexto da bacia hidrográfica. Neste sentido, destaca-se essa relevância (cobrança pelo uso da água) e posteriormente, retoma-se o conteúdo específico relacionado à ferramenta “outorga” como dado para levantamento de usos da água.

O domínio das águas no Brasil é dividido entre os estados e a união. As águas de domínio da união compreendem os rios e lagos que banham mais de um estado, os que se encontram nos limites com outros países e os terrenos marginais, além das praias fluviais (BRASIL, 1988). Já as que compreendem o domínio estadual são as águas superficiais e subterrâneas

que nascem e desaguam dentro do território de um único estado (ANA, 2020b).

Cobrança pelo uso da água

A cobrança pelo uso da água é um instrumento econômico, que não tem caráter de imposto ou tarifa. Trata-se de uma remuneração pelo uso desse bem público de acesso comum, com valor e mecanismos de cobrança definidos no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica e agências, de forma participativa de usuários de água, sociedade civil e autoridades públicas (ANA, 2014; ARAUJO et al., 2018; OCDE, 2017). Essa cobrança tem três objetivos principais que se interrelacionam: i) indicar o valor econômico da água; ii) incentivar o seu consumo responsável, consciente e racional; e iii) preservar a sua qualidade (BRASIL, 1997; OCDE, 2017). Ainda como consequência, a cobrança pelo uso da água arrecada recursos financeiros para aplicação em projetos e intervenções no âmbito dos planos de recursos hídricos (BRASIL, 1997). O valor arrecadado deve ser aplicado, de preferência, na própria bacia, com o intuito de incentivar o investimento na despoluição dos mananciais, no reúso de água, na proteção e na conservação dos recursos hídricos e no emprego de tecnologias mais sustentáveis e econômicas (ANA, 2014). Destaca-se ainda a cobrança pelo lançamento de efluente, que, quando do seu aproveitamento, deixa de ser realizada.

Segundo OCDE (2017), em 2016, foram gerados cerca de 548 milhões de reais a partir da cobrança pelo uso de recursos hídricos sob domínio da União e cerca de 1,5 bilhão de reais sob domínio estadual. A nível da União, essas receitas podem cobrir aproximadamente de 10 a 15% da necessidade de financiamento para implementar ações previstas nos Planos de Recursos Hídricos, tais como estudos, projetos ou obras. A bacia do rio Paraíba do Sul foi o primeiro caso de aplicação de cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil, além do estado do Rio de Janeiro. Atualmente, já se encontram com mecanismos de cobrança implementados, as bacias dos rios Piracicaba, Capivari, Jundiá (PCJ), do rio São Francisco e dos rios Doce, Paranaíba e Verde, além dos estados do Ceará, Minas Gerais, São Paulo, Paraná e Paraíba.

Em relação às vazões outorgadas vigentes nos mananciais, no ano de 2017, as de domínio da união foram responsáveis pela captação de 1.270 m³/s de água e as estaduais, de 1.989

m³/s; no ano de 2019, 1.557 m³/s de água foram captados em rios de domínio da união e 2.781 m³/s em rios estaduais (ANA, 2019b; ANA, 2020b). As três modalidades que demandam o maior quantitativo de vazão outorgada são o abastecimento urbano/rural, a indústria e a irrigação. Juntas, correspondem a 93% do total outorgado, onde a irrigação é responsável por 68% (ANA, 2020b).

Os dados referentes ao levantamento de outorga das captações dos rios federais e estaduais podem ser facilmente obtidos no portal da ANA. Com o objetivo de facilitar o acesso ao leitor, disponibiliza-se aqui o [“Link de Outorgas”](#). As informações referentes às outorgas são distribuídas em diferentes categorias, como, “Unidade Federativa”, “Finalidade”, “Comitê Federal”, “Comitê Estadual”, entre outros. Por fim, pode-se realizar a compilação dos dados desejados da área de estudo e obter os valores de demanda por finalidade. Muitos órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos também disponibilizam dados de outorga de água em seus domínios, para o acesso público. No estudo de potencial de reúso de água desenvolvido por Melo et al. (2020), o levantamento de demandas foi realizado a partir dos dados de outorga superficiais emitidas e disponibilizadas no Sistema Integrado de Dados Ambientais (SIAM), do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), por se tratar de um rio de domínio do estado de Minas Gerais.

5. AVALIAÇÃO DAS POTENCIALIDADES

Diante de todos os dados que podem ser obtidos por meio da metodologia descrita até o momento, a avaliação das potencialidades se torna um caminho mais fácil, onde devem ser levados em consideração aspectos técnicos, econômicos, culturais, sociais, ambientais e políticos nas tomadas de decisão. Inicialmente, é importante definir a metodologia a ser adotada na avaliação em questão, com a definição e priorização de etapas, conforme apresentado no Quadro 3.

Além das etapas relacionadas diretamente aos projetos de reúso, destacadas no Quadro 3, outras mais gerais merecem atenção, tais como a avaliação de outorgas de lançamento de efluente e a avaliação da existência de outras fontes, que não as superficiais. No primeiro caso, destaca-se, a possível necessidade de manutenção de vazão de lançamento para usos a jusante em regiões

que apresentam criticidade quantitativa. A segunda leva em consideração a articulação do reúso com a dessalinização em regiões costeiras, como abordado na **NT04** e a abundância de poços em algumas regiões, conforme evidenciado por meio de outorgas.

Na Figura 3, pode-se observar um fluxograma para visualização das interações entre as etapas destacadas como fundamentais para a metodologia de avaliação de potenciais de reúso regional de água (Quadro 3). Novamente, chama-se a atenção para os diferentes portes e especificidades de cada projeto. Em casos específicos, outras variáveis podem ser acrescentadas e algumas aqui apresentadas podem ser suprimidas, caso seja conveniente.

Os aspectos de quantidade e qualidade, tanto da oferta como da demanda requerida, bem como os aspectos de distância entre eles, levam necessariamente, à avaliação de tipos de transporte e reservação da água de reúso, bem como à otimização necessária para atendimento à qualidade desejada para os tipos de reúso pretendidos. Essa otimização pode ser realizada com a inclusão de um processo de desinfecção (em único ou duplo estágio) nas instalações da própria ETE, ou pode-se prever o encaminhamento do efluente para uma EPAR em área (espacial e/ou administrativa) fora dos limites da ETE. Na Figura 4, são apresentados 3 arranjos possíveis que levam em consideração essas variáveis: a) Efluente da ETE encaminhado para a EPAR, b) otimização da ETE para produção de água de reúso (reservação externa); c) otimização da ETE para produção de água de reúso (reservação interna).

Diante das etapas destacadas no Quadro 3 e alinhadas no fluxograma da Figura 3, diferentes metodologias de avaliação de potencial regional de reúso de água podem ser adotadas:

- 1) **Metodologia geral de prioridades:** normalmente em projetos de grande porte, onde vários cenários são possíveis, as prioridades (técnicas, socioeconômicas, ambientais ou políticas) são definidas para avanço de definição dos arranjos de implantação. Nesse caso, as prioridades podem ser tanto relacionadas às ofertas como às demandas, embora em geral sejam relacionadas à demanda.
- 2) **Metodologia baseada na otimização das ETEs:** também presentes em projetos de

grande porte, quando muitos cenários são apresentados, adotam-se aqueles que demandam menos intervenções de otimização nas ETEs para alcance das qualidades e das quantidades de água desejadas. ETEs com fluxogramas a nível secundário, em geral, demandam somente uma desinfecção para alcance de qualidade para diferentes tipos de reúso.

- 3) **Metodologia baseada em cenário de escassez extrema:** ocorre em situações já alarmantes de escassez extrema de água, onde o reúso é a única opção e deve ser aplicado imediatamente. Vale ressaltar, que mesmo em necessidade imediata, as etapas

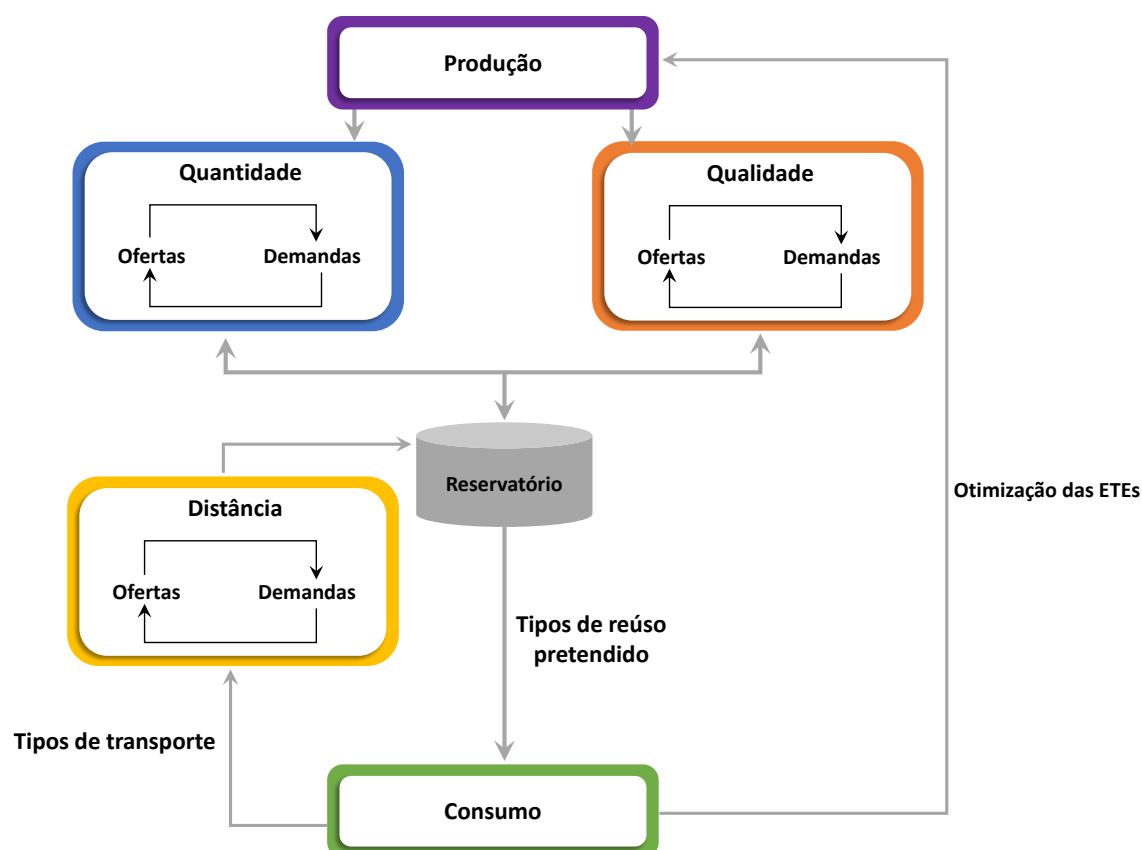
de planejamento não devem ser negligenciadas.

- 4) **Metodologia de demandas específicas:** ocorre quando há uma demanda específica de um potencial consumidor de água de reúso. Este caso é muito comum em sistemas descentralizados, onde já há uma demanda da própria edificação ou indústria.
- 5) **Metodologia de planejamento:** ocorre em situações específicas de planejamento no contexto da gestão de recursos hídricos, mesmo em situações de disponibilidade hídrica satisfatória. Seria o caso ideal para ser aplicado anteriormente à demanda excessiva em função de cenários recorrentes de estresse hídrico.

Quadro 3: Etapas a serem percorridas na avaliação de potencial

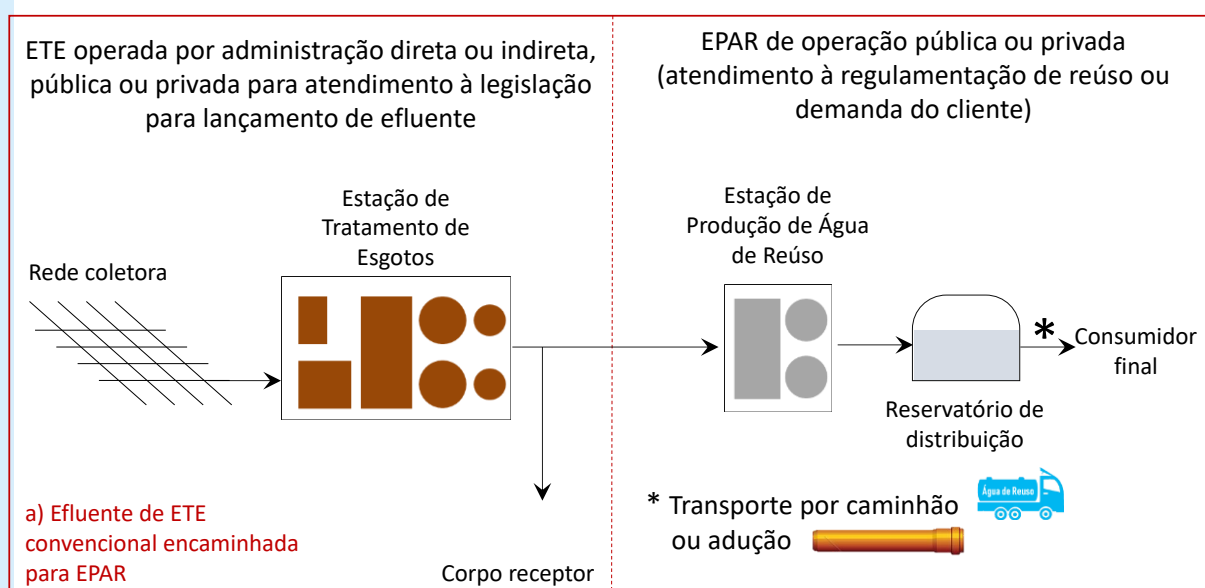
Etapas	Observação
Quantitativo de oferta	Pode-se avaliar em relação à vazão instalada e à vazão futura. Por ser ainda uma fase de planejamento, é possível se discutir o potencial para a vazão existente e para a vazão esperada em novos projetos de sistemas de esgotamento sanitário. O regime de vazões deve ser detalhado, objetivando a compatibilização da produção com o consumo no tempo.
Quantitativo de demanda	Demandas de água de reúso podem ser maiores ou menores e a possibilidade de supri-las é um ponto alto nessa fase de avaliação. Essa discussão pode ser feita com base em demandas atuais e futuras. As variações temporais da demanda devem ser especificadas, pelo mesmo motivo citado anteriormente (compatibilização da produção com o consumo no tempo).
Qualidade do efluente ofertado	Em termos qualitativos, as categorias de efluente descritas anteriormente, favorecem a avaliação de potencial. Diferentes qualidades de efluentes são indicadas para distintas qualidades requeridas por cada tipo de reúso.
Qualidade requerida na demanda	Qualidades mais baixas requeridas pelos potenciais usuários são mais facilmente alcançadas. Por outro lado, qualidades altas requerem grandes esforços na otimização das ETEs e maiores custos.
Otimização requerida na ETE	Uma avaliação entre qualidade ofertada e qualidade requerida, inevitavelmente será a responsável pela avaliação da otimização requerida tanto em ETEs existentes como em ETEs em fase de projeto. O balanço hídrico entre produção e consumo também pode exigir adaptações na infraestrutura.
Distâncias entre ofertas e demandas	O estabelecimento das distâncias em linha reta e em rodovias, entre as ofertas e demandas é uma etapa de grande relevância para a avaliação.
Tipos de transporte	As distâncias em rodovia, entre ofertas e demandas, facilitam a avaliação do transporte por caminhão. Já as distâncias em linha reta, bem como características de relevo, vegetação, solo e ocupação do solo, quando possível, facilitam a avaliação do transporte por tubulação.
Instalação de reservatórios	Em geral, a instalação de reservatórios se faz necessária para atender as sazonalidades das demandas. Essa etapa também pode ser realizada com uma interação entre as distâncias e as características das diferentes qualidades de efluentes, podendo-se avaliar uma possível mistura para aumento de vazão. Ressalta-se aqui a necessidade de medidas para evitar o recrescimento de microrganismos, como a pós-cloração.
Tipos de reúso pretendidos	Os diferentes usos pretendidos serão consequência do uso e ocupação do solo da área de estudo. Se vários usos possíveis estiverem disponíveis, é possível fazer uma relação com a qualidade requerida e consequentemente, a otimização necessária para a ETE.

Figura 3: Fluxograma de interação das etapas essenciais na avaliação de potencialidades de reúso regional de água



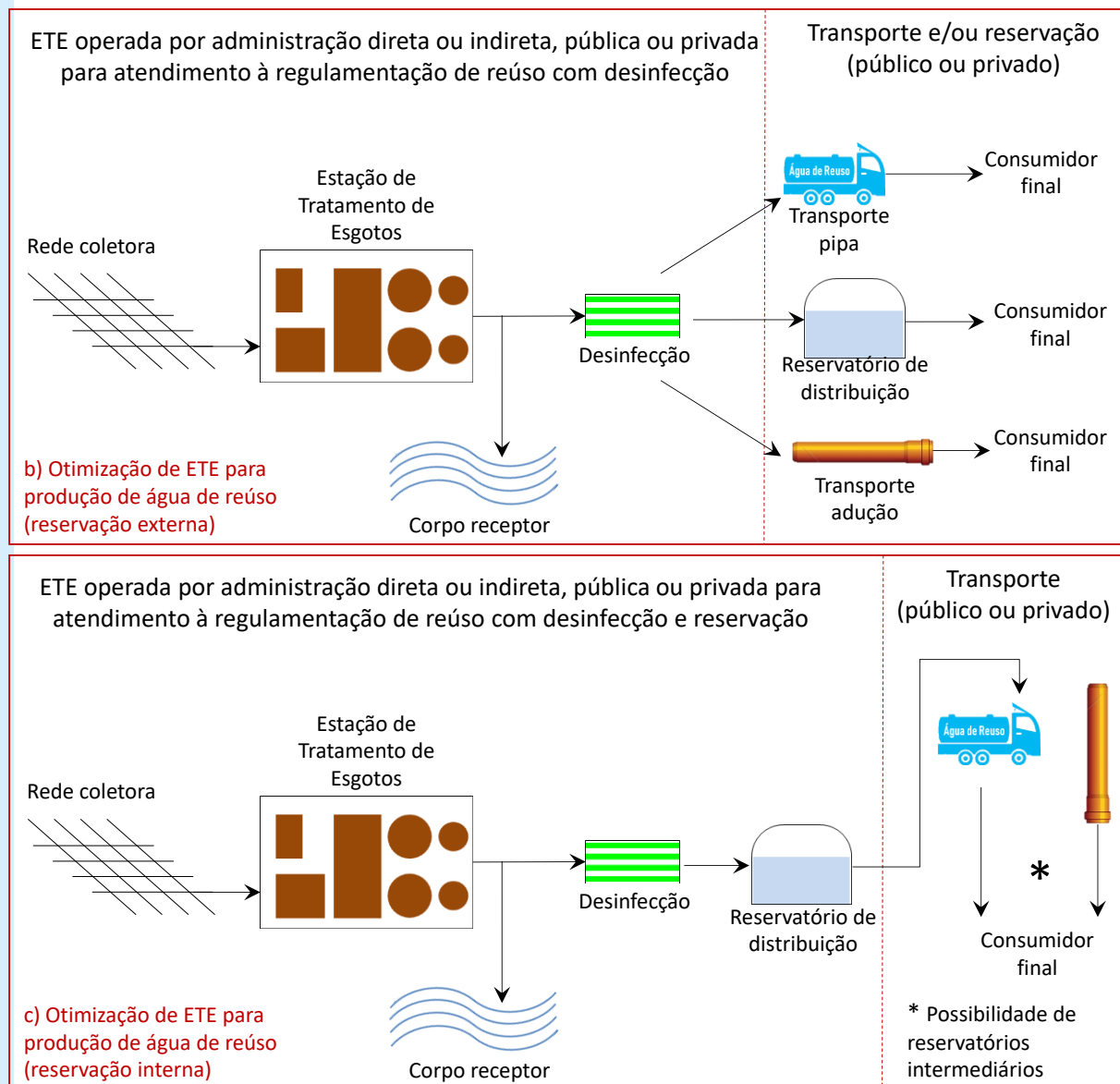
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 4: Arranjos de otimização da ETE, além de aspectos de reservação e transporte para atendimento aos tipos de reúso pretendidos.



Continua na próxima página.

Continuação da Figura 4.



Fonte: Elaborado pelos autores.

As metodologias destacadas podem ser adotadas em separado, conjuntamente ou até mesmo com novos aspectos não especificados. Outro caminho para essa análise seria ainda a criação de diferentes cenários tais como: Atual – atendimento atual em relação ao abastecimento de água e o esgotamento sanitário; Futuro – ampliação dos índices de coleta e tratamento de esgoto conforme planejamento local e; Ideal – projeção do aumento desses índices em relação à cobertura com abastecimento de água.

Ainda, programas e matrizes qualitativas de análise de potencial podem ser indicadas para facilitar as tomadas de decisão. Entretanto, a visualização das variáveis e etapas em mapas temáticos, de preferência com sobreposição de

camadas, produzidos no contexto do projeto, deve ser também considerada.

6. ANÁLISE ESPACIAL PARA TOMADA DE DECISÃO

Devido à complexidade e ao alto volume de dados da fase de construção do diagnóstico e avaliação do potencial de reúso de água, nomeadamente em projetos de grande porte, é importante sistematizar os dados a fim de validar todo o conteúdo produzido. Nesse sentido, a visualização para as tomadas de decisão mais assertivas é favorecida em mapas produzidos a partir de um Sistema de Informação Geográfica (SIG), que se apresenta como uma ferramenta

essencial para compilar e consolidar os dados coletados e analisados durante o diagnóstico.

Através do SIG, é possível desenvolver um banco de dados, modelar as informações e, por fim, produzir mapas ilustrativos que possibilitam o uso destas informações de forma interativa e prática pelos interessados. Em síntese, o SIG permite a identificação, caracterização, georreferenciamento, quantificação e qualificação das potencialidades de oferta e demanda para o reúso de água na área estudada. Essa possibilidade de organizar as informações coletadas no diagnóstico e analisá-las espacialmente é uma potente ferramenta de apoio à gestão. Entre as diversas decisões que podem ser auxiliadas, destacam-se: a avaliação de ampliação e otimização de sistemas de tratamento existentes; a concepção de novos sistemas de tratamento com vistas ao reúso de água; a localização de reservatórios estratégicos de água de reúso; a logística de transporte (por caminhão ou por adução); a estimativa de custos de transporte; a localização de novos empreendimentos de reúso de água; e a estimativa de custos de implantação de novas unidades.

Ressalta-se que é desejável a produção de painéis interativos, com interface simplificada, e disponíveis ao usuário do sistema de informações, de forma a trazer a possibilidade de inserção de novos dados, correção ou atualização. Entretanto, em função das características específicas e do porte de cada projeto, é possível desenvolvê-lo com menos recursos e disponibilizá-los sob a forma de mapas ilustrativos, que oferecem apenas um recorte temporal da situação.

De maneira geral, a análise espacial deve buscar interrelacionar tanto as variáveis destacadas no Quadro 1 (referentes à delimitação da área de estudo), como as etapas destacadas no Quadro 3 (referentes à avaliação de potencial). Em resumo, sugerem-se os seguintes dados:

- LO e LD de água de reúso com dados qualitativos e quantitativos, de acordo com a AQ realizada na fase de delimitação da área de estudo;
- Diferenciação (por cores ou formatos) de níveis de potenciais ofertas e demandas;
- Em relação às ETEs em estudo, localização dos atuais pontos de lançamento dos efluentes;

- AD em linha reta entre potenciais usuários e oferta de água de reúso;
- Marcação de rodovias para facilitar estimativas de distância entre ofertas e demandas, bem como de custos relacionados ao transporte, permitindo o EPC;
- Marcação de pontos notáveis como referência de localização e/ou que podem se apresentar como empecilhos na logística de transporte, como áreas de preservação;
- Marcação de regiões de interesse como delimitação de estados, municípios e bacias hidrográficas;
- Hidrografia e disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas;
- LAP com diferenciação de cores ou formatos, associando tabelas de visualização numérica;
- Informações relevantes em camadas de relevo, uso e ocupação do solo, vegetação, condições climáticas, tipos de culturas e equipamentos de irrigação predominantes em contexto de reúso na agricultura, e outros específicos para cada projeto.

Os mapas resultantes dessa análise espacial devem apresentar informações claras e objetivas, de acordo com o porte e as especificidades de cada projeto. Importante salientar que os dados que serão passíveis de sistematização e análise espacial estão diretamente relacionados à qualidade de dados disponíveis no momento do diagnóstico. Na Figura 5 estão apresentados três mapas elaborados no âmbito do estudo realizado por Melo et al. (2020), com diferentes objetivos, usando diferentes camadas de informação para sua representação.

Na Figura 6, encontra-se apresentado um exemplo de mapa interativo do Portal da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), somente a título de exemplo. Para visualização desse mapa, foi escolhido o estado do Rio de Janeiro, e as camadas de “disponibilidade hídrica” (com sua respectiva legenda) e de “localização das Estações de Tratamento de Esgotos”.

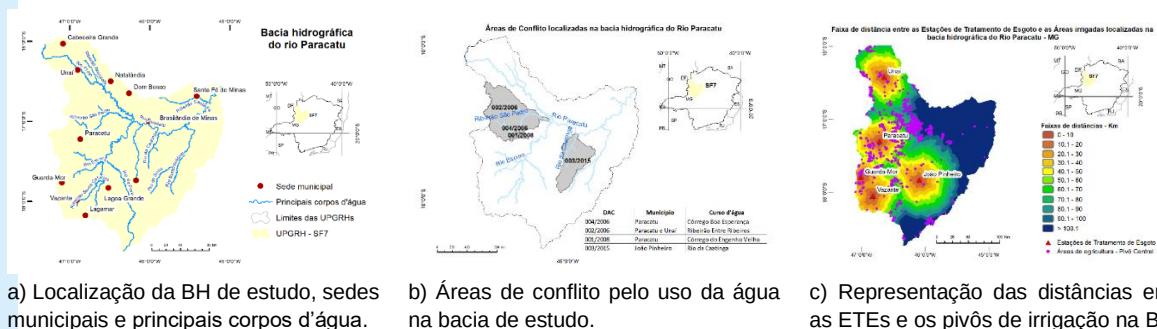
Os mapas ilustrativos da Figura 5, embora não disponham de interação com as diferentes camadas de informação, também são importantes e desejáveis para apresentação em relatórios e projetos. Contudo, ressalta-se que esses são

produzidos de acordo com cada objetivo e conjunto de dados. Caso haja alguma alteração de objetivo (seja desejável visualizar outra camada), ou atualização dos dados, o processo de análise espacial e de elaboração do mapa deve ser refeito. Portanto, esses mapas ilustrativos são ferramentas para a avaliação de potencial e tomadas de decisão que retratam o momento específico (objetivos e dados) no qual foi gerado. Em contrapartida, os bancos de dados e painéis interativos, exemplificados na Figura 6, fornecem ao usuário a flexibilidade de sobreposição de camadas e atualização, em tempo real, de novos *inputs* no banco de dados. Dessa forma, permitem tomadas de decisão mais

precisas e dinâmicas em relação às alterações das variáveis. Apesar das suas diferenças, ambos possuem aplicações e relevâncias específicas e são utilizados em função dos diferentes contextos de cada projeto.

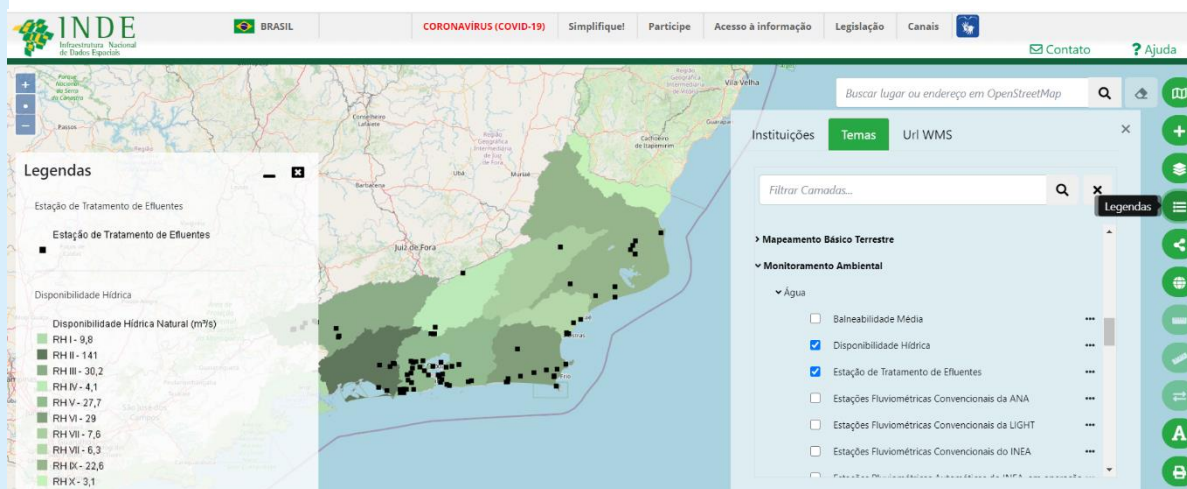
No caso dos bancos de dados e painéis interativos, ressalta-se que, após conclusão e entrega, é fundamental que haja a transferência do conhecimento através da capacitação da equipe de geoprocessamento responsável. Assim, o usuário responsável por operar e alimentar o sistema com os dados terá condições de proceder novas análises e melhorias que possam surgir a partir de outras demandas.

Figura 5: Mapas estáticos elaborados para estudo de avaliação de potencial de reúso em bacia hidrográfica



Fonte: Traduzido de Melo et al. (2020).

Figura 6: Mapa interativo – Estado do Rio de Janeiro, disponibilidade hídrica e estações de tratamento de efluentes



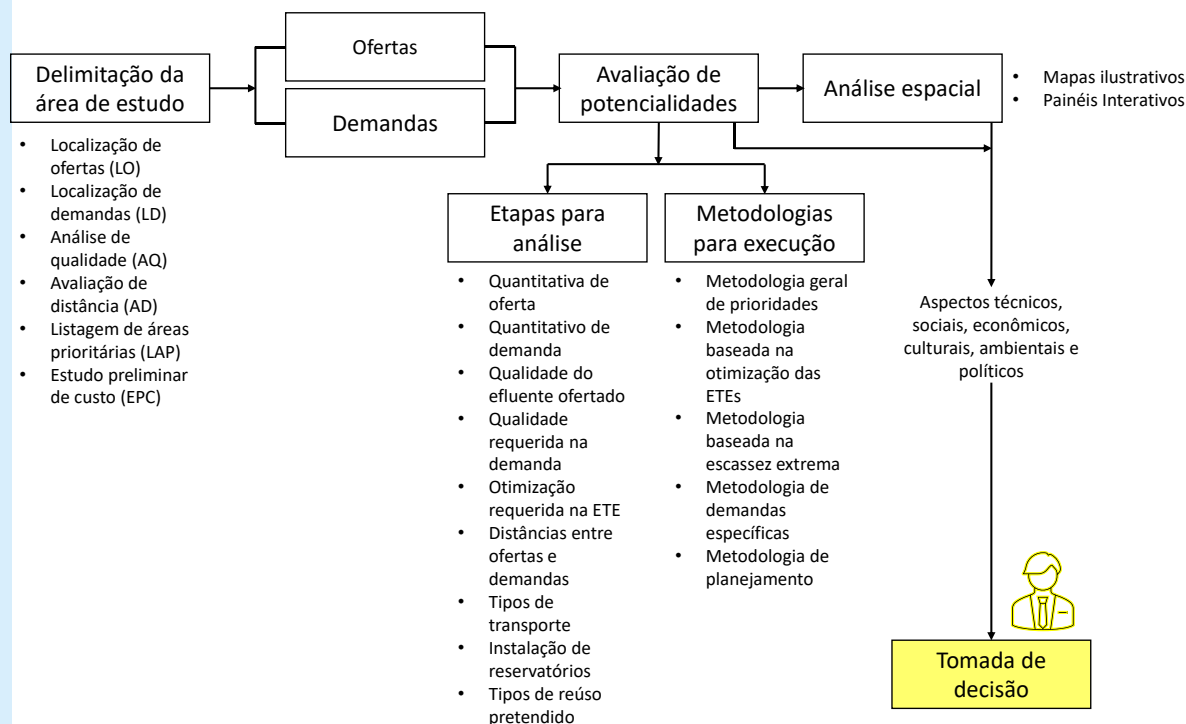
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na presente Nota Técnica, foi apresentada uma metodologia específica para a avaliação de potencialidades de reúso de água em uma determinada região de estudo. Nesse sentido, especificou-se o detalhamento sobre a delimitação de área de estudo e as variáveis que a compõem (LO, LD, AQ, AD, LAP e EPC), definidas no Quadro 1. Posteriormente, foram atribuídas especificidades relacionadas às potenciais ofertas e demandas de água, em função de suas localizações e levantamentos. De maneira geral, as potenciais ofertas são, basicamente, os efluentes das ETEs operadas nos limites da área de estudo; as potenciais demandas podem ser buscadas em diferentes fontes, com destaque para os documentos nacionais publicados pela ANA na base de dados do SNIRH e os dados de outorga de direito pelo uso da água, também disponibilizados pela ANA e/ou pelos órgãos estaduais de gestão de recursos hídricos. Tanto para os dados de possíveis ofertas como para os dados de possíveis demandas, sugere-se uma análise quali-quantitativa de dados históricos, baseada em uma estatística descritiva simples.

Posteriormente, deve-se desenvolver a avaliação de potencialidades, propriamente dita. Para essa avaliação são sugeridas etapas para análise e metodologias de execução. Por fim, todas as informações estudadas e sistematizadas podem ser agrupadas e georreferenciadas em ambiente SIG, que permita análise espacial dos dados sistematizados. Os resultados dessa fase, que podem ser materializados em painéis interativos ou mapas ilustrativos, são poderosas ferramentas para tomadas de decisão, com base em aspectos técnicos, econômicos, sociais, culturais, ambientais e políticos. Os bancos de dados e painéis interativos permitem a alimentação com novos dados, garantindo sua eficácia para planejamentos futuros; os mapas ilustrativos, indicados para projetos de portes mais reduzidos, são ferramentas estanques para as decisões mais imediatas, muito embora não devam ser tratados como menos importantes.

Na Figura 7, observa-se um fluxograma geral da metodologia de potencialidades regionais de reúso de água proposta, para facilitar o entendimento geral e auxiliar nos processos de tomada de decisão.

Figura 7: Fluxograma geral da metodologia de potencialidades regionais de reúso de água.



Fonte: Elaborado pelos autores.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos autores do artigo referenciado como Melo et al. (2020), de onde foram extraídos mapas, com o consentimento dos autores, para ilustração do conteúdo desta Nota Técnica.

REFERÊNCIAS

- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Capacitação de Recursos Hídricos v.7. Brasília, DF: ANA, 2014.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas**. Brasília, DF: ANA, 2017a.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Água na indústria: uso e coeficientes técnicos**. Brasília, DF: ANA, 2017b.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2019a.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**. Brasília, DF: ANA, 2019b.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2020a.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual**. Brasília, DF: ANA, 2020b.
- ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA, 2021.
- ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers Environmental Science**, v. 6, n. 26, 2018.
- ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOUZA, F. P. Comparativo Econômico Entre o Custo Estimado do Reúso de Efluentes de ETE para Fins Industriais Não Potáveis e o Valor da Água Potável para a Região Sudeste do Brasil. **Perspectivas Online**, v. 17, p. 51-61, 2017.
- ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. DE; OHNUMA JUNIOR, A. A. Aspectos econômicos para o reúso na agricultura na Bacia do Rio Paraíba do Sul e comparação com o modelo da gestão de cobrança em Israel. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul, Juiz de Fora, MG, 2018. **Anais [...]**, Juiz de Fora, MG, 2018.
- ARAUJO, B. M. **Avaliação da aplicabilidade da filtração terciária para condicionamento de efluente secundário a desinfecção por radiação ultravioleta**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. 2019.
- ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M.; SOARES, S. R. A.; PERDIGAO, C. A.; MELO, M. C. Avaliação do potencial de reúso de efluentes de ETE em áreas irrigadas da bacia hidrográfica Piancó-Piranhas-Açu com vistas a universalização. **Revista Augustus** (UNISUAM. Online), v. 24, p. 179-191, 2019.
- ASANO, T.; BURTON, F.; LEVERENZ, H.; TSUCHIHASHI, R.; TCHOBANOGLOUS, G. **Water reuse, issues, technologies, and applications**. New York: Metcalf & Eddy/AECOM, 1 ed., McGraw Hill, 2007.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, p. 140, 1988.
- BRASIL. **Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 1997.
- BRASIL. **Resolução CNRH nº 32, de 15 de outubro 2003**. Diário Oficial da União, Brasília, 17 de dezembro de 2003.
- BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2018**, p. 180. Brasília, 2019.
- GONÇALVES, R. F.; KELLER, R. P.; FRANCI, T. K. Análise comparativa das práticas de reúso de água cinza em edificações urbanas na Alemanha e no Brasil. **Revista DAE**, v. 67, p. 75-89, 2019.
- HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p.131-158, 2008.

INDE. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2021. Disponível em: <https://visualizador.inde.gov.br>. Acesso em: 8 de fev. 2021.

INTERÁGUAS - PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS.

Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto III – Critérios de qualidade de água. Brasília. 2017.

LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P.; Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. **Water Supply** 2020, doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2020.280>. 2020a.

LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P. Uso do Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas no desenvolvimento de trabalhos científicos. **Sustinere: Revista de Saúde e Educação**, v. 8, p. 102-123, 2020b.

MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P.; SANTOS, N. A. P.; ARAUJO, B. M.; OLIVEIRA, J. R. S.; CAMPOS, A. R. Evaluation of potential use of domestic treated effluents or irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu River Basin. **Caminhos da Geografia** (UFU. Online), v. 21, p. 52-63, 2020.

OCDE. **Cobranças pelo uso de recursos hídricos no Brasil: Caminhos a seguir.** Éditions OCDE, Paris, 2017.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

SANTOS, A. S. P.; LIMA, M. A. M.; RAMOS, L. T. A.; PEREIRA, C. B.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. Capacidade de reúso de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul. **Semioses** (Rio de Janeiro), v. 12, p. 16-33, 2018.

SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Reúso De Água Para O Desenvolvimento Sustentável: Aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 8, p. 50-68, 2020.

SOUZA, E. J. de; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; KATO, M. T. Níveis de adubação no cultivo de melancia irrigado com esgoto. **Revista DAE**, v. 65, p. 94-106, set. 2017.

WWAP. World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2017. **Wastewater: The Untapped Resource**. Paris, UNESCO. 2017.

WWAP. World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2019. **Leaving No One Behind**. Paris, UNESCO. 2019.

Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions

Maíra Lima, Bruna Magalhães de Araujo, Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares, Ana Silvia Pereira Santos and José Manuel Pereira Vieira 

ABSTRACT

The present paper carried out an evaluation of the reuse potential of the Wastewater Treatment Plants (WWTPs) effluents for irrigation in the 12 Brazilian Hydrographic Regions (BHRs). For this purpose, initially, the WWTPs were categorized and the effluent flow rate was estimated. Category 1 represents secondary effluent with an efficiency of organic matter removal greater than 80%; Category 2 represents effluent that underwent some disinfection step; and effluents that perform less than the other categories were called 'Uncategorized'. After that, the irrigation water demands for each BHRs were compiled, and finally, the production of water for reutilization was compared with the demand for irrigation. Thus, it was observed that all the sewage flow rates generated in Brazil classified in Categories 1 and 2 represent 9% of the total irrigation water demand in the country (1,078.71 m³/s) and it stands out that only 7% of the flows treated in Brazil undergo a tertiary treatment step.

Key words | Brazilian Hydrographic Regions, irrigation water demand, wastewater treatment plant, water availability, water resources management, water reuse

Maíra Lima (corresponding author)

Bruna Magalhães de Araujo

Ana Silvia Pereira Santos

Engenharia Ambiental e Sanitária, Depto. de Eng.

Sanitária e Meio Ambiente,

Universidade do Estado do Rio de Janeiro,

Rio de Janeiro, RJ,

Brazil

E-mail: mairalima.90@gmail.com

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Agência Nacional de Águas,

Rio de Janeiro,

Brazil

José Manuel Pereira Vieira 

University of Minho

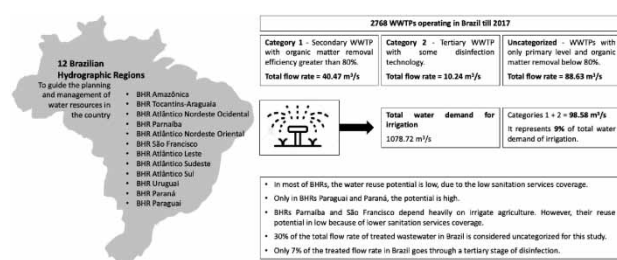
HIGHLIGHTS

- In Brazil, irrigation demands 52% of water withdrawals.
- There are 12 BHRs for guiding the management of water resources.
- Flow rate of WWTP effluent with an organic matter removal efficiency greater than 80% represents 9% of the total water demand for irrigation.
- There are some BHRs with a high potential of reuse for irrigation.
- Some BHRs present high demand for irrigation, but with low sewage treatment coverage.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Licence (CC BY 4.0), which permits copying, adaptation and redistribution, provided the original work is properly cited (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

doi: 10.2166/ws.2020.280

GRAPHICAL ABSTRACT



INTRODUCTION

Although Brazil has large water reserves, about 12–16% of the total amount available in the world (Ramos 2016), its water availability is not evenly distributed throughout its territory. Approximately 260 thousand m³/s of water flows through Brazilian territory and of this amount, 80% is in the Amazon region, where there is the smallest portion of the population and the lowest water use demand (ANA 2018).

This context, which can become even more complex in a scenario of climate change and increased water use, leads to water stress in some regions of Brazil, like currently in the Southeast (ANA 2018). In the Semi-Arid Region, which covers the states of the northeast region (Alagoas, Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, and Sergipe), in addition to the north of the Minas Gerais state, the water scarcity is historic. Thus, this region has one of the lowest socioeconomic development rates in the country. The surface water availability in Brazilian territory is presented in Figure 1, with emphasis on the Semi-Arid region.

In 2003, according to Resolution No. 32 of the National Water Resources Council (Brazil 2003), Brazilian territory was divided into 12 Brazilian Hydrographic Regions (BHRs), with the objective of guiding the water resources planning and management in the country: (1) Amazônica, (2) Tocantins-Araguaia, (3) Atlântico Nordeste Ocidental, (4) Parnaíba, (5) Atlântico Nordeste Oriental, (6) São Francisco, (7) Atlântico Leste, (8) Atlântico Sudeste, (9) Paraná, (10) Uruguai, (11) Atlântico Sul, and (12) Paraguai. The 12 BHRs are represented in the map in Figure 2. The main characteristics of the 12 BHRs are shown in Table 1.

The BHRs with the most critical water levels are Atlântico Nordeste Oriental, located in the Semi-arid Region; and Atlântico Sul, which has extremely high water demand for irrigation. In addition, BHRs Atlântico Leste and São Francisco have high water demands in comparison with their water availability (ANA 2018).

Throughout the world, due to water scarcity and the increase in water use conflicts, water conservation and reuse have gained prominence as water resource management tools (Angelakis *et al.* 2018). In addition, population growth, climate instability, and increased demand for food culminated in a scarcity of water of adequate quality for irrigation (Ahmadi & Merkley 2017; Maryam & Buyukgungor 2019).

The water reuse for irrigation purposes was already adopted in the world since the prehistoric period to the current, considering different aims and perspectives throughout these years (Mays *et al.* 2007; Angelakis & Spyridakis 2013; Angelakis *et al.* 2018). Nowadays, irrigated agriculture accounts for approximately 70% of total freshwater in the world, and this value is even higher in many developing countries (Peng *et al.* 2019). In Brazil, according to ANA (2019), irrigation demands about 52% of water withdrawals, followed by urban supply, the processing industry and animal supply.

Thus, the main destination of reclaimed water in the world is irrigated agriculture (Angelakis *et al.* 2018). However, it is important to highlight that this reclaimed water comes mainly from wastewater treatment plants (WWTPs). It is estimated that more than 10% of the world's population consumes agricultural products produced through wastewater irrigation (Jeong *et al.* 2016).

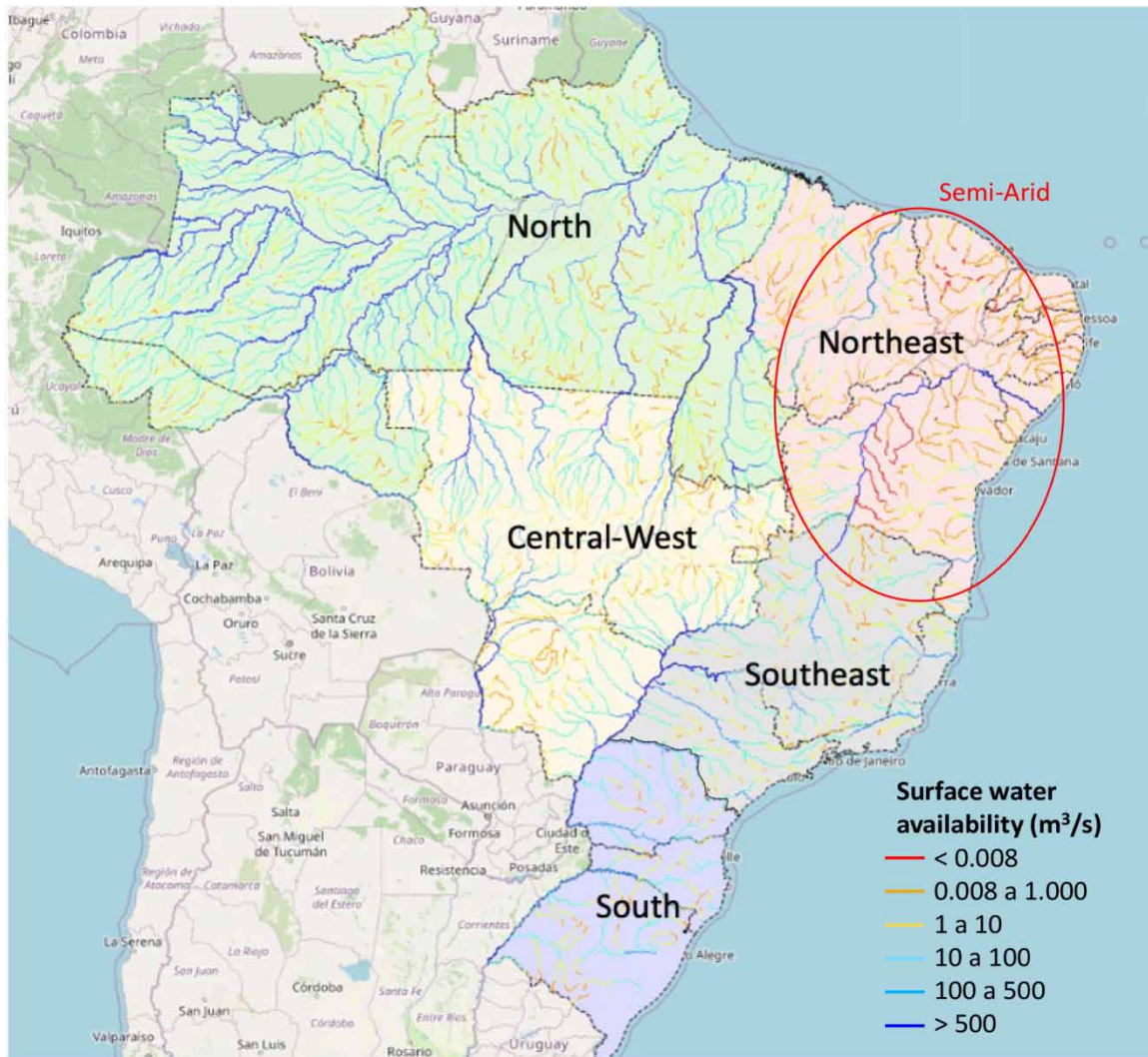


Figure 1 | Surface water availability in Brazil – highlights for the Semi-Arid region – modified from INDE (2020).

Regions with high rates of wastewater treatment have, theoretically, a greater potential for generating water for reutilization. This is the case in Israel, which treats 97% of the wastewater generated and reuses 80% of it in irrigation, supplying 40% of the demand for this purpose (Marin *et al.* 2017). In Brazil, only 42.6% of the wastewater generated is treated (ANA 2017), reducing its potential for reuse.

In general, water reuse in agriculture becomes an effective alternative source of water for production of different crops and also the supply of nutrients in the practice of fertigation (Maryam & Buyukgungor 2019). However, negative aspects such as the accumulation of substances that hinder

plant growth, the potential damage to the soil through the transformation of its physical-chemical characteristics, and contamination by microorganisms must be evaluated (Xu *et al.* 2010).

The quality required for irrigation depends mainly on the type of consumption, cultivation, and irrigation for each crop. This quality requirement is related to the greater or lesser possibility of microbiological contamination, both from users and workers and from the soil (Beaudequin *et al.* 2015; Chhipi-Shrestha *et al.* 2017; Rock *et al.* 2018).

According to Maryam & Buyukgungor (2019), primary effluent is not recommended for reuse in agriculture;



Figure 2 | Distribution of Brazilian Hydrographic Regions and representation of the federative units – modified from ANA (2017).

secondary effluent (biological oxidation) is recommended for surface irrigation of orchards and vineyards and non-food crop irrigation; tertiary effluent (chemical coagulation, nutrient removal, filtration, and disinfection) is recommended for food crop irrigation. However, Tsagarakis *et al.* (2013) suggest that even primary treatment effluent can be used in controlled irrigation, if adequate precautionary and safety measures are taken.

Thus, the present work aims to evaluate, in a preliminary way, the potential of reuse for irrigation, of the effluents from all of wastewater treatment plants operating

in Brazil (2,768 facilities) and allocated in the 12 different Brazilian Hydrographic Regions.

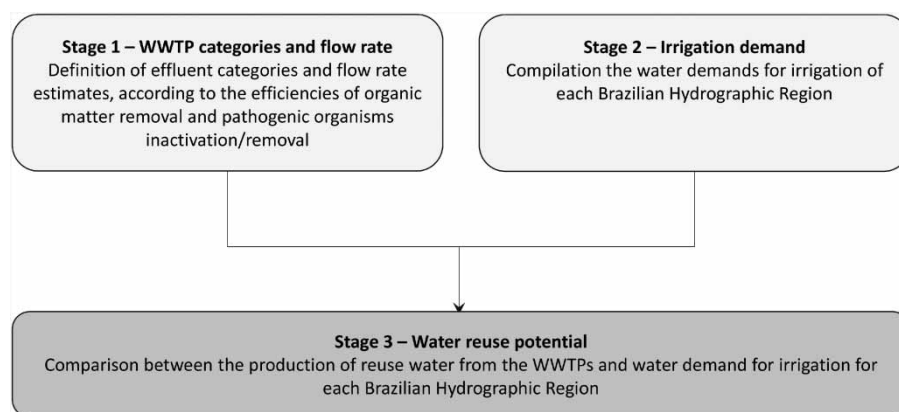
MATERIAL AND METHODS

The study was developed in three stages (Figure 3), as of the consolidation of public data presented in national documents (Table 2) related to all of the wastewater treatment plants in operation (2,768 facilities) and to the water demands for irrigation in each BHR.

Table 1 | Main characteristics of Brazilian hydrographic regions (Veiga & Magrini 2013)

Brazilian hydrographic regions	Area (km ²)	States ^a	Population (10 ⁶)	Main river basins
Atlântico Sudeste	214,629	MG, ES, RJ, SP, PR	27.4	Paraíba do Sul, Doce
Paraná	879,873	SP, PR, MS, MG, GO, SC, DF	61.0	Paraná, Grande, Capivari, Jundiá, Paranapanem, Piracicaba
São Francisco	638,576	BA, MG, PE, AL, SE, GO, DF	13.9	São Francisco
Atlântico Nordeste Oriental	286,802	PI, CE, RN, PB, PE, AL	23.4	Capibaribe, Una, Paraíba, Jaguaribe, Acaraú
Amazônica	3,869,953	AC, AM, RO, RR, AP, PA, MT	9.1	Amazonas
Tocantins-Araguaia	921,921	GO, TO, PA, MA, MT, DF	8.0	Tocantins, Araguaia
Parnaíba	333,056	PI, MA, CE	4.0	Parnaíba
Atlântico Nordeste Ocidental	274,301	MA, PA	5.8	Gurupi, Munim, Mearim, Itapecuru,
Uruguai	174,533	RS, SC	4.0	Uruguai
Paraguai	363,446	MT, MS	2.0	Paraguai
Atlântico Sul	187,552	SP, PR, SC, RS	13.0	Itajai, Capivari, Taquari-Antas, Jacuí, Vacacaí, Camaquã, Lagoa Mirim, Patos
Atlântico Leste	388,160	BA, MG, SE, ES	15.1	Paraguaçu, Pardo, Contas, Salinas, Mucuri, Itapecuru, Jequitinhonha

^aAC – Acre, AL – Alagoas, AP – Amapá, AM – Amazonas, BA – Bahia, CE – Ceará, ES – Espírito Santo, GO – Goiás, MA – Maranhão, MT – Mato Grosso, MS – Mato Grosso do Sul, MG – Minas Gerais, PA – Pará, PB – Paraíba, PE – Pernambuco, PI – Piauí, RJ, Rio de Janeiro, RN – Rio Grande do Norte, RS – Rio Grande do Sul, RO – Rondônia, RR – Roraima, SC – Santa Catarina, SP – São Paulo, SE – Sergipe, TO – Tocantins, DF – Distrito Federal.

**Figure 3** | Flowchart of the steps adopted in the research.**Table 2** | Main national public documents used in data generation of the research

Nº	Document title (original and translation)	Description	Source
1	<i>Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas</i> (Wastewater atlas: river basins depollution)	It gathers the wastewater diagnosis of all 5,570 urban municipalities in Brazil, the impact of the effluent discharging and the planning for the wastewater treatment, with data to 2013	ANA (2017)
2	<i>Manual de usos consuntivos da água no Brasil</i> (Manual of consumptive water uses in Brazil)	It contemplates the definition of methods, the construction of a database beyond the production, storage, and availability of estimates consumptive water uses for all Brazilian municipalities	ANA (2019)

Stage 1 – definition of WWTP categories and flow rate estimative

For this stage of the research, the following data was extracted from document 1 (Wastewater atlas: water basins depollution), for each Brazilian municipality: (i) existence of WWTP; (ii) efficiency in organic matter removal; (iii) treatment technologies adopted in the WWTP; (iv) operational flow rate.

Subsequently, study categories were defined in relation to the performance of organic matter removal and pathogenic organisms' removal/inactivation. This categorization aimed to classify effluents in two situations:

- Category 1 – Secondary WWTP with organic matter removal efficiency greater than 80%: To produce effluent available to reuse in most of crops, it would be needed only to include a disinfection tertiary step.
- Category 2 – Tertiary WWTP with some disinfection technology (mostly maturation ponds): Effluent can be distributed for direct reuse for the irrigation of most crops.

The WWTPs with only primary level or only UASB (upflow anaerobic sludge blanket) reactor and organic matter removal efficiency below 80% were not categorized. They were considered for this study as 'uncategorized' because these facilities require high investments to adapt the effluent to reuse, since they would still need a secondary stage or a polishing prior to disinfection.

It is important to discuss the issue of the type of crop to be irrigated and, therefore, the quality of the water required for this purpose. In this sense, this article does not consider a discussion in relation to water quality standards, but rather evaluates possibilities for reuse depending on demand and supply in different qualities. These qualities are represented here according to the categories defined for the study and previously mentioned.

Stage 2 – irrigation water demand

For this stage of the research, the data of water demand for irrigation for each BHR were extracted and compiled from document 2 (Atlas irrigation: water use in irrigated agriculture).

The water demand for irrigation varies depending on some factors, such as rainfall regime (spatial and temporal distribution), evapotranspiration rates, seasonality, amount of water required depending on the crop to be irrigated, quality of the soil, soil capacity of water storage and the types of irrigation.

Stage 3 – water reuse potential

In this stage, a comparison was made between the flow rate data of the WWTPs, according to Categories 1 and 2, defined in Stage 1 and the water demand for irrigation in each Hydrographic Region compiled in Stage 2. Finally, it was possible to accomplish a critical analysis of the management of water resources in Brazil and the inclusion of water reuse in the national water matrix.

RESULTS AND DISCUSSION

Stage 1 – definition of WWTP categories and flow rate estimative

Initially, all the WWTPs in operation in the country were allocated in their respective Brazilian Hydrographic Regions. Furthermore, the WWTP flow rates were divided into the two categories described in the methodology.

Table 3 shows both the effluent flow rates from the WWTPs divided into the two categories (01 and 02), as well as the flows classified as 'uncategorized', in each of the 12 Brazilian Hydrographic Regions.

The Paraná Hydrographic Region has an area of approximately 10% of the national territory and covers the states of São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina, and Federal District. BHR Paraná is of great importance at national level since it is the region with the greatest economic development in the country and it also presents the greatest demand for resources (ANA 2015). In this way, it is observed that in this BHR there are the highest WWTP total flows and by category compared to the others. According to ANA (2015), its population is predominantly urban, with around 93% of the total of its inhabitants.

Table 3 | Distribution of WWTPs flow rates in Brazilian Hydrographic Regions, and the categories defined in the study

Brazilian Hydrographic Region	Total flow rate (m ³ /s)			
	Uncategorized	Category 1	Category 2	Total
Amazônica	0.92	0.37	0.18	1.47
Atlântico Leste	0.48	0.93	0.94	2.35
Atlântico Nordeste Ocidental	0.18	0.01	0.06	0.25
Atlântico Nordeste Oriental	4.31	4.60	0.69	9.59
Atlântico Sudeste	5.07	11.69	0.86	17.62
Atlântico Sul	3.36	1.74	0.33	5.43
Paraguai	0.55	1.30	0.13	1.97
Paraná	21.32	57.88	5.50	84.70
Parnaíba	0.24	0.02	0.33	0.58
São Francisco	3.26	9.30	0.45	13.01
Tocantins-Araguaia	0.43	0.34	0.70	1.47
Uruguai	0.35	0.45	0.09	0.89

The second BHR with the highest total effluent flow rate is Atlântico Sudeste. This region has the second largest population in Brazil and a great urban concentration (92% of the total) (ANA 2015). However, in relation to Category 2, its flow rate is lower than that generated at HR Atlântico Leste. This is because, in the latter, there are 15 large WWTPs that include maturation ponds in their flowcharts.

HR Atlântico Nordeste Ocidental presents considerably reduced effluent flow rates due to the low sewage collection and treatment rates in the region: 28% of the sewage is collected and only 8% of the total generated is treated (ANA 2015). In this case, almost the entire state of Maranhão is in this region. Its most important city, the capital São Luís, has only 4% of treated wastewater, according to ANA (2017). Although the second largest municipality, the state of Maranhão, presents 100% of sewerage service covered, 95% of the population is served with septic tanks and only 5% with collection and treatment through the centralized system (ANA 2017).

In all BHRs except four (Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, and Tocantins-Araguaia), the flow rates corresponding to Category 2 are lower to those of Category 1. This demonstrates little commitment of environmental sanitation management to adopt WWTPs

with a disinfection stage in Brazil. It is also noticed that around 7% of the flow rate treated in Brazil goes through a tertiary stage of disinfection. It is noteworthy that in this country, there is a huge gap in the application of integrated wastewater management – IWM (centralized and decentralized) and integrated water and wastewater management – IWWM. According to Angelakis *et al.* (2018), IWM and IWWM are important trends in the environmental engineering and water resources field. Finally, the concept of ‘one water’ should merge individual water and wastewater departments into one unique department to develop more thoughtful, rational, and cost-effective solutions to meet future water needs.

Another unsatisfactory scenario is related to the BHRs that have flow rates allocated in the item ‘Uncategorized’, higher than the flows of Categories 1 and 2. This occurs in the BHRs Amazônica, Atlântico Nordeste Ocidental, and Atlântico Sul. This means that almost 30% of the total wastewater treated in Brazil corresponds only to the primary or advanced primary stages.

In this discussion, the importance of increasing wastewater treatment coverage rates is highlighted, not only in the sense of compliance with the national guidelines for effluent discharges, but also in relation to the production of higher volumes of water for reutilization. This action could be the target of areas with lower rates of socioeconomic development (Maryam & Buyukgungor 2019).

Stage 2 – irrigation water demand

The flow rate values corresponding to the water demands for irrigation of each BHR are shown in the schematic drawing and the graphic representation of Figure 4.

According to Figure 4, in the south of Brazil there is intense activity focused on irrigation, with high demand for this use in the BHRs Atlântico Sul, Uruguai and Paraná. It should be noted that in BHR Paraná there is the largest irrigated area in the country, corresponding to 36% of the total (ANA 2015).

In the northeast of the country, high demand for irrigation is observed only in BHR São Francisco, which has approximately half of its area in the Semi-Arid region. It is estimated that this area represents 10.9% of the total irrigated area in Brazil (ANA 2015).

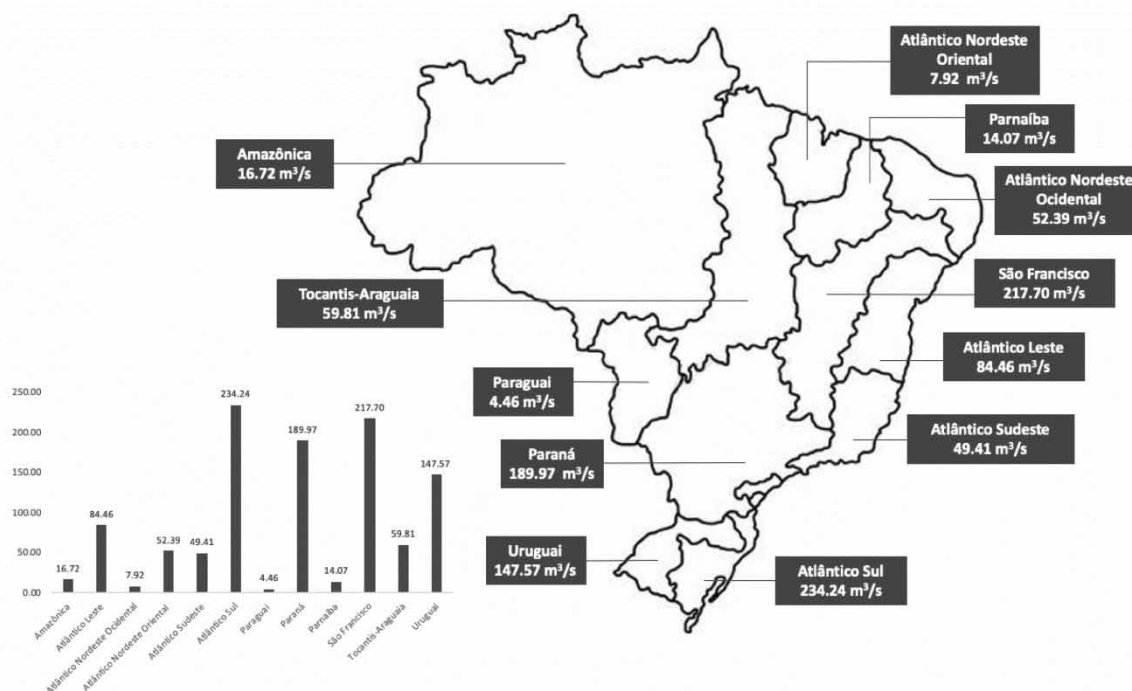


Figure 4 | Graphical representation and schematic drawing of the flow rates corresponding to the irrigation water demands for the Brazilian Hydrographic Regions.

There is lower water demand for irrigation in BHRs Paraguai, Parnaíba, and Amazônica. Much of the BHR Paraguai area is occupied by the Pantanal biome, characterized by well-defined periods of flood and drought and the main activity in this region is livestock (ANA 2015; Figueiredo et al. 2016). BHR Parnaíba has irrigated agriculture as its main activity. However, its bigger part is within in the Brazilian Semi-Arid region and presents characteristics of intermittent rainfall. Thus, there is a need to encourage alternative sources of water to increase the region's socio-economic development. BHR Amazônica has a great extent of forest, with 85% of its territory occupied by native vegetation, and many of the cultivated crops do not require irrigation (ANA 2015).

For other regions, water demand for irrigation varies between $48.41 \text{ m}^3/\text{s}$ in the BHR Atlântico Sudeste and $84.46 \text{ m}^3/\text{s}$ in the BHR Atlântico Leste. In BHR Atlântico Leste, low water availability and intermittency of most rivers may become limiting for the expansion of agricultural activities. Thus, the availability of alternative sources of water such as water for reuse can leverage the socioeconomic development of the region. Finally, BHR Tocantins-Araguaia

is important in the national context, as it is characterized by the expansion of the agricultural frontier. This expansion could be more accentuated with the inclusion of other sources of water for irrigation, since most of the current irrigated area is private (97%), fostering the potential for reuse for the development of agribusiness (ANA 2015, 2018).

Stage 3 – water reuse potential

Table 4 shows the water demand values for irrigation and effluent flow rates divided into the categories defined for the study, in each Brazilian Hydrographic Region. The values referring to uncategorized flow rates are not included in this session.

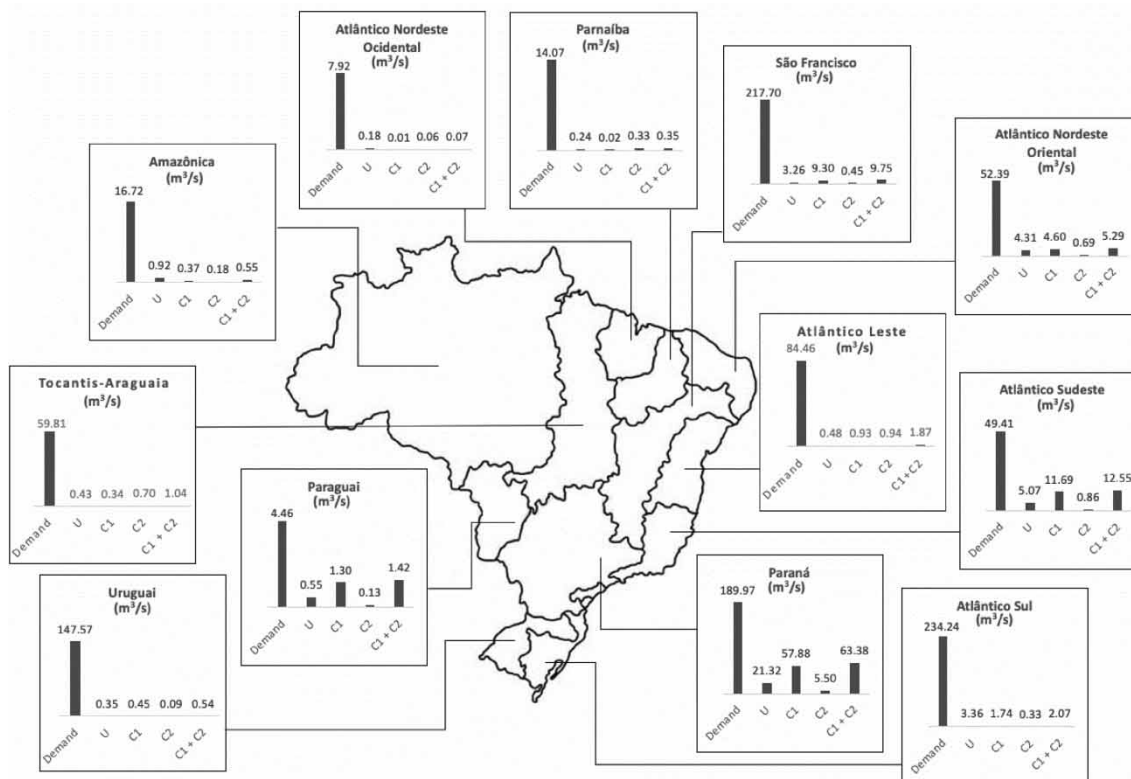
In general, in all BHRs, the effluent flow rates of Category 1 and/or Category 2 are significantly lower than the water demand for irrigation. However, it is noteworthy that for BHRs Atlântico Sudeste, Paraguai and Paraná, the effluent flows of Category 1 represent approximately 24, 29, and 30% of the water demand of irrigation, respectively. In relation to Category 2, none of effluent flow rates reaches more than 3% of demand and the one with the highest ratio is HR Paraná with 2.9%.

Table 4 | Distribution of water demands for irrigation and WWTP effluent flow rates in each category for BHRs

Brazilian Hydrographic Region	Water demand for irrigation (m ³ /s)	Total flow rate (m ³ /s)	
		Category 1	Category 2
Amazônica	16.72	0.37	0.18
Atlântico Leste	84.46	0.93	0.94
Atlântico Nordeste Ocidental	7.92	0.01	0.06
Atlântico Nordeste Oriental	52.39	4.60	0.69
Atlântico Sudeste	49.41	11.69	0.86
Atlântico Sul	234.24	1.74	0.33
Paraguai	4.46	1.30	0.13
Paraná	189.97	57.88	5.50
Parnaíba	14.07	0.02	0.33
São Francisco	217.70	9.30	0.45
Tocantins-Araguaia	59.81	0.34	0.70
Uruguai	147.57	0.45	0.09

In order to facilitate understanding and include new questions for discussion, in Figure 5, the following data are presented graphically for each Brazilian Hydrographic Region: (i) irrigation demand; (ii) effluent flow rate considered as ‘uncategorized’; (iii) effluent flow rate in Category 1; (iv) effluent flow rate in Category 2; and (v) total effluent flow rate corresponding to the summation between flow rates of Categories 1 and 2.

At BHR Paraná, the total flow corresponding to the sum of Categories 1 and 2 is 63.38 m³/s and represents 33% of the water demand for irrigation. If ‘uncategorized’ WWTPs were to be added to this total, with their due interventions to adjust the effluent, this value would be 44%. It should be noted that this is a considerable percentual and, therefore, the governance of this region should add this issue to the planning of water resources. Still, it is important to highlight that, because it is the most developed region in the country. The supply of an alternative source of water for irrigation could not only lead to economic growth but also the

**Figure 5** | Graphical and schematic representation of the flow rates corresponding to the water demands for irrigation and the effluent flow rates of WWTP for each BHR, distributed in three categories of the study. Note: U – Uncategorized. C1 – Category 1. C2 – Category 2. C1 + C2 – Category 1 plus Category 2.

reduction of conflicts over the use of water (Nölting & Mann 2018).

At BHR Paraguai, the uncategorized effluent (representing 12% of the water demand for irrigation) added to the effluents of Categories 1 and 2 represent 44%, similarly to HR Paraná. The water demand for irrigation in this BHR is only 4.46 m³/s and in BHR Paraná is 189.97 m³/s. Thus, there is a need to adapt these WWTPs (uncategorized), not only to comply with the current legislation on effluent discharges, but also to structure reuse planning in emergency situations.

The BHR Atlântico Sudeste also deserves to be highlighted for its high potential for the adoption of water reuse in irrigation. The flow rates of Categories 1 and 2 combined represent 25% of water demand for irrigation. When the 'uncategorized' flow rate is added, this ratio increases to 35%. Again, the discussion supports the need for more attention to WWTPs and their performance.

In the 12 HRs, eight of them (Amazônica, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Atlântico Sul, Parnaíba, São Francisco, Tocantins-Araguaia and Uruguai) present ratios of Categories 1 and 2 flow rates below 5% of the water demand for irrigation. This scenario demonstrates the country's fragility in relation to wastewater treatment and, consequently, the generation of water for reutilization as an alternative source for the irrigation of several crops. It is observed that the water demand in these regions is not high; actually, the wastewater treatment rates are low. This is the case, for example, of BHR Parnaíba, where the sewage collection rate in 2012 was 18%, the lowest among the 12 Brazilian Hydrographic Regions, as mentioned by ANA (2015).

Regarding the sanitary deficit faced in Brazil and the imminent need to apply the practice of water reuse to minimize the drought impacts that will be aggravated by climate changes and water use growth, the need to achieve universal sanitation is evident. This is not only to minimize the pollution of water bodies, but also to provide, in quantitative terms, effluents treated for the practice of water reuse.

In the Brazilian Semi-Arid region, the driest area in the country, 470 municipalities have intermittent or ephemeral water bodies. Thus, in addition to the need to remove BOD (Biochemical Oxygen Demand), it is important to take into account the practice of water reuse and/or prioritize treatment processes that result in high removal and inactivation of pathogenic microorganisms (ANA 2017).

The BHR Nordeste Oriental has a relative potential for water reuse in irrigation. For this, Category 1 effluent represents 9% of the water demand and if added to the 'uncategorized' effluent, this ratio becomes 17%. Apparently, this is a good percentual. However, the Category 2 rate represents less than 2%. Again, it demonstrates the fragility in terms of tertiary effluent generation, with good performance in relation to the removal and inactivation of pathogenic organisms.

The BHR Uruguai has the fourth largest water demand for irrigation in the country. However, the sum of all effluent flow rates, including 'uncategorized' ones, represents less than 1% of this demand. Thus, the need for adequate planning for the generation of water for reutilization is highlighted, with the aim of achieving universalization.

According to the results presented in Table 4, it can be observed that, hypothetically, if all the WWTPs in Categories 1 and 2 reused 100% of their effluents, it would be possible to produce almost 100,000 liters of water for reutilization per second, substantially reducing the amount of water captured from the sources. Although this statement seems inaccessible, it is worth remembering that Israel reuses 87% of all the effluent generated in the country (Marin *et al.* 2017).

Angelakis *et al.* (2018) indicate some important issues and challenges will need to be resolved to optimize water reclamation and reuse: (a) the development of more effective techniques and methods incorporating risk assessment to assess human and environmental health effects of wastewater constituents, and (b) the development of appropriate water reclamation and reuse regulations, applicable to different situations, which will both help to promote reuse as well as regulate it. However, there is still no adequate framework in Brazil for laws that regulate the practice of water reuse in the country.

CONCLUSION

Generally, in quantitative terms, the WWTPs in operation in Brazil generate 88.18 m³/s of effluent in Category 1 and 10.24 m³/s in Category 2. These values in total represent 9% of the total water demand for irrigation in the country (1,078.71 m³/s).

Only in two Brazilian Hydrographic Regions (Paraná and Paraguai), is the installed potential high, around 44% of demand, considering the effluents from all categories. However, in most of them, the potential is low, due to the low attendance rates in relation to sanitation.

In situations where the installed potential is high, it is necessary to consider the operational levels of the WWTPs, to guarantee an adequate quality for reuse. In cases of low installed potential, it is necessary to assess the capacity to implement complementary units for such a practice, in addition to advances in service rates, with a view to universalization and water security.

The Brazilian Hydrographic Regions Parnaíba and São Francisco depend heavily on irrigated agriculture. Thus, water scarcity can curb socioeconomic growth of these regions, bringing water for reutilization with an important planning factor. In these two cases, the intermittent rainfall accompanied by climate change and population growth aggravate the situation. Furthermore, the sanitation services coverage is low and must be assessed for adequate water resources and sanitation management.

Only 7% of the treated wastewater flow rate in Brazil goes through a tertiary stage of disinfection, showing a fragility in relation to the quality of the effluent both for discharging and for the application of the practice of water reuse.

It is reinforced that the present work took into consideration only the amount of effluent generated in relation to the water demand for irrigation in each Brazilian Hydrographic Region. Thus, it is concluded that for the effective adoption of the practice of water reuse in planning, it is necessary to take into account the locations of both WWTPs, irrigated fields and transport, and storage logistics, in addition to the different levels of quality required for each type of culture. Still, in this work, an estimate with punctual flows was adopted. However, these flow rates that represent demands can occur on a seasonal basis in irrigation.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to acknowledge Mrs Vimbai Pachawo, from the Ministry of Lands, Agriculture, Water, Climate and Rural Resettlement (Zimbabwe), for the

English review. She is a student of PhD Program in University of Minho and member of the research group.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

All relevant data are included in the paper or its Supplementary Information.

REFERENCES

- Ahmadi, L. & Merkley, G. P. 2017 *Wastewater reuse potencial for irrigated agriculture*. *Irrigation Science* **35** (4), 275–285. doi:10.1007/s00271-017-0539-7.
- ANA 2015 *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Informe 2015 (Conjuncture of Water Resources in Brazil – Report 2015)*. Brasília.
- ANA 2017 *Atlas Esgotos: Despoluição de bacias hidrográficas (Wastewater Atlas: Water Basins Depollution)*. Brasília. Available from: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/> (accessed 2019)
- ANA 2018 *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil (Conjuncture of Water Resources in Brazil)*. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília. Available from: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>
- ANA 2019 *Manual de usos consuntivos da Água no Brasil (Manual of Consumptive Water Uses in Brazil)*. Retrieved 2019.
- Angelakis, A. & Spyridakis, S. 2013 *Major urban water and wastewater systems in Minoan Crete, Greece*. *Water Science & Technology: Water Supply* **13** (3), 564–573.
- Angelakis, A., Takashi, A., Bahri, A., Jimenez, B. & Tchobanoglous, G. 2018 *Water reuse: from ancient to modern times and the future*. *Frontiers in Environmental Science* **6** (28), 6(26), doi: 10.3389/fenvs.2018.00026.
- Beaudequin, D., Harden, F., Roiko, A., Stratton, H., Lemckert, C. & Mengersen, K. 2015 *Modelling microbial health risk of wastewater reuse: a system perspective*. *Environmental International* (84), 131–141. doi:10.1016/j.envint.2015.08.001.
- Brazil 2003 *Resolução nº 32 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Resolution nº 32 of the National Resources Council)*. Brasília, Brasil.
- Chhipi-Shrestha, G., Hewage, K. & Rehan, S. 2017 *Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: probabilistic risk-based investigation and recommendations*. *Science of the Total Environment* (576), 738–751. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.105.
- Figueiredo, D., Dores, E., Paz, A. & Souza, C. 2016 *Availability, uses and management of water in the Brazilian Pantanal*. In: *Tropical Wetland Management – The South American*

- Pantanal and International Experience* (A. R. Ioris, ed.). Routledge, New York, NY, p. 333.
- INDE 2020 *Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (National Spatial Data Infrastructure)*. Available from: <https://www.inde.gov.br/VisualizadorMapas> (accessed 12 December 2020).
- Jeong, H., Kim, H. & Jang, T. 2016 Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: a contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. *Water* **8** (4). 8(169). <https://doi.org/10.3390/w8040169>.
- Marin, P., Tal, S., Yeres, J. & Ringskog, K. 2017 *Water Management in Israel: Key Innovations and Lessons Learned for Water Scarce Countries*. World Bank, Washington, DC.
- Maryam, B. & Buyukgungor, H. 2019 Wastewater reclamation and reuse trends in Turkey: oportunities and challanges. *Journal of Water Process Engineering* **30**, 100501.
- Mays, L. W., Koutsoyiannis, D. & Angelakis, A. 2007 A brief history of urban water supply in antiquity. *Water Science & Technology: Water Supply* **7** (1), 1–12.
- Nölting, B. & Mann, C. 2018 Governance strategy for sustainable land management and water reuse: challenges for transdisciplinary research. *Sustainable Development* **172** (6), 691–700.
- Peng, Y., Xiao, Y., Fu, Z., Dong, Y., Zheng, Y., Yan, H. & Li, X. 2019 Precision irrigation perspectives on the sustainable water-saving of field crop production in China: water demand prediction and irrigation scheme optimization. *Journal of Cleaner Production* (239), 365–367. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.347.
- Ramos, R. 2016 *Future Directions*. Available from: <http://www.futuredirections.org.au/publication/world-stage-set-brazils-olympic-games-climate-change-water-security/> (accessed 20 May 2020).
- Rock, C., Brassill, N., Dery, J., Carr, D., McLain, J., Bright, K. & Gerba, C. 2018 Review of water quality criteria for water reuse and risk-based implications for irrigated produce under the FDA Food Safety Modernization Act, produce safety rule. *Environmental Research*. doi:10.1016/j.envres.2018.12.050.
- Tsagarakis, K., Menegaki, A., Siarapi, K. & Zacharapoulou, F. 2013 Safety alerts reduce willingness to visit parks irrigated with recycled water. *Journal of Risk Research* **16** (2), 133–144. doi:10.1080/13669877.2012.726246.
- Veiga, L. & Magrini, A. 2013 The Brazilian water resources management policy: fifteen years of success and challenges. *Water Resource Management* **7** (27), 2287–23032. doi:10.1007/s11269-013-0288-1.
- Xu, J., Wu, L., Chang, A. & Zhang, Y. 2010 Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: a preliminary assessment. *Journal of Hazardous Materials* **183** (1–3), 780–786.

First received 29 July 2020; accepted in revised form 8 October 2020. Available online 22 October 2020

IRRIGAÇÃO COM ÁGUA DE REÚSO NO BRASIL: APLICAÇÃO DO MODELO SEMIQUANTITATIVO DE AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO PARA SAÚDE HUMANA

WATER REUSE FOR IRRIGATION IN BRAZIL: APPLICATION OF THE SEMI-QUANTITATIVE MODEL OF MICROBIOLOGICAL RISK ASSESSMENT TO HUMAN HEALTH

Maíra Araújo de Mendonça Lima^a, Ana Silvia Pereira Santos^b, José Manuel Pereira Vieira^c

^aUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, ^bUniversidade do Estado do Rio de Janeiro, ^cUniversidade do Minho

mairalima.90@gmail.com, ana.pereira@uerj.br, jvieira@civil.uminho.pt

Submissão: 26 de julho de 2021

Aceitação: 15 de agosto de 2021

Resumo

Diante da insegurança hídrica que afeta várias regiões do mundo, o reúso de água tem se tornado cada vez mais presente. Para minimizar o risco da prática, diferentes metodologias de avaliação podem ser empregadas, com abordagens distintas em relação ao reúso potável e não potável. Para a irrigação, a metodologia semiquantitativa é mais indicada, de modo a garantir a segurança, utilizando uma abordagem qualitativa empírica de julgamento para avaliar a importância relativa para perigos, cenário e via de exposição, além de multibarreiras. Dessa forma, a presente Nota Técnica apresenta uma orientação para a aplicação do método Semiquantitativo de Avaliação de Risco Microbiológico (ASqRM) no contexto nacional. De forma complementar foi elaborado um exemplo, considerando-se irrigação em cultura frutífera. Adotou-se o padrão *Escherichia coli* entre 10^3 e 10^4 NMP/100mL, com barreiras definidas a partir da irrigação por gotejamento, crescimento da cultura distante do solo (50 cm) e remoção da casca (preferencialmente) antes do consumo. Os resultados foram: Risco para o receptor agricultor = 3,04 (aceitável) e para o receptor consumidor (desprezável) = 1,89; Risco Global = 2,46 (desprezável). Observa-se a viabilidade segura de prática, apesar de apresentar risco, que deve ser gerido a partir de um adequado Plano de Gestão de Risco.

Palavras-chave: metodologia semiquantitativa, perigo, receptores, multibarreiras, risco.

Abstract

Given the water insecurity that affects various regions of the world, water reuse has become increasingly present. Different assessment methodologies can be employed to minimize the risk of the practice, with different approaches to potable and non-potable reuse. The semi-quantitative method is more suitable for irrigation, with to goal to ensure safety, using an empirical qualitative judgment approach to assess the relative importance for hazards, exposure routes and scenarios, and multi-barriers. Thus, this Technical Note provides guidance for the application of the Semiquantitative Microbiological Risk Assessment (ASqRM) method in the national context. Complementarily, an example was elaborated, considering irrigation in fruit crops. The standard *Escherichia Coli* was adopted between 10^3 and 10^4 NMP/100mL, with barriers defined from drip irrigation, high-growing crops such (50 cm) above from the ground and removing the peel (preferably) before consumption. The results were: Risk for the farmer receptor = 3.04 (acceptable) and for the consumer receptor (despicable) = 1.89; Global Risk = 2.46 (despicable). The safe feasibility of the practice is observed, despite presenting risk, which must be managed from an adequate Risk Management Plan.

Keywords: semiquantitative assessment; hazards; receptors, multi-barriers; risk.

1. INTRODUÇÃO

Diante das incertezas em relação à disponibilidade hídrica para os diferentes usos pretendidos, nomeadamente nas regiões mais áridas do planeta, o reúso de água a partir do efluente tratado, se torna cada vez mais presente. Neste cenário, além de disponibilizar água de origem alternativa para diversos fins, a prática de reutilização de água alivia as pressões hídricas regionais, minimiza os impactos de conflitos pelo uso da água, incentiva o aumento dos índices de tratamento de esgotos e a melhoria das práticas operacionais para alcance da qualidade desejada, e minimiza a poluição hídrica, ao fomentar a utilização do efluente tratado em detrimento ao seu descarte nos corpos hídricos.

Diversas são as possibilidades de reúso de água, normalmente classificadas em potáveis e não potáveis, que demandam diferentes níveis de qualidade, relacionados aos usos pretendidos (ANGELAKIS et al., 2018). Os avanços tecnológicos permitem a produção de água reciclada de alta qualidade que pode atender aos padrões mais exigentes, de forma confiável. No entanto, caso o processo de tratamento seja inadequado ou de baixa confiabilidade, os contaminantes biológicos e químicos residuais podem representar um risco para a saúde humana (MUKHEREJEE e JENSEN, 2020). Esse risco pode ser maior ou menor, quanto mais ou menos exposto ao perigo, encontra-se o receptor, respectivamente (KHAN e ANDERSON, 2018).

Apesar da comprovada confiabilidade técnico-científica, o público em geral considera a água de reúso como de elevado risco para a saúde humana, principalmente quando se trata de reúso potável (WHO, 2017; SMITH et al., 2018). Essa rejeição psicológica da sociedade baseia-se na sua insegurança em relação às ações do governo e das prestadoras de serviços de saneamento básico, bem como na sua descrença quanto à ciência e na sua incredulidade sobre informações fornecidas para a qualidade de água (FIELDING et al., 2019). Para garantia da segurança, o risco deve ser avaliado e gerido corretamente, de modo que a transparência das ações e das informações forneça subsídios para o alcance de uma relação amistosa com a população e maior aceitação dos projetos de reúso de água (SMITH et al., 2018).

De maneira geral, a avaliação do risco desenvolve-se ao longo de quatro etapas, a fim de responder questões fundamentais para a implantação segura do projeto, minimizando, até

níveis aceitáveis, o risco para a saúde pública: i) identificação do perigo, ii) identificação das vias de exposição para os diferentes receptores, iii) caracterização da exposição de acordo com a dose; iv) caracterização do risco (APA, 2019; REBELO et al., 2020; ZHITENEVA et al., 2020).

O perigo (i) é associado aos agentes potencialmente causadores de danos à saúde pública, nomeadamente microrganismos relacionados às doenças de veiculação hídrica, geralmente representados por indicadores de contaminação fecal (ZHITENEVA et al., 2020). As vias de exposição (ii), consideradas ingestão, inalação ou adsorção, são assumidas como de contato direto ou indireto, para diferentes receptores (ii), tais como seres humanos, animais (domésticos ou pecuários), vegetação paisagística ou culturas agrícolas (alimentícias ou não) (APA, 2019; WHO, 2015). A caracterização (iii) deve retratar, com o maior detalhamento possível, as potenciais situações de exposição dos receptores à água de reúso; por este motivo, trata-se da etapa mais crítica, que envolve subjetividade e incertezas (APA, 2019). Por fim, a caracterização do risco (iv) consiste na quantificação e priorização do risco à saúde humana decorrente, diretamente, dos fatores associados ao perigo, rotas de exposição, cenários aplicáveis e múltiplas barreiras instaladas (REBELO et al., 2014).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) sugere várias abordagens de avaliação do risco (WHO, 2016) que podem responder às diferentes necessidades de gestão. São modelos qualitativos e semiquantitativos ou métodos matemáticos quantitativos, além da inspeção sanitária que envolve uma abordagem simples e eficaz para pequenos fornecimentos de água (WHO, 2016).

A avaliação qualitativa ou semiquantitativa, se apoia na abordagem da matriz de risco que permite avaliar diferentes riscos associados à qualidade da água, envolvendo uma avaliação da probabilidade de ocorrência de um perigo e da sua gravidade ou consequência, caso aconteça. Já a avaliação quantitativa, conhecida pela sigla QMRA (Quantitative Microbiological Risk Assessment) ou em português, AQRM (Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico) combina o conhecimento científico sobre a presença e a natureza dos agentes patogênicos, o seu potencial destino e transporte no ciclo da água e os cenários de exposição referentes aos intervenientes, e os seus efeitos na saúde que resultam dessa exposição (WHO, 2016). Todas as abordagens, de maneiras diferentes, estimam os possíveis riscos

associados à prática de reúso, com o objetivo de reduzi-los até um nível mínimo considerado aceitável.

De acordo com APA (2019), em casos de ocorrência de exposição direta à água de reúso, em particular ingestão ou inalação, podem ser utilizados modelos matemáticos quantitativos, similares ao QMRA, proposto por WHO (2006) especificamente para as águas de consumo humano. Segundo Rebelo et al. (2020), esses modelos são complexos e apresentam uma alta incerteza na medida em que requerem dados locais extensos que nem sempre estão disponíveis para usos não potáveis. Na prática, essa limitação de dados acaba por exigir que muitas suposições sejam tomadas durante este processo (ZHITENEVA et al., 2020), absorvendo grandes incertezas para o resultado final (REBELO et al., 2020).

Vieira (2013) afirma que o modelo quantitativo, em função das características já descritas, tem grande aplicabilidade para a avaliação do risco no cenário de águas de abastecimento. Zhiteneva et al. (2020) corroboram, ao indicarem o método, em caso de reutilização, somente para fins de potabilidade (direto ou indireto).

Para lidar com as limitações da avaliação quantitativa de risco microbiológico, metodologias semiquantitativas podem ser adotadas para usos não potáveis, assim como o modelo desenvolvido por Rebelo (2018), o qual foi baseado no método qualitativo apresentado pela International Organization for Standardization (ISO). Segundo Rebelo et al. (2020), esse modelo semiquantitativo, aplicado na legislação portuguesa (PORTUGAL, 2019), compreende a utilização de uma abordagem qualitativa empírica de julgamento para avaliar a importância relativa para perigos, rotas de exposição e cenários de contato, e multibarreiras no local. Assim, os dados de entrada podem ser as normas de qualidade que representam indiretamente as doses eventualmente toleráveis (APA, 2019).

Neste contexto, Rebelo et al. (2020) afirmam que os regulamentos que viabilizam legalmente a prática de reúso de água, devem levar em consideração, não somente padrões limites para determinados parâmetros de qualidade de água e sim, um plano de gestão de risco, associado especificamente ao empreendimento em questão. O plano de gestão de riscos é elaborado tendo em consideração a probabilidade de ocorrência de todos os perigos (físicos, químicos e

microbiológicos), associada à severidade das suas consequências, e à eficácia das barreiras instaladas e a instalar, em todas as operações associadas ao reúso (APA, 2019).

Os métodos semiquantitativos são mais apropriados às diferentes modalidades de reúso de água não potável, que levam em consideração a abordagem *fit-for-purpose* (ajustado à proposta) (REBELO et al., 2020). Nessa modalidade, é possível combinar barreiras físicas, químicas ou biológicas de modo a minimizar o risco, mesmo considerando águas com mais alta possibilidade de dano. As barreiras podem, efetivamente, reduzir unidades logarítmicas de densidades de microrganismos (*Coliformes termotolerantes* ou *Escherichia coli*), ou podem, simplesmente, representar essa redução. Isso significa que águas com uma densidade inadequada de microrganismos para determinado uso, podem tornar-se adequadas, não pela redução dessa carga, mas pela implantação de uma ou mais barreiras equivalentes, que representem essa redução. Segundo APA (2019), barreira equivalente é uma medida de controle que produz um resultado equivalente a uma determinada redução microbiológica correspondente à eliminação de perigo determinado ou redução do mesmo até um nível aceitável.

A discussão atual sobre as diferentes modalidades de avaliação de risco, segundo Zhiteneva et al. (2020), pode ajudar a estabelecer modelos de avaliação de risco mais informativos e abrangentes em estudos futuros sobre o tema reúso de água, que continua a crescer. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é propor uma orientação técnica de aplicação do modelo semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico, para a saúde humana, de forma a garantir a segurança da prática de reúso de água, para irrigação, no Brasil.

2. AVALIAÇÃO SEMIQUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO

A metodologia de avaliação de risco, baseada em modelo semiquantitativo e apresentada por Rebelo (2018) e Rebelo et al. (2020), aborda o conceito *fit-for-purpose* sugerido por ISO (2020). Essa abordagem envolve a produção de água de reúso, com a qualidade adequada às necessidades dos usuários finais. Nesse sentido, a ISO não tem por objetivo impor ou estabelecer padrões, mas sim, fomentar a elaboração de regulamentos e documentos compatíveis com a

realidade de cada região (ISO, 2020).

A abordagem da ISO já é adotada por outros países do mundo e pela União Europeia, por meio da recente *Regulation* (EU) 2020/741 (EU, 2020), com o objetivo de garantir a segurança da prática de reúso para fins de irrigação. Neste contexto, na presente Nota Técnica, encontra-se apresentada uma aplicação do método Semiquantitativo de Avaliação de Risco Microbiológico (ASqRM) no contexto nacional.

De maneira geral, a metodologia ASqRM é dividida em quatro etapas, que coincidem com aquelas apresentadas na planilha de cálculo disponibilizada como material suplementar:

- Etapa 1 – Identificação do perigo;
- Etapa 2 – Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores;
- Etapa 3 – Caracterização da exposição de acordo com a dose;
- Etapa 4 – Caracterização do Risco.

2.1. ETAPA 1 – IDENTIFICAÇÃO DO PERIGO

Inicialmente, deve ser identificado o Perigo relacionado à prática de reúso de água na irrigação, que configura o risco microbiológico. Nesta etapa são identificados os possíveis agentes que possuem potencial de causar efeitos adversos. De acordo com a APA (2019) o Perigo pode ser caracterizado como aquele que possui a capacidade de ocasionar danos à saúde humana e ao meio ambiente, a curto ou longo prazo.

Segundo ISO (2020), até os dias atuais, não há evidências de efeitos adversos dos contaminantes de preocupação emergente (resíduos de fármacos e de produtos de higiene pessoal) na saúde humana ou no meio ambiente por irrigação com água de reúso ou por consumo de culturas irrigadas com água de reúso. Assim, os

perigos inerentes à água de reúso a ser disponibilizada para a irrigação, relacionam-se principalmente ao conteúdo microbiológico, em especial os microrganismos patogênicos.

Os seres humanos são a principal fonte dos agentes patógenos presentes nos esgotos e para a averiguação da patogenidade do efluente, utiliza-se o grupo “Coliformes”, considerados indicadores de contaminação fecal. Segundo Sperling (2014), o grupo dos Coliformes Termotolerantes (CTermo) envolve, preferencialmente, bactérias de origem intestinal humana ou de animal; porém, envolve ainda, as de origem não fecal. Isso significa que o indicador CTermo não garante que a contaminação seja exclusivamente fecal. Por outro lado, a *Escherichia coli* (E. coli), além de ser a principal bactéria do grupo CTermo, é exclusivamente de origem fecal (SPERLING, 2014), configurando-se como uma variável mais adequada para definição do Perigo associado à saúde humana em práticas de irrigação com água de reúso (ZHITENEVA et al., 2020; CHHIPI-SHRESTHA et al., 2017).

De acordo com Santos et al. (2020), no Brasil, o parâmetro CTermo é o mais utilizado como padrão indicador de contaminação fecal em documentos reguladores de reúso de água, além de ser o único parâmetro comum para todos os documentos analisados pelos autores. Destaca-se ainda que outros organismos (Ex.: ovos de helmintos) podem ser utilizados como indicadores de contaminação fecal sem que haja prejuízos (APA, 2019; INTERÁGUAS, 2017).

Para o desenvolvimento do presente trabalho, adotou-se a classificação do Perigo relacionado à qualidade da água de reúso apresentada na Tabela 1. Nela podem ser obtidos os valores de classificação do Perigo em relação ao padrão de E. coli e de acordo com o nível do efluente tratado.

Tabela 1: Classificação do Perigo baseada nos tipos de tratamento de efluente e consequente qualidade microbiológica

Nível	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Classificação o	Opção de tratamento
V	$E. coli \geq 10^4$	9	Secundário
IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7	Secundário + desinfecção
III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5	Avançado
II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3	Secundário + desinfecção + cloração
I	$E. coli \leq 10^1$	1	Avançado + cloração

Fonte: Adaptado de Rebelo (2018) e APA (2019).

2.2. ETAPA 2 - IDENTIFICAÇÃO DAS VIAS DE EXPOSIÇÃO PARA OS DIFERENTES RECEPTORES

Nesta etapa são identificados os possíveis receptores (Passo 1) que possuem susceptibilidade à exposição, por meio das seguintes vias: ingestão, inalação e adsorção dérmica, de forma direta ou indireta. Posteriormente, para cada receptor identificado, é necessário atribuir as vias de exposição (Passo 2).

Passo 1 – Identificação dos receptores envolvidos

Os receptores envolvidos devem ser identificados de acordo com as principais características do projeto analisado, tais como método e sistemas de irrigação, tipologia de cultura, localização da área, vizinhança, entre outros. Os potenciais receptores são aqueles que estão susceptíveis à exposição, destacando-se o ser humano, animais e vegetação (APA, 2019).

De acordo com Rebelo (2018), os seres humanos podem ser separados por faixa etária, por função ocupada na cadeia produtiva e por aderência com o projeto. No caso da faixa etária, as crianças, os adolescentes e os idosos, normalmente, são mais susceptíveis do que os adultos. Em relação à função na cadeia produtiva, destaca-se maior vulnerabilidade dos agricultores e operadores do sistema (produtores) do que dos comerciantes, pelo fato de o primeiro grupo estar mais próximo ao evento da irrigação. E, em relação à aderência com o projeto, consumidores e vizinhança apresentam diferentes graus de susceptibilidade, em se tratando da distância a que se encontra a vizinhança dos sistemas de irrigação e da forma de consumo da cultura por parte dos consumidores.

Já os animais, normalmente são diferenciados em domésticos e de origem pecuária, sendo que neste caso, cada ambiente determina uma maior ou menor susceptibilidade, a depender das características locais do empreendimento. Por fim, a vegetação é classificada em agrícola ou paisagística (ISO, 2020). Ambas podem estar em concomitância em um projeto dessa natureza. Entretanto, a vegetação paisagística é mais característica de ambientes urbanos e a agrícola, de ambientes rurais.

No desenvolvimento deste passo, é importante avaliar com critério, todas as características envolvidas com a identificação dos

receptores. Os receptores e suas respectivas susceptibilidades ao perigo, são sempre distintas em cada projeto de reutilização de água na irrigação dos diferentes tipos de cultura. Assim, destaca-se a importância da aplicação da ASqRM, que aborda todos os aspectos, de maneira mais completa do que aquela simplista, que leva em consideração somente se o tipo de cultura é para consumo humano ou não, se é consumida crua ou não, com ou sem remoção de casca e se é desenvolvida rente ou distante do solo.

Passo 2 – Receptores x vias de exposição

De acordo com Rebelo et al. (2020), as vias de exposição (ingestão, inalação e adsorção dérmica) e suas ocorrências (direta ou indireta) podem se combinar de diferentes formas, a exemplo da via ingestão, por ocorrência direta, que pode ser intencional, acidental, pela falta de informação sobre a potabilidade da água, inadvertidamente pela ingestão de microgotículas durante a irrigação por aspersão, entre outros.

A inalação por seres humanos acontece de forma direta por aspiração da água de reúso, por exemplo, em casos de irrigação por aspersão; e de forma indireta, por meio de animais domésticos que levam as gotículas para esses ambientes. Já a adsorção se dá por meio do contato com superfícies molhadas ou úmidas, por ocorrência direta ou indireta (APA, 2019).

De acordo com a OMS (2006), as vias de exposição de mais alto risco em relação à água de reúso são a ingestão e a inalação, principalmente em situações em que são produzidos aerossóis, como o caso da irrigação por aspersão; sobre a adsorção dérmica, menores evidências de infecção são conhecidas.

De maneira geral, para os receptores ser humano e animal, as três vias de exposição são possíveis (ingestão, inalação e adsorção). Por outro lado, no caso da vegetação, somente a via de exposição por meio da adsorção é possível.

2.3. ETAPA 3 - CENARIZAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DE ACORDO COM A DOSE

Passo 1 – Cenários de exposição

A elaboração dos cenários de exposição é apontada como uma das etapas que mais demanda atenção devido à complexidade da análise e ao elevado nível de incerteza, principalmente em áreas de acesso irrestrito com elevada circulação de pessoas (REBELO et al., 2020). É imprescindível a exposição de todos os

cenários possíveis, independentemente da probabilidade de sua ocorrência (APA, 2019).

Rebello et al. (2020) apresentam e discutem vários cenários para as diferentes vias de exposição (ingestão, inalação e adsorção) e suas ocorrências (direta e indireta) em projetos de reutilização em ambientes urbanos, agrícolas e industriais. No entanto, de maneira mais simplificada e aplicada à irrigação agrícola, os cenários mais comuns podem ser classificados da seguinte forma:

- **exposição direta:** i) ingestão inadvertida durante a irrigação; ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação; iii) inalação de microgotículas durante a irrigação; iv) adsorção por contato com a cultura irrigada; v) adsorção por contato com o sistema de irrigação; vi) adsorção por contato com outras superfícies.
- **exposição indireta:** i) ingestão a partir do contato com animais no contexto rural; ii) ingestão da cultura; iii) ingestão do solo; iv) adsorção por contato com animais no contexto rural; v) adsorção pelo contato da cultura irrigada com as pessoas envolvidas.

Passo 2 – Atribuição dos fatores de importância para as vias e os cenários de exposição

Para cada cenário de exposição é importante levar em consideração as características específicas do local e dos hábitos regionais, bem como dos critérios operacionais de aplicação da água de reúso. Ainda, para cada tipo de receptor o valor atribuído deve variar em função do entendimento de maior ou menor exposição em cada situação e das evidências descritas na literatura, relacionadas à infecção associada aos cenários, conforme apresentado por (REBELO et al., 2020). Este passo engloba elevado grau de

incertezas devido à ausência de dados que demonstrem as infecções relacionado ao uso não potável (REBELO et al., 2020).

No contexto da ASqRM, fatores de importância (f_i), relacionados à probabilidade de infecção, são atribuídos aos distintos receptores, para cada cenário estabelecido, com valores que variam de 1 a 9 (SAATY, 1980), em função de uma abordagem qualitativa empírica de julgamento. De acordo com Rebello et al. (2014), o uso dessa escala permite tratar a complexidade do problema por meio da sua decomposição em fatores claros e dimensionáveis, facilitando o estabelecimento de relações comparativas para a construção de hierarquias e a definição de prioridades.

Com o intuito de reduzir as incertezas, a análise deve sempre considerar a perspectiva de pior caso possível; cenários que apresentam vias de exposição com elevada importância de infecção devem ser considerados com os mais altos f_i (REBELO et al., 2020). Para as atribuições de f_i , devem ser apontadas justificativas condizentes e adequadas à cada situação. De acordo com Rebello et al. (2020), essa justificativa, baseada nas hierarquias construídas e nas prioridades definidas, proporciona uma minimização das incertezas, além de intensificar a avaliação do risco, garantindo maior confiabilidade.

Na Tabela 2 podem ser observados os f_i relacionados aos cenários de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$). Para níveis intermediários entre dois julgamentos podem ser atribuídos valores de 2, 4, 6 ou 8 de acordo com a necessidade.

Na Tabela 3 são apresentados os f_i aplicáveis à cada via de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$) e as justificativas respectivamente associadas. Entretanto, as seguintes variações são admitidas (REBELO et al., 2020): para via de ingestão é sempre atribuído o valor 9, para inalação, 5 ou 9, e para adsorção dérmica, o valor 3.

Tabela 2: Fator de importância aplicáveis a cada cenário de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$)

Nível de importância	$f_{i \text{ cen exp}}$
Absoluta (via de infecção extremamente elevada)	9
Demonstrada (via de infecção essencial ou forte)	7
Eventual (via de infecção possível)	5
Fraca (ausência de dados sobre a via de infecção)	3
Baixa (ausência de via de infecção)	1

Fonte: Adaptado de Saaty (1980).

Tabela 3: Fator de importância aplicável à cada via de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$)

Via de exposição	$f_{i \text{ via exp}}$	Justificativa
Ingestão	9	Via de importância absoluta
Inalação	9	Via de importância absoluta em irrigação por aspersão
Adsorção	5	Via de importância eventual em outros sistemas de irrigação
	3	Via de fraca importância devido à ausência de dados de infecção

Fonte: Adaptado de Rebelo et al. (2020).

Passo 3 – Cálculo da Vulnerabilidade do receptor

O cálculo da Vulnerabilidade (Equação 4) deve ser realizado para cada receptor e, para isso, devem ser adotadas as Equações 1, 2 e 3, todas adaptadas de Rebelo (2018) e Rebelo et al. (2020). A Equação 1 caracteriza uma soma das relações individuais entre o f_i da via de exposição e o número de cenários para cada situação. Na Equação 2 é realizado o somatório do produto do f_i da via de exposição com o f_i do cenário de exposição. Já na Equação 3 tem-se o cálculo do fator de normalização, onde o fator de importância máximo é igual a 9, pois considera-se o maior valor de importância.

- Somatório do $f_{i \text{ via exp}}$

$$\sum(f_{i \text{ via exp}} \times n^{\circ} \text{ cen exp}_i) \quad (1)$$

Onde:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição.

$n^{\circ} \text{ cen exp}_i$ = número de cenários aplicável a cada receptor.

- Somatório do produto do ($f_{i \text{ via exp}}$) com o ($f_{i \text{ cen exp}}$)

$$\sum(f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}}) \quad (2)$$

Onde:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição.

$f_{i \text{ cen exp}}$ = fator de importância de cada cenário de exposição.

- Cálculo do fator de normalização

$$f_{i \text{ máx}} \times \sum(f_{i \text{ via exp}} \times n^{\circ} \text{ cen exp}_i) \quad (3)$$

Onde:

$f_{i \text{ máx}}$ = valor máximo da escala de fatores de importância

($f_{i \text{ máx}} = 9$)

$n^{\circ} \text{ cen exp}_i$ = número de cenários aplicável a cada receptor.

- Cálculo da Vulnerabilidade

$$V_{\text{receptor}} = \frac{\sum(f_{i \text{ via exp}} \times f_{i \text{ cen exp}})}{f_{\text{normalização}}} \quad (4)$$

Onde:

$f_{i \text{ via exp}}$ = fator de exposição de cada via de exposição.

$f_{i \text{ cen exp}}$ = fator de importância de cada cenário de exposição.

$f_{\text{normalização}}$ = fator de normalização.

2.4. ETAPA 4 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO

Passo 1 – Identificação das barreiras

Com o objetivo da minimização do contato da água de reúso com os receptores, pelas vias de exposição (direta e indireta) através da ingestão, inalação e adsorção dérmica, é introduzido o conceito de barreiras físicas ou químicas (ISO, 2020). Dessa forma, uma barreira pode ser definida como o meio de redução e prevenção dos riscos associados à saúde e ao meio ambiente, evitando o contato com a água de reúso e/ou melhorando sua qualidade (ISO, 2020).

Assim, a qualidade da água não se configura como o único parâmetro de garantia da proteção à saúde em projetos de reúso. Outras opções, como tipo e horário de irrigação, características das culturas ou opções de colheita podem limitar o contato entre os receptores e os organismos patogênicos presentes na água de reúso (REBELO et al., 2020). A barreira exerce um papel de equivalência em relação à patogenicidade da água de reúso, mesmo que esta ainda apresente valores mais elevados do que o máximo aceitável para o padrão indicador de contaminação fecal, para aquele fim (ISO, 2020).

Assim, ao considerar essas opções, a água de reúso com menor qualidade pode ser usada

para diferentes fins em contexto de barreiras múltiplas (REBELO et al., 2020). Neste caso, o risco é minimizado, pois a probabilidade de falha de múltiplas barreiras é inferior à probabilidade de falha de uma única barreira (APA, 2019). O princípio básico das múltiplas barreiras é que a falha de uma barreira pode ser compensada pela

operação eficaz das barreiras restantes, de forma a tornar o projeto mais confiável.

Na Tabela 4 estão apresentados tipos de barreiras, suas correspondentes reduções de unidades logarítmicas de organismos patogênicos e o número associado de barreiras equivalentes.

Tabela 4: Barreiras e número de barreiras equivalentes associadas à redução de organismos patogênicos para irrigação de culturas alimentícias com água de reúso

Tipo de barreira	Aplicação	Redução de Patógenos (unidades logarítmicas)	Número de barreiras equivalentes
Irrigação por gotejamento	Irrigação por gotejamento com crescimento próximo do solo (25 cm), crescimento distante do solo (50 cm) ou subterrâneo ¹	2 – 6	1 - 3
Irrigação por aspersão	Irrigação por aspersão e microaspersão de culturas de crescimento, próximo do solo (25 cm) ou de árvores frutíferas distantes do solo (50 cm) ¹	2 – 4	1 - 2
Cloro residual	Desinfecção que garanta concentração residual menor que < 1 mg.L ⁻¹ (baixo nível) ou que garanta concentração residual menor que > 1 mg.L ⁻¹ (alto nível) ²	2 – 4	1 - 2
Redução de organismos patogênicos	Interrupção da irrigação antes da colheita	0,5 a 2 por dia	1 - 2
Lavagem antes da venda para o consumidor	Lavagem das culturas de legumes, verduras e frutas com água potável	1	1
Desinfecção antes da venda para o consumidor	Lavagem das culturas de legumes, verduras e frutas com solução desinfetante e enxague com água potável	2	1
Remoção da casca	Descascamento das frutas e raízes	2	1
Cultura de consumo após o cozimento	Imersão em água fervente ou em altas temperaturas até o cozimento do produto	6 – 7	3
Restrição do acesso	Restrição de entrada no local irrigado por 1 dia ou mais após a irrigação ou 5 dias ou mais após a irrigação ³	0,5 a 2 – 2 a 4	1 - 2
Secagem de safras de forragem	Culturas forrageiras ou outras que são expostas para secagem ao sol e colhidas antes do consumo	2 a 4	2

Legenda: 1 – Culturas com crescimento mais próximo do solo apresentam valores mais baixos de redução de patógenos e de barreiras equivalentes; o oposto é verdadeiro. 2 – Desinfecção de baixo nível está associada a valores mais baixos de redução de patógenos de barreiras equivalentes; o oposto é verdadeiro. 3 – Inclui trabalhadores e animais; quanto mais dias de restrição de acesso, mais elevada pode ser considerada a redução de patógenos e o número de barreiras equivalentes. Fonte: Adaptado de ISO (2020) e WHO (2006).

Passo 2 - Determinação do Dano

Neste ponto, é analisada a severidade do dano *versus* a probabilidade de falha de cada barreira associada ao projeto, definida no Passo 1. Vieira (2018) apresenta um modelo de aplicação

generalizada para este tipo de análise, denominada matriz de priorização (Figura 1), cujas células, agrupadas num determinado número de classes, representam valores, relacionando a probabilidade (frequência) da ocorrência dos

eventos com a consequência (severidade) dos respectivos impactos. De maneira análoga e

adaptada, adota-se a matriz de Dano apresentada na Figura 2.

Figura 1: Modelo generalizado de matriz de priorização

Probabilidade	Consequência				
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta
Rara	B	B	M	A	A
Improvável	B	B	M	A	E
Moderada	B	M	A	E	E
Alta	M	A	A	E	E
Muito Alta	A	A	E	E	E

Obs.: B – Risco baixo ou negligenciável; M – Risco moderado; A – Risco de grande impacto; E – Risco extremo. Fonte: Vieira (2018).

Figura 2: Matriz de determinação do Dano parcial para cada barreira

Severidade dos danos ↓	Probabilidade				
	Rara	Pouco provável	Possível	Provável	Quase certa
Insignificante	1	1	2	2	3
Fraco	1	2	4	4	5
Moderado	2	4	4	6	7
Forte	2	4	6	8	9
Severo	3	5	7	9	9

Fonte: Adaptado de Rebelo (2020) e Vieira (2018).

Primeiramente, deve-se realizar o somatório dos danos parciais (Equação 5), referentes à cada barreira associada ao projeto. Posteriormente, procede-se com o cálculo do fator de normalização (Equação 6). E, por fim, calcula-se o Dano (Equação 7) a partir das duas anteriores; todas adaptadas de Rebelo (2018) e Rebelo et al. (2020).

- Somatório dos danos parciais (d_i)

$$\sum(d_i * n) \quad (5)$$

Onde:

d_i = danos parciais = severidade dos danos x probabilidade de falha na barreira.

n = número de barreiras equivalentes de acordo com a tabela 4.

- Cálculo do fator de normalização

$$f_{normalização} = (f_{i_{máx}} * n) \quad (6)$$

Onde:

$f_{i_{máx}}$ = valor máximo da escala da matriz de dano ($f_{i_{máx}} = 9$)

n = número de barreiras equivalentes de acordo com a Tabela 4.

- Cálculo do Dano

$$Dano = \frac{\sum(d_i * n)}{f_{normalização}} \quad (7)$$

Onde:

d_i = danos parciais = severidade dos danos x probabilidade de falha na barreira.

n = número de barreiras equivalentes de acordo com a tabela 4.

$f_{normalização}$ = fator de normalização

Passo 3 – Estimativa do Risco

Neste passo procede-se com o cálculo da estimativa do Risco para cada receptor de acordo com a Equação 8, adaptada de Rebelo (2018) e Rebelo et al. (2020).

$$R_{receptor} = Perigo * Dano * V_{receptor} \quad (8)$$

Onde:

$R_{receptor}$ = Risco estimado para cada receptor

$V_{receptor}$ = Vulnerabilidade de cada receptor

O Perigo foi previamente estabelecido na Tabela 1 (Etapa 1), o Dano foi calculado por meio da Equação 5 (Etapa 4 – Passo 2) e a Vulnerabilidade de cada receptor por meio da Equação 4 (Etapa 3 – Passo 3).

O Risco Global (R_{Global}) é uma média aritmética entre os riscos individuais associados a cada receptor, conforme apresentado na Equação 9.

O Risco Global apresenta valores que variam entre maior que zero e menor que nove,

dependendo das características envolvidas em cada projeto (cenários, fatores de importância atribuídos, barreiras etc.). A priorização é alcançada pela conversão do R_{Global} em uma escala qualitativa de três níveis, conforme apresentado na Tabela 5 e adotado por outros autores (REBELO et al., 2020).

$$R_{Global} = \frac{\sum R_{Receptor}}{N_{Receptores}} \quad (9)$$

Em caso de Risco Global inaceitável, é necessário realizar a repetição de todo o processo, de forma a reavaliar as etapas, com novas ações como alteração do nível de tratamento do efluente e aplicações de novas barreiras de forma a alcançar um risco aceitável ou desprezável. Caso o nível minimamente aceitável não seja obtido, considera-se inviável a implantação do projeto (APA, 2019).

Uma vez atingido o nível de Risco adequado a um projeto específico, o Perigo previamente estabelecido (neste caso uma determinada densidade de *E. coli*) na caracterização do risco pode ser validado de modo equivalente ao padrão de qualidade (PORTUGAL, 2019).

Tabela 5: Níveis de Risco Global na escala quantitativa e qualitativa

Nível do Risco Global	
Escala Quantitativa	Escala Qualitativa
$0 < R_{Global} < 3$	Risco global desprezável
$3 \leq R_{Global} < 7$	Risco global aceitável
$7 \leq R_{Global} < 9$	Risco global inaceitável

Fonte: Rebelo (2018).

3. ORIENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO ASqRM NA IRRIGAÇÃO

Com o objetivo de disseminação da ASqRM para a irrigação com água de reúso, foi realizado um exemplo de aplicação do método, com as principais características apresentadas na Tabela 6. Na Tabela 7 estão apresentados, para o exemplo proposto, os cenários (Etapa 3) e a caracterização do Risco (Etapa 4), com seus respectivos valores atribuídos (f_i e dano parcial), calculados (Vulnerabilidade e Dano) e estimados (Risco receptor e Risco Global).

É importante ressaltar que a legislação de

Portugal (PORTUGAL, 2019), além de definir padrões para *E. Coli*, indica a necessidade do estudo de avaliação de risco, baseada na metodologia aqui descrita. O diploma ainda define o número de barreiras aplicáveis para cada uso previsto, conforme indicado por ISO (2020). Assim, adotou-se para o exemplo, uma situação que permite irrigação com restrição de acesso, em culturas consumidas crua, que crescem acima do solo, e em que a parte consumível não está em contato direto com a água (Classe C; *E. Coli* $\leq 10^3$; 3 barreiras aplicáveis). Para aplicação em outras situações, há que se levar em consideração os aspectos do diploma.

Tabela 6: Características gerais do exemplo proposto (Etapas 1 e 2)

Item	Característica
Método de irrigação; Sistema de irrigação	Localizado; Gotejamento
Características da cultura	Alimentícia, consumida crua, com remoção de casca, desenvolve distante do solo, água de irrigação não tem contato com a cultura
Identificação do Perigo; receptores	7; agricultor e consumidor

Tabela 7: Desenvolvimento das Etapas 3 e 4 em relação ao exemplo proposto

Cenário	Ser humano						
	Agricultor				Consumidor		
	f _i cen exp	f _i via exp	Justificativa		f _i cen exp	f _i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	9	9	Absoluta. elevada	Sempre	-	-	Não aplicável
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	9	9	Absoluta. elevada	Sempre	-	-	Não aplicável
iii) ingestão da cultura	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água		3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água
iv) ingestão do solo	5	9	Eventual. Cultura sem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido		5	9	Eventual. Cultura sem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	5	5	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento		-	-	Não aplicável
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	7	3	Demonstrada. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento		3	3	Fraca. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento		-	-	Não aplicável
viii) adsorção por contato com outras superfícies	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento		-	-	Não aplicável
S (f _i via exp)		50				21	
S [(f _i via exp) x (f _i cen exp)]		310				81	
fator de normalização		450				189	
Vulnerabilidade		0,69				0,43	
Barreiras: Irrigação por gotejamento - crescimento distante do solo (50 cm) e Remoção da casca - Descascamento das frutas							
Dano	0,63 (para todos os receptores)						
Risco Receptor		3,04				1,89	
Risco Global	2,46						

No exemplo proposto, optou-se por incluir cultura alimentícia de consumo preferencialmente cru, com remoção de casca, onde a cultura não tem contato direto com a água de reúso, em função do sistema de irrigação por gotejamento. Em relação aos receptores, observou-se, como já era de se esperar, maior Vulnerabilidade para o agricultor (0,69), em relação ao consumidor (0,43), que refletiu, de maneira análoga, em Risco maior para o agricultor (3,04) quando comparado ao consumidor (1,89). No caso do agricultor, o Risco apresentou-se levemente superior à faixa indicada como desprezável, mas ainda assim, aceitável; para o consumidor, se mostrou desprezável. O Risco Global (2,46) se apresentou dentro da faixa considerada como desprezável.

Toda essa contextualização demonstra a existência do Risco para a prática proposta, porém considerando que ela pode ser segura (no nível desprezável), desde que todos os aspectos previstos sejam assegurados. Para isso, é necessária a elaboração do Plano de Gestão do Risco, que segundo APA (2019), deve ter em consideração a probabilidade de ocorrência de todos os perigos (físicos, químicos e microbiológicos), associada à severidade das suas consequências, e a eficácia das barreiras instaladas e a instalar em todas as operações associadas ao reúso.

Destaca-se que as premissas aqui apresentadas podem ser alteradas, de modo que se adequem melhor ao projeto real, inclusive com a inclusão de outros receptores, caso seja necessário. Em situações de irrigação por aspersão, por exemplo, deve-se incluir o receptor “vizinhança”, que tem forte relação com a ingestão de microgotículas, dependendo da distância em que se encontra do sistema e do método de irrigação.

Essas adequações são as principais vantagens da metodologia, já que a realidade de cada projeto pode ser traduzida na estimativa do Risco. Assim, quanto mais detalhados forem os cenários, menor será a incerteza. Outro ponto forte do método é a possibilidade de reavaliações, em um processo iterativo, que permite uma avaliação estratégica. Caso o projeto se torne inviável (com Risco Global inaceitável), ou em casos em que se deseja passar da categoria aceitável ($3 \leq R_{\text{Global}} < 7$) para desprezável ($0 \leq R$

Global < 3), ou ainda com o simples objetivo de baixar o Risco, é possível alterar as barreiras e/ou incluir outras, de modo a apresentar diferentes soluções técnicas possíveis aos gestores e tomadores de decisão.

Para finalizar, é importante destacar que os resultados aqui apresentados para o exemplo proposto foram alcançados por meio do uso da planilha de cálculo apresentada como material suplementar. Neste caso, o objetivo é facilitar o acesso para os usuários. Entretanto, faz-se aqui uma ressalva em relação ao uso indiscriminado da planilha disponibilizada. O usuário deve aplicá-la sempre com muito critério, considerando as características locais reais de cada projeto de reutilização de água na irrigação. Destaca-se que o risco de contaminação microbiológica existe, mas pode ser minimizado com uma gestão adequada. Essa gestão, passa pela aplicação correta da metodologia ASqRM.

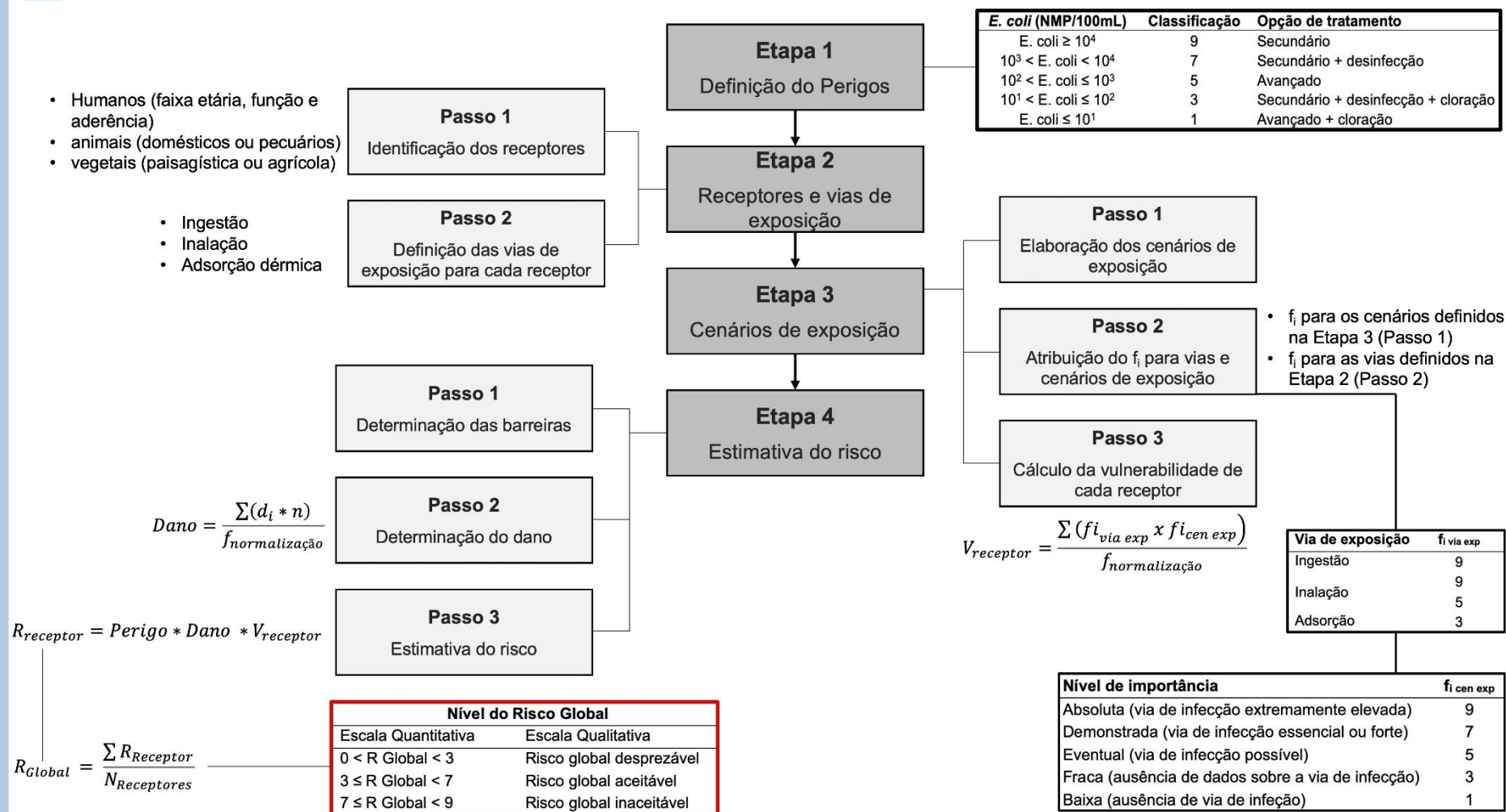
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma a facilitar o entendimento e o uso da metodologia, apresenta-se na Figura 3, um fluxograma de ações para a aplicação da ASqRM.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Dra. Anabela Rebelo (Técnica Superior do Departamento de Recursos Hídricos da Agência Portuguesa do Ambiente – APA), responsável pelo desenvolvimento e aplicação da metodologia semiquantitativa no contexto da regulamentação para reutilização de água em Portugal (Decreto 119/2019), pela revisão desta Nota Técnica.

Figura 3: Fluxograma de aplicação da metodologia de ASqRM



REFERÊNCIAS

- ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS, G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. **Frontiers in Environmental Science**, v. 6, 2018.
- APA. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Guia para reutilização de água – usos não potáveis**. Lisboa: APA, 2019.
- CHHIPI-SHRESTHA, G.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: Probabilistic risk-based investigation and recommendations. **Science of total Environment**, v. 576, p. 738-751, 2017.
- EU. **Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the council**. Of 25 May 2020. On minimum requirements for water reuse. Disponível em: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0741>>. Acesso em: 24 de jun. 2021.
- FIELDING, K. S.; DOLNICAR, S.; SCHULTZ, T. Public acceptance of recycled water. **International Journal of Water Resources Development**, v. 35, n. 4, p. 551-586, 2019.
- INTERÁGUAS. PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS. **Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil**. Produto III – Critérios de qualidade de água. Brasília. 2017.
- ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 16075-1: 2020 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 2: Development of the project**. International Organization for Standardization, Geneva. 2020.
- KHAN, S. J.; ANDERSON, R. Potable reuse: Experiences in Australia. **Current Opinion in Environmental Science and Health**, v. 2, p. 55-60, 2018.
- MUKHERJEE, M.; JENSEN, O. Making water reuse safe: A comparative analysis of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia. **Safety Science**, v. 121, p. 5-14, 2020.
- PORTUGAL. **Decreto Lei nº 119 de 21 de agosto de 2019**. Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Lisboa, 2019.
- REBELO, A.; FERRA, I.; GONÇALVES, I.; MARQUES, A. M. A Risk Assessment Model for Water Resources: Releases of dangerous and hazardous substances. **Journal of Environmental Management**, v. 140, p. 51-59, 2014.
- REBELO, A. Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água. In: Atas do 14º Congresso da Água, Évora, Portugal, 2018. **Anais [...]**, Évora, Portugal, 2018.
- REBELO, A.; QUADRADO, M.; FRANCO, A.; LACASTA, N.; MACHADO, P. Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. **Water Cycle**, p. 41-53, v. 1, 2020.
- SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation**. 1ª Edição, McGraw-Hill, New York, NY, 1980.
- SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C. de; LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M. de. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. **Sustinere: Revista de Saúde e Educação**, v. 8, p. 437-462, 2020.
- SMITH, H. M.; BROUWER, S.; JEFFREY, P.; FRIJINS, J. Public responses to water reuse – Understanding the evidence. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 43-50, 2018.
- SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Editora UFMG, Belo Horizonte, 2014.
- VIEIRA, J. M. P. Plano de Segurança da água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 1, n.1, pp. 87-97, 2013.
- VIEIRA, J. M. P. **Água e Saúde Pública**. Edições Sílabo, 2018.
- WHO. World Health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. Volume 2: Wastewater use in agriculture. Geneva: World Health Organization. 2006.
- WHO. World Health Organization. **Sanitation safety planning: manual for safe use and disposal of wastewater, greywater and excreta**.

World Health Organization, 2015.

WHO. World Health Organization. **Quantitative Microbial Risk Assessment:** Application for Water Safety Management. World Health Organization, 2016.

WHO. World Health Organization. **Potable reuse:**

guidance for producing safe drinking-water. World Health Organization, 2017.

ZHITENEVA, V.; HÜBNER, U.; MEDEMA, G. J.; DREWES, J. E. Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: a review. **Microbial Risk Analysis**, v. 16, 2020.

739 - AVALIAÇÃO DO RISCO MICROBIOLÓGICO NO REÚSO DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NO BRASIL

Maíra Araújo de Mendonça Lima⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Gestora Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ). Mestranda em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Cofundadora do CMS reusodeagua.org

Ana Silvia Pereira Santos

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (2002) - UFMG. Mestrado (2005) e doutorado (2010) em Engenharia Civil - Tecnologia de Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos pela COPPE/UFRJ. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Meio Ambiente da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - DESMA/UERJ. Fundadora do CMS reusodeagua.org

Bruna Magalhães de Araujo

Engenheira Civil graduada pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2015) - UERJ, especialista em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UERJ (2016). Mestre em Engenharia Ambiental UERJ (2019). Atualmente é analista ambiental do Instituto Mineiro de Gestão de Águas - IGAM. Cofundadora do CMS reusodeagua.org

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Engenheiro civil (1999) e mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (2002). Doutorando em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Especialista da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA desde 2003.

José Manuel Pereira Vieira

Engenheiro civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (1977), mestre em Engenharia Sanitária pelo International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering (IHE) em Delft – Holanda (1982) e doutor em Engenharia Civil pela Universidade do Minho (1986). É Professor Catedrático da Universidade do Minho, onde ministra aulas e orienta trabalhos de pesquisa de graduação, mestrado e doutorado. Atualmente é o presidente eleito da World Federation of Engineering Organizations.

Endereço⁽¹⁾: Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rua São Francisco Xavier 524, 5008-E. Maracanã - Rio de Janeiro – Brasil. Cep: 20550-900. E-mail: - Brasil - Tel: (21) 99317-8419 - e-mail: mairalima.90@gmail.com

RESUMO

Diante da alta representatividade da agricultura irrigada na demanda total de água no Brasil, e do risco de contaminação microbiológica inerente à prática de reúso de água para este fim, no presente trabalho foi estudada a aplicação do modelo de Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM), no cenário da irrigação, em diferentes Regiões Hidrográficas brasileiras (RH). Das 12 RH brasileiras, somente 3 apresentam potencial instalado de reúso acima de 10% em relação à demanda, e por este motivo foram adotadas no recorte metodológico: Atlântico Sudeste (AS), Paraná (PR) e Paraguai (PG). A cultura predominante na primeira (AS) é o café, irrigado por método localizado; nas outras duas (PR e PG), a predominância se dá para a cultura de grãos, irrigados por pivô central. Dessa forma, foram trabalhados dois cenários de aplicação da ASqRM, considerando água de reúso produzida a partir do tratamento secundário de esgoto sanitário (remoção de matéria orgânica acima de 80%) seguido de desinfecção: i) café irrigado por gotejamento; e ii) grãos para processamento irrigados por pivô central. No primeiro caso, relativo à RH AS, foi estimado um Risco Global desprezável, de 1,51 (2,04 para o receptor “agricultor” e 0,99 para o receptor “consumidor”). No segundo, relativo às RHs PR e PG, o Risco Global passou para a categoria aceitável, com valor igual a 3,62 (4,03 para o receptor “agricultor”, 3,48 para o receptor “consumidor”, e 3,36 para o receptor “vizinhança”). Para ambos os cenários, observa-se que a prática de reúso de água na irrigação pode ser segura, onde valores estimados se apresentaram inferiores à 7,0, que corresponde ao risco inaceitável.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação semiquantitativa; irrigação; riscos; reúso de água.

INTRODUÇÃO

O estresse hídrico no mundo é perceptível para cerca de 2 bilhões de pessoas; por volta de dois terços da população mundial presenciam situações de escassez hídrica severa em pelo menos um mês ao ano (WWAP, 2019). O Brasil possui uma disponibilidade hídrica satisfatória, onde 255 mil m³/s de água escoam pelo seu território (ANA, 2020). Porém, esse quantitativo se encontra em sua maioria na bacia Amazônica, que apresenta a menor parcela da população, baixa atividade produtiva em comparação com outras regiões e, consequentemente, menor demanda por água.

Em torno de 2.083 m³/s de água são retiradas dos mananciais brasileiros, principalmente, para irrigação (66%), indústria (9,7%), abastecimento humano (9%), entre outros usos (ANA, 2020). Em relação aos índices de coleta e tratamento de esgotos, menos de 60% da população urbana brasileira é atendida por coleta de esgoto e menos de 40% do esgoto gerado no país é tratado (ANA, 2020).

A prática de reúso de água pode se tornar um instrumento de gestão para os recursos hídricos com o objetivo de suprimento das demandas e de redução dos conflitos pelo uso da água (SANTOS et al., 2020; SOARES e SANTOS, 2021). Lima et al. (2020) suscitam que no Brasil apenas 7% do volume total de esgoto tratado passa por etapa de desinfecção e que cerca de 30% são provenientes de etapas primária ou primária avançada. Assim, a prática de reúso pode não ser viável em regiões que apresentam potencial para a sua instalação, devido aos baixos índices de tratamento e qualidade final do efluente (MELO et al., 2020).

O reúso de água é praticado em países como África do Sul, Namíbia, Austrália, México, Chile, Califórnia, Israel, entre outros (ANGELAKIS et al., 2018; ARAUJO et al., 2018). O caso de Israel é um dos mais difundidos no mundo, onde 87% do volume total de efluente proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) são utilizados na irrigação, sendo responsável por 40% do total de demanda para irrigação do país (MARIN et al., 2017).

A implantação da prática de reúso demanda avaliação do risco microbiológico associado tanto à saúde humana, como ao meio ambiente. Diversos estudos e metodologias podem ser realizados para minimização desses riscos, como modelos quantitativos, qualitativos e semiquantitativos. De acordo com Vieira (2013), os modelos quantitativos são, geralmente, aplicados em águas de abastecimento; podendo até ser aplicado nos casos de reutilização, porém, para fins potáveis (ZHITENEVA et al., 2020).

Assim, os modelos semiquantitativos são mais adequados para os usos não potáveis, oferecendo suporte aos usuários, incluindo projeto, materiais, construção, desempenho, entre outras ferramentas (ISO, 2020). Trata-se de uma metodologia que faz uso de uma matriz de probabilidade e de severidade para classificação dos níveis de risco (WHO, 2016).

O método desenvolvido por Rebelo (2018), de Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM), foi baseado no método qualitativo apresentado pela International Organization for Standardization (ISO) e aplicado na legislação portuguesa (PORTUGAL, 2019).

Possui uma abordagem qualitativa empírica de julgamento com a finalidade de avaliar a importância relativa para perigos, rotas de exposição e cenários de contato, e multibarreiras no local (LIMA et al., 2021). Além disso, o conceito *fit-for-purpose*, sugerido por ISO (2020) e apresentado por Rebelo (2018) e Rebelo et al. (2020) em sua abordagem do modelo semiquantitativo de risco microbiológico, indica que a produção da água de reúso deve estar alinhada às necessidades dos usuários finais.

Basicamente, o método ASqRM foi estruturado em quatro etapas (Rebelo, 2018): 1) Identificação do Perigo; ii) Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores; iii) Cenarização da exposição de acordo com a dose; iv) Caracterização do Risco

Na Etapa 1, Identificação do Perigo, são relacionados o padrão de *Escherichia coli* (E. coli) em relação à classificação da água de reúso (REBELO, 2018). Para a Etapa 2, Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores, são consideradas para as vias de exposição, a ingestão, a inalação e a adsorção dérmica, sendo por contato direto ou indireto, para os diferentes receptores, como, por exemplo, seres humanos, animais domésticos ou pecuários, vegetação paisagística ou culturas agrícolas alimentícias ou não (APA, 2019; LIMA et al., 2021). Na Cenarização da exposição de acordo com a dose, Etapa 3, devem ser descritos

contextos de exposição de contato da água para reúso com os receptores, envolvendo o mais elevado detalhamento, com o intuito de abranger a maior quantidade de cenários possíveis, objetivando o cálculo de vulnerabilidade de cada receptor (LIMA et al., 2021). A Etapa 4, Caracterização do Risco, consiste na obtenção do Risco Global em escala quantitativa e qualitativa, de acordo com os fatores definidos nas etapas anteriores (REBELO et al., 2014; LIMA et al., 2021).

Por fim, devido às projeções realizadas por WEF (2018) da permanência da crise hídrica como um dos principais riscos com elevado potencial nos últimos anos e da permanência dessa tendência nos próximos anos, o presente estudo tem como objetivo principal avaliar o risco microbiológico da prática de reúso de água voltado para irrigação no Brasil, baseado na ASqRM como forma de gestão dos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido a partir da consolidação de dados de geração de efluentes de todas as ETEs em operação no Brasil e demandas hídricas de irrigação para cada RH brasileira. Ainda foram avaliadas as tipologias predominantes de irrigação e foi aplicada a metodologia de ASqRM. Deste modo, a pesquisa se desenvolveu em três fases com as seguintes atividades:

Fase 1: Comparação da potencial oferta da água para reúso com a demanda para irrigação no Brasil

Nessa fase foram utilizados os dados obtidos por Lima et al. (2020) em relação ao potencial de oferta de água para reúso em todas as RH brasileiras, juntamente com as demandas de irrigação. Os autores definiram categorias de estudo, em relação ao desempenho de remoção de matéria orgânica e de remoção/inativação de organismos patogênicos: Categoria 01 – ETEs que apresentam uma remoção de matéria orgânica superior a 80%; Categoria 02 – ETEs que, além de apresentarem uma remoção de matéria orgânica superior a 80%, consideram em seus fluxogramas alguma tecnologia com objetivo de remoção/inativação de organismos patogênicos.

Para o levantamento dos dados de demanda de irrigação no Brasil, os autores utilizaram o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, elaborado pela ANA e publicado em 2019 (ANA, 2019), onde foram extraídos os dados de demanda de irrigação para cada RH. E, por fim, os autores compararam os dados das vazões das ETEs, de acordo com as Categorias 01 e 02, previamente definidas, com as vazões de demanda de água para irrigação nas 12 RHs.

Fase 2: Identificação das RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água e levantamento das tipologias de cultura predominantes

Na Fase 2 foram identificadas as RHs com potencial para a aplicação do reúso de água, juntamente com as tipologias de cultura predominantes para essas regiões. Ressalta-se que os dados de tipologia de cultura e os métodos de irrigação foram obtidos no Atlas Irrigação – Uso da água na agricultura irrigada 2ª Edição, publicado pela ANA em 2021 (ANA, 2021).

Fase 3: Aplicação da metodologia da ASqRM nas RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água

Nesta fase, utilizou-se a orientação da aplicação do método Semiquantitativo de Avaliação de Risco Microbiológico no contexto nacional, desenvolvido por Lima, Santos e Vieira (2021). Os autores separaram as 4 etapas da metodologia em passos com o objetivo de propiciar a divulgação e aplicação do método.

A metodologia ASqRM dividida em quatro etapas, a saber:

- Etapa 1 – Identificação do perigo;
- Etapa 2 – Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores;
- Etapa 3 – Caracterização da exposição de acordo com a dose;
- Etapa 4 – Caracterização do Risco.

Por fim, foi aplicada a metodologia da ASqRM nas RHs de elevado potencial para aplicação do reúso de água, de acordo com os tipos de cultura predominantes em cada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente item, serão apresentados os resultados das 3 fases previamente estabelecidas, de maneira análoga à Metodologia.

Fase 1: Comparação da potencial oferta da água para reúso com a demanda para irrigação no Brasil

Nesta Etapa, foram compilados os dados de demanda de irrigação para cada RH brasileira, juntamente com as ofertas de água de reúso. Cabe destacar que as vazões de oferta foram categorizadas de acordo com a remoção de matéria orgânica (Categoria 1) e de remoção de matéria orgânica e remoção/inativação de organismos patogênicos (Categoria 2), conforme apresentado anteriormente.

Na Figura 1 estão apresentadas as vazões, tanto de demanda de irrigação quanto de oferta de água para reúso, em todas as 12 RH brasileiras.

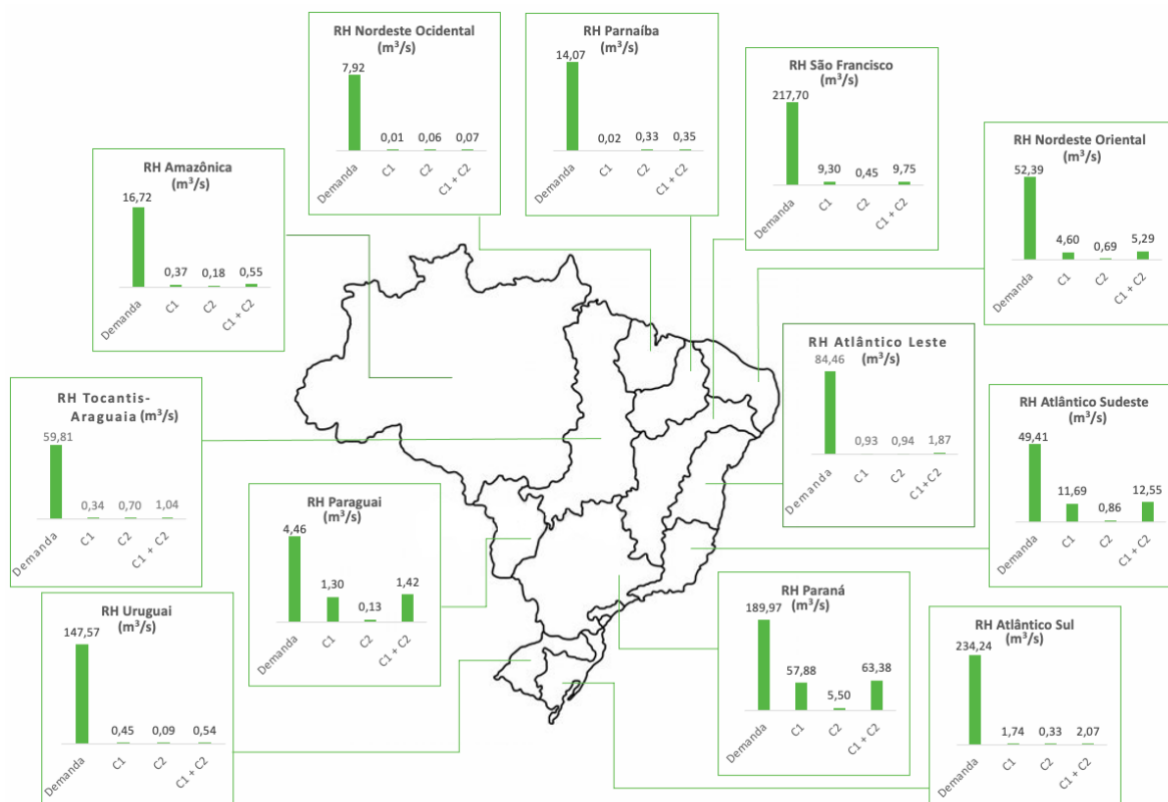


Figura 1: Vazões correspondentes às demandas hídricas para irrigação e vazões efluentes de ETEs para cada Região Hidrográfica Brasileira.

Legenda: C1 – Categoria 1; C2 – Categoria 2; C1 + C2 – Categoria 1 + Categoria 2.

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2020).

Ao analisar o levantamento das ofertas de reúso de água provenientes de todas as ETEs em funcionamento no Brasil e alocadas nas 12 RHs observou-se que as RHs Amazônica, Tocantins-Araguaia, Uruguai, Atlântico Sul, Atlântico Leste, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba e São Francisco possuem seus valores absolutos inferiores a 5% da demanda voltada para irrigação. Pode-se constatar que o baixo atendimento à coleta e ao tratamento de esgotos no país estão muito aquém da universalização e, consequentemente, dificultam a sistematização da prática de reúso de água.

A RH Atlântico Nordeste Oriental apenas consegue atingir 10% da demanda de irrigação com o somatório das Categorias 1 e 2. Ressalta-se que a Categoria 1 é proveniente de ETEs somente com remoção de 80% de matéria orgânica, reafirmando o que Lima et al. (2020) levantaram, onde apenas 7% do efluente total tratado no Brasil passa por alguma etapa de desinfecção.

As RHs que possuem acima de 10% de atendimento da demanda de irrigação são as Atlântico Sudeste (24%), Paraguai (29%) e Paraná (30%), porém, essa porcentagem só é alcançada com a Categoria 1. Ao se considerar a Categoria 2, apesar de nenhuma delas estar acima de 3%, há um incremento para o suprimento da demanda para a irrigação com um efluente desinfetado. Apesar da porcentagem de atendimento da RH Paraguai ser de 29%, a demanda voltada para irrigação é de apenas 4,46 m³/s, diferentemente do atendimento da RH Paraná, de 189,97 m³/s.

Fase 2: Identificação das RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água e levantamento das tipologias de cultura predominantes

As RH brasileiras que apresentaram potencial para aplicação da água para reúso foram as RH Atlântico Sudeste, Paraguai e Paraná, com percentual acima de 25% com a soma das Categorias 1 e 2. As demais RHs atingiram, no máximo, 10% desse potencial.

O Brasil apresenta dimensões continentais e elevada geodiversidade, acarretando uma dificuldade na gestão dos recursos hídricos (ANA, 2021). Assim, foram identificados 28 Polos Nacionais onde são concentradas 50% da área irrigada e 60% da demanda hídrica atual (ANA, 2021). Ressalta-se que esses polos são áreas de destaque para a gestão dos recursos hídricos na agricultura irrigada em escala nacional.

Entre os 28 Polos, 9 apresentam a tipologia de cultura predominante de arroz por inundação e em 15 são identificados, predominantemente, a produção de grãos, como, por exemplo, a soja, o milho, o feijão, o algodão, entre outros (ANA, 2021). No caso desses 15 polos, o método de irrigação predominante é de pivôs centrais. Nos demais, são predominantes a fruticultura e a cana-de-açúcar.

Para as 3 RHs identificadas com elevado potencial para implementação da prática de reúso de água, realizou-se o levantamento da cultura e o método de irrigação predominante, de acordo com os Polos Nacionais inseridos na área de cada uma delas.

Na RH Atlântico Sudeste, a cultura predominante é o café com a utilização do método de irrigação localizada. Nas RHs Paraguai e Paraná as culturas predominantes são os grãos (soja, milho, feijão, algodão, entre outros) por pivôs centrais como método de irrigação, à priori. Na Figura 2 estão expressas as 3 RHs levantadas com elevado potencial para a aplicação da prática de reúso, juntamente com os dados de cultura e o método de irrigação predominante.

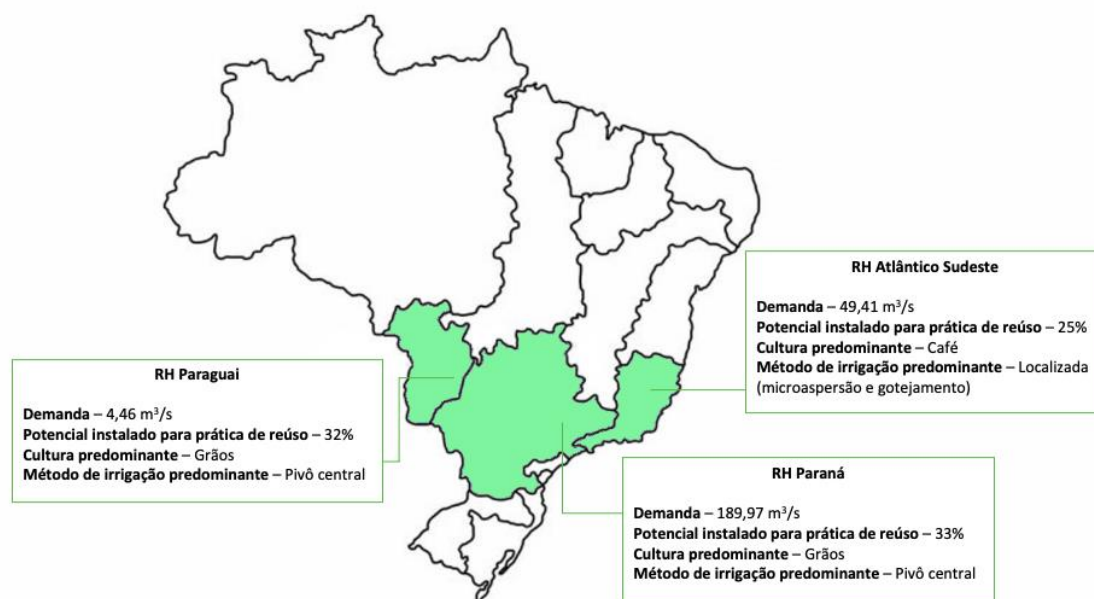


Figura 2: Demanda de irrigação, vazões de água para reúso nas categorias pré-definidas, cultura e o método de irrigação predominante para as RH de elevado potencial para a prática de reúso.

Fonte: Os autores (2021).

Entre as 3 RHs identificadas (Atlântico Sudeste, Paraguai e Paraná), a que apresenta a maior demanda é a RH Paraná, com aproximadamente 190 m³/s, e potencial instalado para a prática de reúso de apenas 33%. Além disso, essa porcentagem é em relação a Categoria 1 somada a Categoria 2. A segunda RH com a maior demanda é a RH Atlântico Sudeste, cerca de 50 m³/s, e 25% de potencial instalado para a aplicação da prática de reúso. E, a RH Paraguai, com demanda de 4,46 m³/s e 32% suprido.

O alcance da universalização não somente levaria ao atendimento da população ao sistema e coleta e tratamento de esgoto sanitário, como também geraria um maior volume disponível para reúso, com eficiência garantida para este segundo fim, além da sustentabilidade dos investimentos incluída no planejamento (LIMA et al., 2020). Por isso, evidencia-se a necessidade do alcance da universalização do esgotamento sanitário, não somente no sentido de minimizar a poluição dos corpos hídricos, mas também em propiciar em termos quantitativos, efluentes tratados para a prática de reúso.

Nas Regiões Hidrográficas identificadas, os métodos predominantes de irrigação dos Polos inseridos são o de Pivô central (RH Paraguai e Paraná) e o Localizado (RH Atlântico Sudeste). No que se refere à eficiência na utilização da água para irrigação, o método localizado (gotejamento e microaspersão) representam 95% e a aspersão (pivô central, dentre outros) contam com 85% (ANA, 2021).

Já em relação ao tipo de cultura predominante nesses polos inseridos nas RHs, tem-se o café (Atlântico Sudeste) e os grãos (Paraná e Paraguai). O café e as culturas irrigadas por Pivôs centrais possuem elevada representatividade no cenário nacional da irrigação. Dos 64,5 Mha irrigados, 8% são voltados para o café e em 27% são utilizados os Pivôs centrais (ANA, 2021).

Fase 3: Aplicação da metodologia da ASqRM nas RHs de elevado potencial para a aplicação do reúso de água

Para a ASqRM foram adotados fatores para a determinação dos valores de risco, tanto para a irrigação de grãos por pivôs centrais, como para irrigação de café por irrigação localizada. Para tal, foi aplicado o método ASqRM.

Na Etapa 1 da metodologia foi identificado o Perigo em relação ao tipo de tratamento do efluente e a qualidade microbiológica. O Perigo pode ser definido como o que possui a capacidade de provocar danos à saúde humana e ao meio ambiente, tanto a curto ou a longo prazo (APA, 2019).

O Perigo definido para a aplicação na metodologia ASqRM, para ambos os casos, foi o Perigo igual a 7, equivalente a um efluente secundário com desinfecção e concentração de *E. coli* entre $10^3 < E. coli < 10^4$. Na Tabela 1 está apresentada a classificação do Perigo de acordo com o tipo de tratamento do efluente e a qualidade microbiológica que foi utilizada para definição da Etapa 1 da metodologia.

Tabela 1: Classificação do Perigo de acordo com o tipo de tratamento do efluente e a qualidade microbiológica.

Nível	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Classificação	Opção de tratamento
V	$E. coli \geq 10^4$	9	Secundário
IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7	Secundário + desinfecção
III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5	Avançado
II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3	Secundário + desinfecção + cloração
I	$E. coli \leq 10^1$	1	Avançado + cloração

Fonte: Lima, Santos e Vieira (2021).

Para a Etapa 2 foram identificados os receptores envolvidos (Passo 1) e, após, foi realizada a correlação desses receptores com as vias de exposição (ingestão, inalação e adsorção dérmica) e suas ocorrências (direta ou indireta). De acordo com a APA (2019), os seres humanos podem aspirar a água para reúso de forma direta através da inalação e de forma indireta por meio de animais domésticos que carregam a água para outros ambientes.

Para a RH Atlântico Sudeste, foram identificados os receptores seres humanos (agricultores e consumidores) e as vias de exposição foram a ingestão, a inalação e a adsorção dérmica. Para as RHs Paraguai e Paraná, os

receptores seres humanos foram divididos em agricultores, consumidores e vizinhança; as vias de exposição também foram a ingestão, a inalação e a adsorção dérmica. Neste caso, a vizinhança foi incluída no estudo, em função da probabilidade de inalação de microgotículas oriundas do método de irrigação por aspersão em pivôs centrais.

No Passo 1 da Etapa 3 da metodologia ASqRM, foram elaborados os Cenários de exposição para os casos identificados. Cabe ressaltar que esse passo é o que mais demanda atenção, devido ao fato da complexidade e do alto grau de incertezas (REBELO et al., 2020). Por conseguinte, no Passo 2 da Etapa 3, foram atribuídos fatores de importância para as vias e os cenários de exposição.

Os fatores de importância para cada via de exposição ($f_{i \text{ via exp}}$) podem ser: 9 - considerada via de importância absoluta em casos de ingestão ou em casos de inalação por irrigação por aspersão; 5 - considerada via de importância eventual, em casos de inalação, para outros sistemas de irrigação; 3 – considerada via de fraca importância em casos de adsorção.

Os fatores de importância para cada cenário de exposição ($f_{i \text{ cen exp}}$) são classificados em: 9 - Absoluta (via de infecção extremamente elevada); 7 - Demonstrada (via de infecção essencial ou forte); 5 - Eventual (via de infecção possível); 3 - Fraca (ausência de dados sobre a via de infecção); 1 - Baixa (ausência de via de infecção). Cabe destacar que podem ocorrer níveis intermediários entre os julgamentos classificados, atribuindo-se valores de 2, 4, 6 ou 8 (LIMA, SANTOS e VIEIRA, 2021).

Na Tabela 2 estão descritos os cenários de exposição para a RH Atlântico Sudeste, com a atribuição dos fatores de importância para cada cenário e vias de exposição, de acordo com o receptor ser humano agricultor; e, na Tabela 3, para o receptor ser humano consumidor.

Tabela 2: Cenários de exposição e atribuição dos fatores de importância para irrigação localizada de café na RH Atlântico Sudeste de acordo com o receptor ser humano agricultor.

Cenários de exposição	Ser humano - agricultor		
	$f_{i \text{ cen exp}}$	$f_{i \text{ via exp}}$	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada
iii) ingestão da cultura	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água.
iv) ingestão do solo	5	9	Eventual. Cultura sem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido.
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	5	5	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento.
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	7	3	Demonstrada. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento.
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento.
viii) adsorção por contato com outras superfícies	5	3	Eventual. Sistema de irrigação é gotejamento.

Tabela 3: Cenários de exposição e atribuição dos fatores de importância para irrigação localizada de café na RH Atlântico Sudeste de acordo com o receptor ser humano consumidor.

Cenários de exposição	Ser humano - consumidor		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	-	-	Não aplicável
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	-	-	Não aplicável
iii) ingestão da cultura	3	9	Fraca. Cultura não tem contato com a água e possui a necessidade do cozimento para consumo.
iv) ingestão do solo	3	9	Fraca. Fruto não tem contato com a água e possui a necessidade do cozimento para consumo
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	-	-	Não aplicável
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	3	3	Fraca. Apesar do sistema de irrigação ser gotejamento.
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	-	-	Não aplicável
viii) adsorção por contato com outras superfícies	-	-	Não aplicável

Os cenários de exposição para as RHs Paraguai e Paraná, com a atribuição dos fatores de importância para cada cenário e vias de exposição, de acordo com os receptores definidos, estão apresentados na Tabela 4 (agricultores), Tabela 5 (consumidores) e Tabela 6 (vizinhança).

Tabela 4: Cenários de exposição e atribuição dos fatores de importância para irrigação de Pivô central de grãos nas RHs Paraná e Paraguai de acordo com o receptor ser humano agricultor.

Cenários de exposição	Ser humano - agricultor		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada.
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	9	9	Absoluta. Sempre elevada.
iii) ingestão da cultura	7	9	Demonstrada. Cultura tem contato com a água.
iv) ingestão do solo	7	9	Demonstrada. Cultura não tem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido.
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	9	9	Absoluta. Sistema de irrigação é aspersão.
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	7	3	Demonstrada. Irrigação por aspersão.
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	5	3	Eventual. Irrigação por aspersão.
viii) adsorção por contato com outras superfícies	5	3	Eventual. Irrigação por aspersão.

Tabela 5: Cenários de exposição e atribuição dos fatores de importância para irrigação de Pivô central de grãos nas RHs Paraná e Paraguai de acordo com o receptor ser humano consumidor.

Cenários de exposição	Ser humano - consumidor		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	-	-	Não aplicável
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	-	-	Não aplicável
iii) ingestão da cultura	7	9	Eventual. Cultura tem contato com a água e possui a necessidade do cozimento para consumo.
iv) ingestão do solo	7	9	Demonstrada. Cultura não tem contato com o solo, mas pode ser armazenada no solo eventualmente úmido.
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	-	-	Não aplicável
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	5	3	Eventual. Irrigação por aspersão.
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	-	-	Não aplicável
viii) adsorção por contato com outras superfícies	-	-	Não aplicável

Tabela 6: Cenários de exposição e atribuição dos fatores de importância para irrigação de Pivô central de grãos nas RHs Paraná e Paraguai de acordo com o receptor ser humano vizinhança

Cenários de exposição	Ser humano - vizinhança		
	f_i cen exp	f_i via exp	Justificativa
i) ingestão inadvertida durante a irrigação	-	-	Não aplicável
ii) ingestão intencional a partir do sistema de irrigação	-	-	Não aplicável
iii) ingestão da cultura	-	-	Não aplicável
iv) ingestão do solo	-	-	Não aplicável
v) inalação de microgotículas durante a irrigação	7	9	Demonstrada. Irrigação por aspersão.
vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes	-	-	Não aplicável
vii) adsorção por contato com o sistema de irrigação	-	-	Não aplicável
viii) adsorção por contato com outras superfícies	5	3	Eventual. Irrigação por aspersão.

O último passo da Etapa 3 refere-se ao cálculo da vulnerabilidade de cada receptor. Para tal, foram utilizadas as equações desenvolvidas por Rebelo (2018) e Rebelo et al. (2020) e explicitadas por Lima, Santos e Vieira (2021). A vulnerabilidade está intrinsecamente relacionada à proximidade do receptor ao evento da irrigação, apresentando maior valor para os agricultores e operadores do sistema, quando comparados aos comerciantes e consumidores.

No caso da irrigação localizada de café, a vulnerabilidade para o agricultor foi de 0,69 e para o consumidor foi de 0,33. Para a irrigação de grãos por Pivô central, a vulnerabilidade para o agricultor foi de 0,86, para o consumidor foi de 0,75 e para a vizinhança foi de 0,72.

Na última etapa de aplicação da metodologia ASqRM, Etapa 4, foi realizada a caracterização do Risco. Primeiramente, foram identificadas as barreiras, com o objetivo de reduzir o contato da água para reúso com os receptores. O conceito de barreiras equivalentes pode ser entendido como um modo de redução e/ou prevenção dos riscos associado à saúde humana e ao meio ambiente (ISO, 2020).

Para o caso de irrigação localizada, as barreiras selecionadas foram: irrigação por gotejamento com crescimento distante do solo (50 cm) – 2 barreiras equivalentes; e, cultura de consumo após o cozimento – 3 barreiras equivalentes. No caso de irrigação por pivôs centrais, foram: irrigação por aspersão com crescimento distante do solo (50 cm) – 2 barreiras equivalentes; e, cultura de consumo após o cozimento – 3 barreiras equivalentes.

Após, no Passo 2 da Etapa 4, foi determinado o Dano através da probabilidade da falha das barreiras selecionadas e a severidade dos danos. No caso da irrigação localizada, o Dano obtido foi de 0,42 e para a irrigação por pivô central, foi de 0,67.

Com o valor do Dano, obtido no passo anterior, e o Perigo (Etapa 1), estimou-se o Risco de cada receptor (Passo 3 da Etapa 4). Para a irrigação localizada de café, o Risco para o agricultor foi de 2,04 e para o consumidor, 0,99. Na irrigação por Pivô central, o Risco para o agricultor foi de 4,03, para o consumidor foi de 3,48 e para a vizinhança foi de 3,336.

Por fim, obteve-se o valor do Risco Global para ambos os casos e classificados na Escala Qualitativa, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7: Nível do Risco Global nas Escalas Quantitativa e Qualitativa

Nível do Risco Global	
Escala Quantitativa	Escala Qualitativa
$0 < R_{\text{Global}} < 3$	Risco global desprezável
$3 \leq R_{\text{Global}} < 7$	Risco global aceitável
$7 \leq R_{\text{Global}} < 9$	Risco global inaceitável

Fonte: Lima, Santos e Vieira (2021).

O Risco Global na Escala Quantitativa foi 1,51 para irrigação localizada, o que representa um Risco Global desprezável. No caso da irrigação por Pivô central, o Risco Global foi de 3,62, representando um Risco Global aceitável. Nos Quadros 1 e 2 estão apresentadas as sínteses da aplicação da metodologia ASqRM para ambos os casos descritos anteriormente.

Quadro 1 – Resumo da aplicação da metodologia ASqRM para a cultura predominante (café) com irrigação localizada na RH Atlântico Sudeste.

Etapas	Dados
Etapa 1 - Identificação dos perigos	Perigo: 7 - ($10^3 < E. coli < 10^4$)
Etapa 2 - Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores	Receptores: Ser humano (agricultores e consumidores) Vias de exposição: Ingestão, inalação e adsorção dérmica
Etapa 3 - Cenarização da exposição de acordo com a dose	Cenários: i) Ingestão inadvertida durante a irrigação (via direta); ii) Ingestão intencional a partir do sistema de irrigação (via direta); iii) Ingestão da cultura (via indireta); iv) Ingestão do solo (via indireta); v) Inalação de microgotículas durante a irrigação (via direta); vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes; vii) Adsorção por contato com sistema de rega (via direta); viii) Adsorção por contato com outras superfícies (via direta). Vulnerabilidade: Agricultor – 0,69; Consumidor – 0,33
Etapa 4 - Caracterização dos riscos	Barreiras: Irrigação por gotejamento - crescimento distante do solo (50 cm); Cultura de consumo após o cozimento. Dano: 0,42 Risco Receptor: Agricultor – 2,04; Consumidor – 0,99 Risco global: 1,51 (risco desprezável)

Quadro 2 – Resumo da aplicação da metodologia ASqRM para a cultura predominante (grãos) com irrigação de Pivô central nas RHs Paraná e Paraguai.

Etapas	Dados
Etapa 1 - Identificação dos perigos	Perigo: 7 - ($10^3 < E. coli < 10^4$)
Etapa 2 - Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores	Receptores: Ser humano (agricultores, consumidores e vizinhança) Vias de exposição: Ingestão, inalação e adsorção
Etapa 3 - Cenarização da exposição de acordo com a dose	Cenários: i) Ingestão inadvertida durante a irrigação (via direta); ii) Ingestão intencional a partir do sistema de irrigação (via direta); iii) Ingestão da cultura (via indireta); iv) Ingestão do solo (via indireta); v) Inalação de microgotículas durante a irrigação (via direta); vi) adsorção por contato com a cultura irrigada, folhas e raízes; vii) Adsorção por contato com sistema de rega (via direta); viii) Adsorção por contato com outras superfícies (via direta). Vulnerabilidade: Agricultor – 0,86; Consumidor – 0,75; Vizinhança – 0,72
Etapa 4 - Caracterização dos riscos	Barreiras - Irrigação por aspersão com crescimento distante do solo (50 cm); Cultura de consumo após o cozimento. Dano – 0,67 Risco Receptor: Agricultor – 4,03; Consumidor – 3,48; Vizinhança – 3,36 Risco global: 3,62 (risco aceitável)

Na aplicação da ASqRM voltada para irrigação localizada na RH Atlântico Sudeste pode-se verificar que a prática de reúso de água para este tipo de aplicação fornece Risco global desprezável (1,51). Esse valor de risco é alcançado ao se utilizar a água para reúso com concentração de *E. coli* entre 10^3 e 10^4 , qualidade similar ao da Categoria 2 (secundário com desinfecção). Para as RHs Paraguai e Paraná, o Risco global apresentou-se aceitável (3,62).

Em relação aos riscos de cada receptor, o agricultor apresenta o Risco maior entre todos os envolvidos. Porém, cabe destacar que o maior potencial de reúso das RHs baseia-se, majoritariamente, em efluentes considerados como Perigo 9 (efluente secundário).

No caso das RHs Paraguai e Paraná que apresentaram nível de Risco aceitável, podem ser aplicadas reavaliações da metodologia ASqRM. As reavaliações possibilitam atingir níveis mais baixos de risco com a alteração e/ou inclusão de outras barreiras. Nessa situação, e mesmo no caso da RH Atlântico Sudeste que já apresentou risco desprezível, é imprescindível a realização de estudo e análises complementares em uma escala mais detalhada em cada RH. O recorte metodológico adotado na presente pesquisa (RH), foi intencional, com o objetivo de apresentar uma abrangência nacional. Entretanto, para aplicações práticas, é de grande importância que as características locais sejam introduzidas na aplicação da ASqRM.

CONCLUSÕES

O presente estudo apresentou a aplicação da Avaliação Semiquantitativa de Risco Microbiológico (ASqRM) na prática de reúso de água voltada para irrigação no Brasil. A partir dos dados analisados de quantidade de efluente gerado em todas as ETEs em operação no país, pode-se concluir que ainda são necessários elevados esforços para se alcançar a universalização. E não se trata apenas dos índices de cobertura de tratamento de esgotos, mas também da eficiência de remoção da carga poluidora e da qualidade do efluente tratado. Atualmente, a maior parte das ETEs possui eficiência de remoção de matéria orgânica de até 80%.

Para o suprimento da demanda com a Categoria 1 (ETEs que apresentam uma remoção de matéria orgânica superior a 80%), as RHs Atlântico Sudeste, Paraguai e Paraná apresentaram elevado potencial para a utilização da água de reúso, possibilitando ser uma excelente ferramenta para balizar a tomada de decisão na gestão dos

recursos hídricos. Entretanto, a quantidade de água de reúso com remoção de matéria orgânica superior a 80% mais desinfecção atingiu no máximo 3% da demanda para irrigação nessas RHs.

No que tange a aplicação da ASqRM, basicamente foram encontradas duas situações. Na RH Atlântico Sudeste, com a irrigação localizada como método predominante, obteve-se o risco desprezável com a utilização da água para reúso da Categoria 2. Nas RH Paraguai e Paraná, cujo método de irrigação predominante é o Pivô central, obteve-se o risco aceitável com a utilização da água para reúso da Categoria 2.

Cabe destacar que esses resultados foram obtidos utilizando-se dados bastante agregados, em escala nacional, havendo a necessidade de estudos aplicados para o conhecimento específico da qualidade do efluente, o tipo de cultura e o método de irrigação, dentre outros aspectos, com vistas a uma aplicação mais prática e específica.

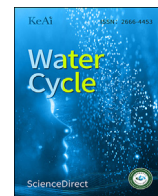
Por fim, vale sempre lembrar que a prática de reúso de água voltada para irrigação no Brasil pode ser fomentada como uma atividade segura, caso sejam tomadas todas as medidas e normas para a sua utilização, tornando-se, assim, uma estratégia para a gestão de recursos hídricos e o caminho para a universalização dos serviços de esgotamento sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF: ANA, 2019.
2. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas esgotos: atualização da base de dados de estações de tratamento de esgotos no Brasil. Brasília, 2020.
3. ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília, DF: ANA, 2021.
4. ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS G. Water Reuse: From Ancient to Modern Times and the Future. *Frontiers Environmental Science*. v.6, n. 26, 2018.
5. APA. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. Guia para reutilização de água – usos não potáveis. Lisboa: APA, 2019.
6. ARAUJO, B. M.; SANTOS, A. S. P.; SOARES, S. R. A.; MELO, M. C. DE; OHNUMA JUNIOR, A. A. Aspectos econômicos para o reúso na agricultura na Bacia do Rio Paraíba do Sul e comparação com o modelo da gestão de cobrança em Israel. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Rio Paraíba do Sul. 2018.
7. ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16075-1:2020 – Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation, International Organization for Standardization, Geneva. 2020.
8. LIMA, M.; ARAUJO, B. M.; SOARES, S. R. A.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions. *Water Supply*, ws2020280.
9. LIMA, M. A. M.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. Irrigação com água de reúso no Brasil: aplicação do modelo semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana. *Revista GESTA*, v. 9, n. 2, p. 72-86, 2021.
10. MARIN, P.; TAL, S.; YERES, J.; RINGSKOG, K. Water Management in Israel: Key Innovations and Lessons Learned for Water-Scarce Countries. World Bank, Washington, DC, 2017.
11. MELO, M. C.; SANTOS, A. S. P.; SANTOS, N. A. P.; ARAÚJO, B. M.; OLIVEIRA, J. R. S.; CAMPOS, A. R. Evaluation of potential use of domestic treated effluents or irrigation in areas subject to conflicts over water use in Paracatu River Basin. *Caminhos da Geografia* (UFU. Online), v. 21, p. 52-63, 2020.
12. PORTUGAL. Decreto Lei nº 119 de 21 de agosto de 2019. Estabelece o regime jurídico de produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização. Lisboa, 2019.
13. REBELO, A.; FERRA, I.; GONÇALVES, I.; MARQUES, A. M. A Risk Assessment Model for Water Resources: Releases of dangerous and hazardous substances. *Journal of Environmental Management*, v. 140, p. 51-59, 2014.
14. REBELO, A. Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água. In: Atas do 14º Congresso da Água, Évora, Portugal, 2018. Anais [...], Évora, Portugal, 2018.



15. REBELO, A.; QUADRADO, M.; FRANCO, A.; LACASTA, N.; MACHADO, P. Water reuse in Portugal: New legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization. *Water Cycle*, p. 41-53, v. 1, 2020.
16. SANTOS, A. S. P.; GONÇALVES, R. F.; MELO, M. C.; LIMA, M. A. M.; ARAUJO, B. M. Uma análise crítica sobre os padrões de qualidade de água de uso e de reúso no Brasil. *Revista Sustinere*, v. 8, n. 2, p. 437-462, 2020.
17. SOARES, S.R.A.; SANTOS, A. S. P. Priorização da água de reúso em Bacias Hidrográficas com base no planejamento de recursos hídricos: proposta metodológica e exemplos das bacias do Rio Grande e do Piancó-Piranhas-Açu. *Revista GESTA*, v. 9, n. 2, p. 111-125, 2021.
18. VIEIRA, J. M. P. Plano de Segurança da água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, v. 1, n.1, pp. 87-97, 2013.
19. WEF. World Economic Forum. **The Global Risks Report 2018** -13th Edition. Geneva, 2018.
20. WHO. World Health Organization. Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management. World Health Organization, 2016.
21. WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris, UNESCO. 2019.
22. ZHITENEVA, V.; HÜBNER, U.; MEDEMA, G. J.; DREWES, J. E. Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: a review. *Microbial Risk Analysis*, v. 16, 2020.



Water reuse in Brazilian rice farming: Application of semiquantitative microbiological risk assessment

Maíra Araújo de Mendonça Lima^{a,*}, Ana Silvia Pereira Santos^{a,1}, Anabela Rebelo^b,
Maria Manuela Lima^c, José Manuel Pereira Vieira^c

^a University of State of Rio de Janeiro, 524 São Francisco Xavier St, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, 20550-900, Brazil

^b Portuguese Environment Agency, Rua da Murgueira 9 – Zambujal - Alfragide, 2610-124, Amadora, Portugal

^c CTAC - Centre of Territory, Environment and Construction - School of Engineering, University of Minho - Campus de Azurém, Guimarães, Portugal

ARTICLE INFO

Keywords:

Water reuse
Semiquantitative risk assessment
Multi-barriers
Hazard
Irrigation

ABSTRACT

The current paper presented the Semiquantitative model for microbiological risk assessment for human health, in rice crop production in Brazil. For this purpose, initially, Microbiological Risk Assessment (SqMRA) was divided into four stages: 1) Identification of hazards; 2) Identification of exposure routes for different receptors; 3) Exposure scenarization; 4) Risk characterization. After that, the SqMRA was applied to rice farming in two scenarios, in which the first considers the effluent to be disinfected (Hazard 7), and the second considers the reality of sewage treatment conditions in Brazil (Hazard 9). Thus, it was observed that the reuse of water reuse can be applied in rice farming, with an acceptable global risk, to the receptors involved (farmer, consumer, and neighborhood). Although, it is necessary the relevance of disinfection to minimize the risk in any water reuse application is highlighted.

1. Introduction

Faced with the water insecurity that currently affects the whole world, namely the driest regions of the planet, the use of treated wastewater becomes increasingly present. In this scenario, in addition to providing water from an alternative source for various purposes, the practice of water reuse alleviates regional water pressures, minimizes the impacts of conflicts over water use and water pollution. In addition, in low and middle-income countries, water reuse can encourage the increase in sewage treatment rates and the improvement of operational practices to achieve the desired quality, consequently boosting socioeconomic development [1].

There are several possibilities for water reuse, usually classified as potable and non-potable, which demand different levels of quality, related to the intended uses [2]. However, it is a practice intrinsically associated with the risk of contamination. In the case of agricultural application, the most frequent purpose of the reuse practice in the world, the risk is related to the environment and the health of workers, consumers and the population living in the neighborhood of irrigated areas,

due to the microbiological and chemical constituents present in the effluent after the treatment [3]. In general, standards, guidelines, and criteria for the reuse of non-potable water, throughout the world, are based on the quality of water required for a given use [3], but in most cases, they do not involve the direct application of risk assessment methodologies. However, at the European level, risk assessment has become mandatory whenever agricultural irrigation is involved, and in Portugal it is required for any use [4].

Technological advances allow the production of high-quality reclaimed water (RW), which can reliably meet the most demanding standards, including for potable uses [5,6]. If the treatment process is inadequate or unreliable, residual biological and chemical contaminants can pose a risk to human health [7]. This risk can be greater or lesser, the more or less exposed to hazard the receptors are, respectively. This is one of the main factors involved with user rejection [8]. The general public considers RW as a high risk to human health, mainly due to the presence of pathogens that may enter the food chain [9], although the practice has proven technical-scientific reliability [10].

To ensure safety, risk assessment, in particular on human health, is of

* Corresponding author. University of State of Rio de Janeiro, 524 São Francisco Xavier St, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

E-mail addresses: mairalima.90@gmail.com (M.A.M. Lima), ana.pereira@uerj.br (A.S.P. Santos), anabela.rebelo@pambiente.pt (A. Rebelo), mmlima@civil.uminho.pt (M.M. Lima), jvieira@civil.uminho.pt (J.M.P. Vieira).

¹ Currently in a postdoctoral study at University of Minho/Portugal.

<https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2022.04.003>

Received 10 March 2022; Received in revised form 17 April 2022; Accepted 20 April 2022

Available online 25 April 2022

2666-4453/© 2022 The Authors. Publishing Services by Elsevier B.V. on behalf of KeAi Communications Co. Ltd. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

paramount importance [11]. The risk must be evaluated and managed correctly so that the transparency of actions and information provides an adequate level of communication to achieve a sustained relationship with the population and promote a greater acceptance of water reuse projects [12].

The current discussion on different risk assessment approaches can help to establish more informative and comprehensive risk assessment models in future studies on the topic of water reuse, which continues to grow [13]. In this sense, the aim of the current paper is to present an application of the semi-quantitative model for microbiological risk assessment for human health, in rice crop production. This type of crop, generally irrigated by flooding (furrow or flood) is of great importance for agricultural production in Brazil, as it demands the largest amount of water for irrigation in the country.

The relevance of the study also results from the fact that this type of irrigation has already been identified as a potential vector of risk in fresh crops intended for raw consumption [14] but there are studies on risk assessment for crops consumed after cooking.

2. Risk assessment

To guarantee the safety of water reuse, different risk assessment methodologies are adopted. In all of them, four main elements are interrelated to minimize the risk for public health, to acceptable levels. They are: i) Identification of hazards, ii) Identification of exposure routes for different receptors, iii) Exposure scenarios according to the dose; iv) Risk Characterization [4,13,15].

The hazard (i) relates to chemical, biological or physical agents with the potential to cause harm [16]. According to the ISO 20670:2018, a standard on vocabulary for water reuse [17], the hazard is defined as being a “source or situation with a potential for harm in terms of human injury or ill health (both short and long term), damage to property, the environment, soil, and vegetation, or a combination of these”.

For public health, the hazard is mostly associated with microorganisms related to waterborne diseases, usually represented by indicators of fecal contamination [13,18]. In the case of irrigation for agricultural purposes, chemical constituents such as compounds of emerging concern can be absorbed by crops in the irrigation process, with this absorption being greater in foliage and roots than in fruits [19]. However, despite still being studied, it is suggested that most contaminants of emerging concern, as well as heavy metals, may not present major health risk concerns [19,20]. Furthermore, according to ISO 16075-1:2020, to date, there is a lack of evidence of adverse effects of contaminants of emerging concern (pharmaceutical residues and personal care products) on human health or the environment from RW irrigation or consumption of irrigated crops with RW [21]. Thus, the hazards inherent to the RW to be made available for irrigation are mainly related to the microbiological content, especially pathogens.

The exposure routes (ii) considered are ingestion, inhalation, or dermal adsorption, are assumed with direct or indirect contact, to different receptors, such as humans, animals (domestic or livestock), landscape vegetation or crops (food or not) [15,22]. The receptors and their respective susceptibilities to hazard are always different in each water reuse project in the irrigation of different types of crops.

The scenarios (iii) should portray, in the greatest possible detail, the potential situations of exposure of receptors to RW. For this reason, it is the most critical stage, which involves subjectivity and uncertainties [4].

The risk characterization (iv) consists of quantifying and prioritizing the risk for human health resulting directly from the factors associated with the hazard, exposure routes, applicable scenarios, and the applied multiple barriers [23].

The World Health Organization (WHO) suggests several risk assessment approaches that can respond to different management needs. These are qualitative and semi-quantitative models or quantitative mathematical methods, in addition to sanitary inspection, which involves a simple and effective approach for small systems [24].

All approaches, in different ways, estimate the possible risks associated with the practice of reuse, to reduce them to a minimum level considered acceptable. Quantitative assessment, known by the acronym QMRA (Quantitative Microbial Risk Assessment) combines scientific knowledge about the presence and nature of pathogens, their potential fate and transport in the water cycle and exposure scenarios referring to the receptor and their health effects that result from such exposure [24]. Qualitative or semi-quantitative assessment is based on the approach of the risk matrix that allows assessing different risks associated with water quality, involving an appraisal of the likelihood of occurrence of exposure to a given hazard and its severity or consequence, if it happens.

Among the different risk assessment methodologies, those that use quantitative mathematical models, similar to QMRA, are complex and have a high uncertainty as they require extensive local data that are not always available for non-potable uses [4]. Besides that, the data limitation ends up requiring many assumptions during the process, absorbing great uncertainties for the result [13]. The quantitative model, due to the characteristics already described, and not because it is difficult to apply in reclaimed water scenarios, has great applicability for risk assessment in potable reuse [25]. In the context of reuse, the quantitative method should only be used for potability purposes (direct or indirect) [13]. On the other hand, the QMRA can be used to assess risk at a specific point in the reuse system, such as the delivery point between the RW production system and the farmer but does not allow the quantification of the risk beyond that [18].

2.1. Semiquantitative Microbiological Risk Assessment

For non-potable uses, it was developed a Semiquantitative model, based on the qualitative methodology presented by the ISO 20426:2018 in order to deal with the limitations of quantitative microbiological risk assessment [4,26].

This, along with parts 1 and 2 of the 16075 series of standards [21,27] form the basis of the Portuguese legislation [28] and the European Union Regulation [29]. The Semiquantitative Microbiological Risk Assessment (SqMRA) comprises the use of an empirical qualitative judgmental approach to assess the relative importance of hazards, exposure routes and contact scenarios, and multi-barriers in place [4]. For this, instead of dealing with complex input data such as those required for the application of QMRA, in the semi-quantitative methodology, the input data can be the possible quality standards that indirectly represent the eventually tolerable doses.

According to this, the regulations that legally enable the practice of water reuse should be taken into account, not only the water quality standards, but also a risk management plan, specifically associated with the project in question, according to a fit-for-purpose approach [4]. This is the purpose indicated by ISO 16075-1:2020, i.e., the use of RW with a quality suitable for the purpose for which it is intended without jeopardizing public health or the environment [21]. In this approach, is possible to combine physical, chemical, or biological barriers to minimize contact between hazards and receptors, and consequently minimize risk. To control microbiological risk, the concept of accredited barrier can also be used, which is a measure that produces a result equivalent to a certain microbiological reduction measured in logarithmic scale [27].

3. Methodology

For the development of this study, the semi-quantitative model of microbiological risk assessment for human health, developed [4] and already adopted in Portugal, following the publication of specific regulations for the water reuse [28] and in the European Union, through the recent Regulation (EU) 2020/741 [30], was applied with the aim of ensuring the safety of reuse for agricultural irrigation purposes.

The SqMRA is divided into four stages, corresponding to the successive application of the elements that integrates the methodology: 1) Identification of hazards; 2) Identification of exposure routes for different

receptors; 3) *Exposure scenarios*; 4) *Risk* characterization. Each of these stages involves different steps, which must be taken seriously to ensure the successful implementation of a safe reuse practice in irrigation. In Fig. 1, a general flowchart of the SqMRA application is presented, with all stages and steps involved in the process, which are detailed as follows.

Stage 1 - Identification of hazards

Initially, the hazard related to the practice of water reuse in irrigation, which configures the microbiological risk, must be identified. In this stage, the possible agents that have the potential to cause adverse effects are identified.

Usually are used indicators of microbial content in water due to the difficulties to detect and/or quantify all pathogenic agents present in water due to the lack of easy and reliable methods. The *Escherichia coli* (*E. coli*) is the most common indicator for defining the hazard associated with human health in RW irrigation practices [13,18,32], although Thermotolerant Coliforms can also be adopted. In this study, *E. coli* was used, instead of fecal coliforms, as it is used in the legal aspects adopted, according to Portuguese legislation, European Union Regulation, and ISO guidelines.

Table 1 shows the hazard classification related to the quality of the RW, considering the *E. coli* pattern, according to the level of wastewater treatment.

Stage 2 - Identification of exposure routes for different receptors

In this stage, the possible receptors (Step 1) that have susceptibility to exposure are identified, through the following routes: ingestion, inhalation, and dermal adsorption, directly or indirectly. Subsequently, for each identified receptor, is necessary to assign the exposure routes (Step 2).

Step 1 - Identification of receptors

The receptors involved must be identified according to the main characteristics of the analyzed project, such as the irrigation method and systems, culture typology, area location, neighborhood, among others. Potential receptors are those that are susceptible to exposure, especially humans, animals, and vegetation [15]. In the present study, only human

Table 1

Hazard level classification based on wastewater treatment options and microbiological quality.

level	<i>E. coli</i> (CFU/100 mL)	Hazard	treatment options
V	$E. coli \geq 10^4$	9	Secondary
IV	$10^3 < E. coli < 10^4$	7	Secondary + disinfection
III	$10^2 < E. coli \leq 10^3$	5	Advanced
II	$10^1 < E. coli \leq 10^2$	3	Secondary + disinfection + post-chlorination
I	$E. coli \leq 10^1$	1	Advanced + post-chlorination

Source: Adapted from Ref. [4].

receptors were adopted.

The human beings can be separated by age group, by function in the production chain, and by adherence to the project [4]. In the case of age group, children, adolescents and the elderly are usually more vulnerable than adults.

Regarding the role in the production chain, farmers and system operators (producers) are more vulnerable than merchant, because the first group is closer to the irrigation event and, consequently, to the RW. Merchants, a group of intermediaries between collection and distribution, must be adopted according to the specificities of each project.

In relation to adherence to the project, consumers and neighbors have different degrees of susceptibility, related to the distance of the irrigation systems and the type of consumption of the crop by consumers.

Step 2 – Definition of exposure routes for each receptor

The routes of exposure (ingestion, inhalation, and dermal adsorption) and their occurrences (direct or indirect) can be combined in different ways [4]. For instance, ingestion can occur directly, and can be intentional, accidental, by lack of information about the non-potability of water, inadvertently due to the ingestion of microdroplets during sprinkler irrigation, hand to mouth, among others.

Inhalation by human beings occurs directly by inhalation of the RW, for example, in cases of sprinkler irrigation; and indirectly, through domestic animals that carry the droplets to these environments. Adsorption, on the other hand, occurs through contact with wet or damp surfaces,

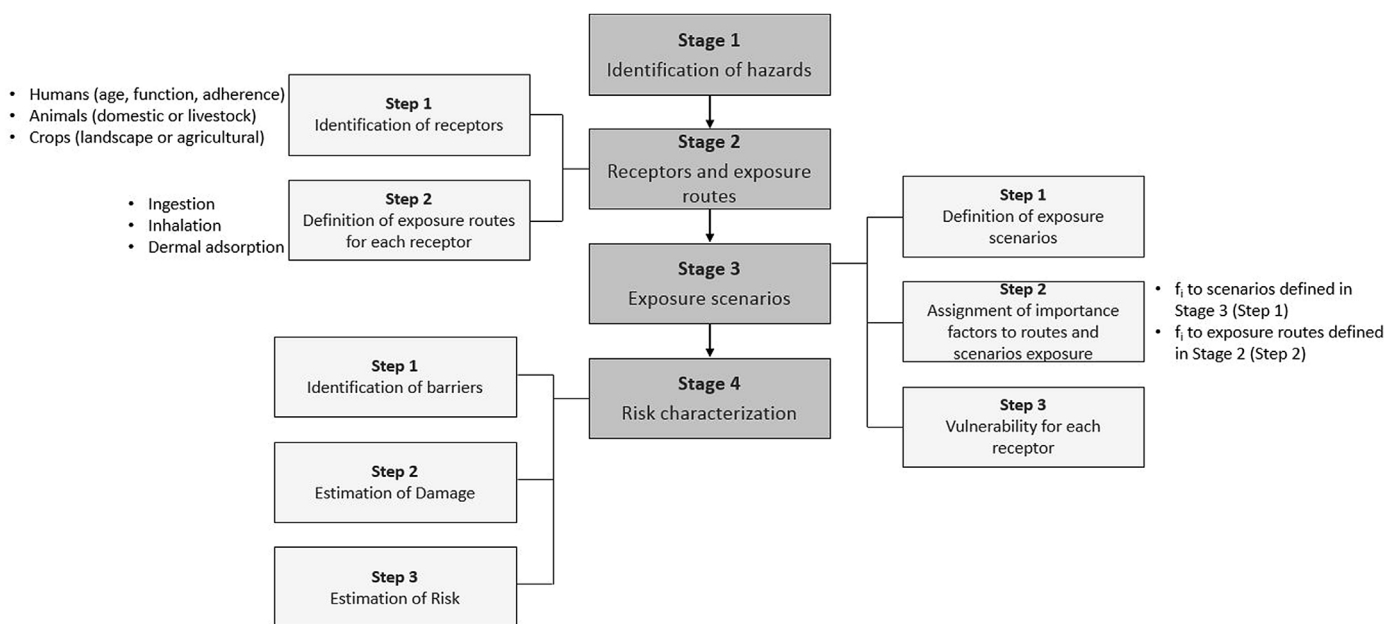


Fig. 1. Semiquantitative microbiological risk assessment methodology application flowchart. Source: Adapted from Ref. [31].

Table 2Importance factor applicable to each exposure scenario ($f_{i\text{ Scen}}$).

exposure scenario		exposure routes		
Importance level	$f_{i\text{ Scen}}$	route	$f_{i\text{ path}}$	Importance level
Absolute (very high evidence of occurrence)	9	ingestion	9	Absolute
Demonstrated (high evidence of occurrence)	7	inhalation	9	Absolute in irrigation system by aspersion
Eventual (medium evidence of occurrence)	5	inhalation	5	Possible to other irrigation systems
Weak (low evidence of occurrence)	3	dermal adsorption	3	Weak due to no evidence of the occurrence
Low (with no evidence of occurrence)	1			

Source: Adapted from Ref. [34]. Source: Adapted from Ref. [4].

either directly or indirectly [4].

The highest risk exposure routes about RW are ingestion and inhalation, especially in situations where aerosols are produced, as in the case of sprinkler irrigation [33]. Regarding dermal adsorption, less evidence of infection is known, although a few cases have been identified in some studies, in Southeast Asia, of dermatitis, urticaria, and fungal infections of the fingers or nails in workers of untreated or just partially treated wastewater systems [11].

Stage 3 - Exposure scenarios

Step 1 - Definition of exposure scenarios

The definition of exposure scenarios is identified as one of the stages that demands higher attention due to the complexity of the analysis and the high level of uncertainty, especially in areas of unrestricted access with a high circulation of people [4]. The identification of exposure scenarios should be as exhaustive as possible, regardless of the probability of their occurrence [15].

Step 2 – Assignment of importance factors (f_i) to routes and scenarios exposure

For each exposure scenario, it is important to take into account the specific characteristics of the location and regional habits, as well as the operational criteria for applying the RW. For each type of receptor, the value assigned should vary depending on the understanding of greater or lesser exposure in each situation and the evidence described in the literature, related to the infection associated with the scenarios [4]. This step may involve a certain degree of uncertainty due to the absence of data demonstrating infections related to non-potable use [4,13].

Important factors (f_i), related to the probability of infection, are

attributed to the different receptors, for each established scenario, with values ranging from 1 to 9 [34], due to an empirical qualitative approach to judgment. The use of this scale allows dealing with the complexity of the problem through its decomposition into clear and scalable factors, facilitating the establishment of comparative relationships for the construction of hierarchies and the definition of priorities [23].

To reduce uncertainties, the analysis should always consider the worst-case perspective; scenarios that present exposure routes with high importance of infection should initially be considered with the highest f_i [4]. For the attributions of f_i , justifications that are consistent and adequate for each situation must be pointed out. This justification, based on constructed hierarchies and defined priorities, provides the minimization of uncertainties, besides intensifying the risk assessment, ensuring a higher confidence on the process [4].

Table 2 shows the f_i related to exposure scenarios ($f_{i\text{ Scen}}$) and exposure routes ($f_{i\text{ path}}$). In the first case, for intermediate levels between two judgments, values of 2, 4, 6, or 8 can be assigned according to the need. In the second, the following variations are allowed [4]: for the route of ingestion, the value 9 is always assigned; for inhalation, 5 or 9; and for dermal adsorption, the value 3.

Step 3 – Vulnerability for each receptor

Vulnerability estimation is performed for each receptor by applying the equations presented in Table 3. Equation 1 characterizes a sum of the individual relationships between the exposure route and the number of scenarios for each situation. In Equation 2 the sum of the product of the f_i of the exposure route with the f_i of the exposure scenario is performed. In Equation 3, there is the calculation of the normalization factor, where the maximum importance factor is equal to 9 since it is considered the highest importance value. The use of normalization factors in hierarchical analytical method allows the reduction and adequacy of the work scale [35]. Through Equation 4, the vulnerability of each receptor is estimated.

Stage 4 - Risk Characterization

Step 1 – Barriers identification

To minimize the contact of receptors with RW, through exposure routes (direct and indirect) of ingestion, inhalation and dermal adsorption, the concept of physical or chemical barriers is introduced [27]. In this way, a barrier can be defined as the means of reducing and preventing risks associated with health and the environment, avoiding contact with RW and/or improving its quality [17].

Thus, water quality is not the only parameter to guarantee health protection in reuse projects. Other options, such as irrigation type and schedule, crop characteristics or harvesting options may limit contact between receptors and pathogenic organisms present in RW [4]. Some barriers, called accredited barriers, play a role of equivalence to the pathogenicity of RW, even if it still presents values higher than the maximum acceptable for the standard indicator of fecal contamination

Table 3

Equations adopted in the estimation of Damage.

Sum of factors of importance for exposure routes ($f_{i\text{ path}}$)	Sum of the product ($f_{i\text{ path}}$) $\times$ ($f_{i\text{ Scen}}$)	Calculation of the normalization factor	Calculating the vulnerability of each receptor
$\sum(f_{i\text{ path}} \times n_{\text{Scen}})$	$\sum(f_{i\text{ path}} \times f_{i\text{ Scen}})$	$f_{i\text{ max}} \times \sum(f_{i\text{ path}} \times n_{\text{Scen}})$	$V_{\text{Rec}} = \frac{\sum(f_{i\text{ path}} \times f_{i\text{ Scen}})}{f_{i\text{ normal}}}$
Equation 1	Equation 2	Equation 3	Equation 4
$f_{i\text{ path}}$ = importance factors linked with the exposure route			
n_{Scen} = number of scenarios considered by exposure route			
$f_{i\text{ Scen}}$ = importance factors linked with the exposure scenario			
$f_{i\text{ max}}$ = the higher value of importance (9)			
$f_{i\text{ normal}}$ = normalization factor			

Source: Adapted from [4,36].

for the end-use [27].

When considering these options, lower quality RW can be used for different purposes in the context of multiple barriers [4]. In this case, the

Table 4

Barriers and number of accredited barriers associated with the reduction of pathogenic organisms for irrigation of food crops with RW.

Barrier type	Application	Reduction of Pathogens (Log)	Number of accredited barriers
Drip irrigation	Drip irrigation growing close to the ground (25 cm), growing away from the ground (50 cm) or underground ¹	2–6	1–3
Spray and sprinkler irrigation	Sprinkler and micro-sprinkler irrigation of growing crops, close to the ground (25 cm) or fruit trees distant from the ground (50 cm) ¹	2–4	1–2
Additional disinfection in the field	Disinfection that guarantees a residual concentration less than $<1 \text{ mg L}^{-1}$ (low level) or that guarantees a residual concentration less than $>1 \text{ mg L}^{-1}$ (high level) ²	2–4	1–2
Pathogen die-off	Interruption of irrigation before harvest	0.5 to 2 a day	1–2
Produce washing before selling to the customers	Washing of vegetable, vegetable and fruit crops with drinking water	1	1
Produce disinfection before selling to the customers	Washing of vegetable, vegetable and fruit crops with disinfectant solution and rinsing with drinking water	2	1
Produce peeling	Peeling of fruits and roots	2	1
Produce cooking	Immersion in boiling water or at high temperatures until the product is cooked	6–7	3
Access control	Restriction of entry to the irrigated site for 1 day or more after irrigation or 5 days or more after irrigation ³	0.5 to 2 - 2 to 4	1–2
Sun drying of fodder crops	Forage or other crops that are exposed to sun drying and harvested before consumption	2 to 4	2

Note: 1 – Crops growing closer to the ground have lower values of pathogen reduction and equivalent barriers; the opposite is true. 2 – Low-level disinfection is associated with lower values of pathogen reduction from equivalent barriers; the opposite is true. 3 – Includes workers and animals; the more days of access restriction, the higher the reduction of pathogens and the number of equivalent barriers can be considered.

Source: Adapted from Refs. [27,33,37].

risk is minimized, as the probability of failure of multiple barriers is lower than the probability of failure of a single barrier [15]. The basic principle of multiple barriers is that the failure of one barrier can be compensated for by the effective operation of the remaining barriers in place, to make the project more reliable.

Table 4 shows the types of accredited barriers, their corresponding reductions in logarithmic units of pathogens and the associated number of accredited barriers.

Step 2 – Estimation of Damage

At this point, the damage severity *versus* the failure probability of each barrier associated with the project, defined in Step 1, is analyzed. The generalized application model for this type of analysis, called a prioritization matrix, whose cells, grouped in a certain number of classes, represent values, relating the probability (frequency) of the occurrence of the events with the consequence (severity) of the respective impacts [38]. Similarly, the damage matrix was adapted [36] and presented in Fig. 2, from the ISO 20462:2018 [26].

Damage estimation is performed by applying the equations presented in Table 5. Firstly, the sum of partial damages (Equation 5), referring to each barrier associated with the project, must be performed. Subsequently, we proceed with the calculation of the normalization factor (Equation 6). And, finally, the damage is calculated (Equation 7) from the two previous ones.

Step 3 - Risk characterization

In this step, the estimation of risk for each receptor is calculated according to Equation 8. The Global Risk (R_{Global}) is an arithmetic mean between the individual risks associated with each receptor, as shown in Equation 9. Both equations are presented in Table 6.

Table 5

Equations adopted in the estimation of Damage.

Sum of partial damages (d_i)	Calculation of the normalization factor	Damage calculation
$\sum (d_i * n_i)$	$f_{\text{normal}} = (f_{\text{max}} * n_t)$	$\text{Damage} = \frac{\sum (d_i * n_i)}{f_{\text{normal}}}$
Equation 5	Equation 6	Equation 7
d_i = partial damage x number of barriers		
n_i = number of barriers according with Table 4*		
n_t = total number of barriers in place		
f_{max} = the higher value of importance (9)		
f_{normal} = normalization factor		

Source: Adapted from Refs. [4,36].

Note: * it can be equal to one (1) when the mean in situ is not listed as an equivalent barrier.

Severity of damage ↓	Likelihood of occurrence				
	Rare	Unlikely	Possible	Likely	Almost certain
Insignificant	1	1	2	2	3
Minor	1	2	4	4	5
Moderate	2	4	4	6	7
Major	2	4	6	8	9
Catastrophic	3	5	7	9	9

Fig. 2. Partial Damage Determination Matrix for each barrier.

Source: Adapted from Ref. [36].

Table 6
Equations adopted in the estimation of risk.

Risk for each receptor	Global risk
$R_{\text{receptor}} = \text{Hazard}^* \text{Damage}^*$ V_{receptor} Equation 8	$R_{\text{Global}} = \frac{\sum R_{\text{receptor}}}{N_{\text{Receptors}}}$ Equation 9
R_{receptor} = Risk for each respective receptor category V_{receptor} = Vulnerability of receptors	

Source: Adapted from Refs. [4,36].

Table 7
Global risk level in quantitative and qualitative scale.

Global Risk Level	
Quantitative Scale	Qualitative Scale
0 < Global Risk <3	Despicable risk
3 ≤ Global Risk <7	Acceptable risk
7 ≤ Global Risk <9	Unacceptable risk

Source: [36].

The Hazard was previously established in Table 1 (Stage 1), the Damage was calculated using Equation 5 (Stage 4 – Step 2), and the Vulnerability of each receptor using Equation 4 (Stage 3 – Step 3).

The Global Risk presents values that vary between a value above zero to nine, depending on the characteristics involved in each project (scenarios, assigned importance factors, barriers, etc.). Prioritization is achieved by converting the R_{Global} into a three-level qualitative scale, as shown in Table 7 and adopted by other authors [4].

In case of an unacceptable Global Risk, it is necessary to repeat the entire process, to reassess the stages, with new actions such as changing the level of the hazard (by increasing the effluent treatment level) and/or application of new barriers to achieving an acceptable or despicable risk. If is not possible to obtain a minimal acceptable level, the project implementation is considered unfeasible [4].

Once the appropriate risk level for a specific project is reached, the previously established hazard (in this case a certain concentration value of *E. coli*) used in the risk characterization can be validated as the quality standard be applied to the RW [4].

4. Data adopted for the study

The SqMRA was applied to rice farming, considering that rice production occupies 25% of the total irrigated area in Brazil (1298 Mha) and demands 40% of the entire volume of water abstracted in the national territory [39]. It is also noteworthy that other low and middle-income countries such as China, India, Indonesia, and the Philippines are also major rice producers, contributing to the consumption of water for irrigation worldwide [40].

The management of this crop by flooding requires more water per unit area than in other irrigation systems [39]. In Brazil, the Federal States that produce rice in greater quantities are Rio Grande do Sul, Santa Catarina, and Tocantins, responsible for, respectively, 73%, 8%, and 11% of national production [39].

In general, the rice crop is produced from irrigation by furrows or flooding. Although the levels of exposure of receptors to hazard may differ among the irrigation methods, the similar approach was adopted in the application of the methodology, as both take into account the flooding of the area.

It is also worth noting that the SqMRA methodology must be applied in each project, individually, considering that the exposure levels may vary depending on the local characteristics and operational conditions of irrigation, harvesting, and storage. Thus, this generalized approach, adopted in the present study, is configured only for scientific studies, since the action can lead to a high degree of uncertainty.

Table 8
Data adopted in the paper carried out.

Stage/Step	Adopted data	observation
Hazard (Stage 1)	7 and 9 ¹	Secondary disinfected effluent
Identification of Receptors (Stage 2/Step 1)	farmer consumer neighborhood	Grater hazard exposure Less hazard exposure Medium hazard exposure
Definition of exposure routes (Stage 2/Step 2)	Ingestion, Inhalation ² , and Dermal adsorption	All routes were adopted for all receptors
Definition of exposure scenarios (Stage 3/Step 1)	1. Inadvertent ingestion during irrigation 2. Intentional ingestion from the irrigation system 3. Crop ingestion 4. Soil ingestion 5. Dermal adsorption by contact with the irrigated crop, leaves, and roots 6. Dermal adsorption by contact with irrigation system 7. Dermal adsorption by contact with other surfaces	–
Assignment of f_i to routes and scenarios exposure (Stage 3/Step 2)	Adopted data according to values established in Table 2	
Vulnerability receptors (Stage 3/Step 3)	Calculated based on equations 1 to 4	
Identification and number of accredited barriers (Stage 4/Step 1)	Produce cooking (3 barriers) and peeling (1 barrier), as shown in Table 4 ³	
Estimation of damage (Stage 4/Step 2)	Calculated based on equations 5 to 7	
Estimation of risk (Stage 4/Step 3)	The risk for each receptor was estimated based on Equation 8; The global risk was estimated based on Equation 9	

The data adopted for the application of the SqMRA methodology in rice cultivation in Brazil are presented in Table 8, according to the model previously described its stages and steps.

Notes: 1 The SqMRA was applied in two scenarios, in which the first considers the effluent to be disinfected (Hazard 7), and the second considers the reality of sewage treatment conditions in Brazil (Hazard 9).² Inhalation is attributed to aerosols, generally produced in a sprinkler irrigation system. Although intense winds can also produce these types of microdroplets in flooded systems, inhalation was not scenarioized in the present paper, for simplification purposes. However, in cases of application of the methodology in places with the possibility of high winds, it should be adopted for farmers and neighborhoods.³ The barriers adopted, defined as actions after the harvest, relate only to consumers since the farmer harvests the rice in natura.

5. Results and discussion

Given the perspectives and the Brazilian reality, in terms of the quality of treated wastewater, the SqMRA was applied in two different scenarios. In the first one, we chose to adopt Hazard equal to 7, due to the prerogative that a disinfected effluent guarantees more safety to the practice. However, the reality about wastewater treatment in Brazil shows that most of the effluent is treated at a secondary level, without disinfection [41]. Thus, the second scenario relies on the application of the methodology, considering Hazard equal to 9.

5.1. Scenario 1 – Hazard equal to 7

Table 9 presents the main results of the application of the SqMRA

Table 9

SqMRA methodology application for rice farming - Hazard 7 (10^3 CFU/100 mL < *E. coli* < 10^4 CFU/100 mL).

Item	Value
Hazard	7
Vulnerability for each receptor	Farmer: 0.87 Neighborhood: 0.50 Consumer: 0.43
Damage	Farmer and Neighborhood: 1.00 Consumer: 0.39
Risk receptors	Farmer: 6.09 Neighborhood: 3.50 Consumer: 1.17
Global Risk	3.58 (Acceptable risk) ¹ 4.79 (Acceptable risk) ²

Observation.

¹ Global risk considering the 3 receptors adopted in the study.

² Global risks considering only the 2 main receptors (farmer and neighborhood) since the possibility of several receptors involved after harvest could change the value end of the global risk.

methodology, considering all stages and steps, in addition to the data presented in Table 5. The complete spreadsheet is available as Supplementary Material. This spreadsheet was developed to facilitate the use of the methodology in other applications and regions, but care must be taken, each case is a case and this methodology represents a real portrait of this case. However, it is important to pay attention to the indiscriminate use of the available spreadsheet, since the user must always apply it with great care, considering the real local characteristics of each irrigation water reuse project.

The results presented in Table 6 demonstrate the feasibility of applying water reuse for rice cultivation in Brazil, about aspects of epidemiological risk. As expected, and in accordance with previous observations from other authors, there is an estimate of a higher risk of microbiological contamination for the farmer than for other receptors [11]. Despite the high possibility of contact between the farmer and the RW, the estimated global risk is still in the acceptable level.

In the case of the neighborhood, the risk is greatly reduced because the irrigation method is different from sprinkling and presents a lower possibility of producing microdroplets that could be inhaled, as already mentioned. But still, it is in the acceptable category.

For the consumer, low risk was also expected, due to the processing (with peeling) and cooking of the rice before consumption. However, it should be noted that these risk values may vary depending on the

Table 10

SqMRA methodology Reiteration for rice farming - Hazard 9 (*E. coli* > 10^4 CFU/100 mL).

Item	Value
Hazard	9
Vulnerability for each receptor	Farmer: 0.96 Neighborhood: 0.53 Consumer: 0.43
Damage	Farmer and Neighborhood: 1.00 Consumer: 0.39
Risk Receptors	Farmer: 8.60 Neighborhood: 4.75 Consumer: 1.50
Global Risk	4.95 (Acceptable risk) ¹ 6.67 (Acceptable risk) ²

Notes.

¹ Global risk considering the 3 receptors adopted in the study.

² Global risks considering only the 2 main receptors involved (farmer and neighborhood) since the possibility of several receptors involved after harvest could change the value end of the overall risk.

specifics of the configuration of each reuse system, since there may be situations that enhance (or minimize) certain types of contact. For this reason, to calculate the global risk, two procedures were adopted: i) considering the three receptors adopted in the study; and ii) considering only the 2 main receptors involved (farmer and neighborhood) since the possibility of several receptors, with multiple handling criteria, involved after harvest could change the final value of the global risk. Thus, should be emphasized that for the application of the methodology in a real project, all possible receptors, from irrigation to the final consumer, (professionals related to peeling, processing, handling, packaging, and marketing) must be taken into account in conjunction with the food safety procedures needs according to respective regulations, when in place.

It should also be noted that when considering all workers involved in the production process of rice irrigated with RW, is possible to minimize risks by introducing capacity building and systematic use of equipment and safety habits.

5.2. Scenario 2 – Hazard equal to 9

The States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, identified in the present study as responsible for 80% of the Brazilian production of rice, are comprised, almost entirely, in the River Basin (RB) of Uruguai and

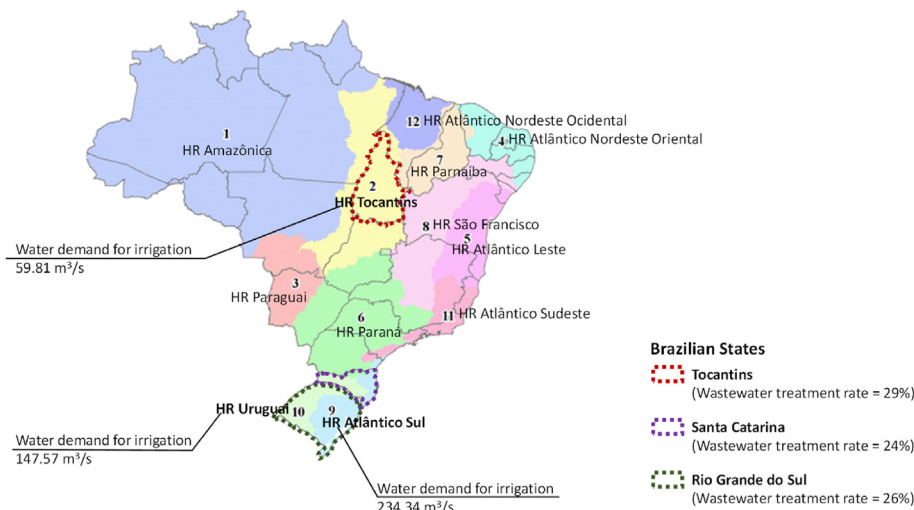


Fig. 3. Schematic map with Brazilian states and River Basin.

Atlântico Sul and require, in general, approximately $382 \text{ m}^3/\text{s}$ of water for irrigation [41]. However, the two RBs present a service rate with domestic wastewater treatment at 30%. Similarly, the RB Tocantins-Araguaia, which involves practically the entire State of Tocantins, has a demand of approximately $60 \text{ m}^3/\text{s}$ for irrigation but also has a low rate of wastewater treatment (less than 30%) [41,42].

The relationship between the Brazilian states highlighted in the study (Rio Grande do Sul, Santa Catarina, and Tocantins) and the River Basin Districts also highlighted (Uruguai, Atlântico Sul, and Tocantins-Araguaia) can be seen in the schematic map in Fig. 3.

The scenario of high demand for water for irrigation and low production of treated effluent shows the difficulty of structuring water reuse, although the water demand for rice crop production in these regions is high and the risk of contamination of human beings is moderate, as demonstrated by the application of methodology.

The RW was defined in two categories to assess the potential for reuse in Brazilian RB, as a function of water quality: Category 1 - RW from wastewater treatment plants (WWTP) that have an organic matter removal higher than 80%; and Category 2 - RW from wastewater treatment plants which, in addition to having an organic matter removal of more than 80%, have disinfection [41].

In this sense, considering the three RB (Uruguai, Atlântico Sul, and Tocantins-Araguaia), the potential for supply of reclaimed water in Category 1 (secondary effluent) is $2.53 \text{ m}^3/\text{s}$ and in Categories 2 (disinfected secondary effluent), of $1.12 \text{ m}^3/\text{s}$ [41].

Since Category 2 (disinfected secondary effluent), equivalent to Hazard equal to 7 (*E. coli* $\leq 10^4$ CFU/100 mL), represents the lowest available water potential for reuse, it was decided to repeat the process of applying the SqRMA methodology, considering hazard equal to 9, which represents Category 1 (secondary effluent). The results for this reiteration can be seen in Table 10.

This reiteration in the application of the methodology presents a very relevant result, in which when offering water corresponding to a secondary effluent (without disinfection), even the estimation of risk for the farmer changing from acceptable to unacceptable, the overall risk remains in the acceptable level, although quite close to the limit of the maximum value. Furthermore, the risk for the farmer can be reduced with equivalent barriers, such as rubber gloves and boots, consequently reducing overall risk.

In this sense, it can be highlighted that Uruguai, Atlântico Sul, and Tocantins-Araguaia River Basin have a high potential for the application of water reuse in the irrigation of rice crops by furrows or by flooding, with an acceptable risk of microbiological contamination of human beings involved in the practice [41]. However, it should be noted that the study deals with a generalized scientific approach and, in the case of a real application, all those involved must be carefully evaluated and the scenarios must be exhaustively studied, also considering the use of additional risk minimization means, such as equipment and safety habits among the workers in each sector, to provide more safety for the practice.

It is also noteworthy that in Asia, the largest producer of irrigated rice in the world, the crop represents 40–46% of the irrigated area among all other crops [43]. The water reuse in China has become the main objective of WWTP in the new era of wastewater treatment in the country [44].

In this sense, a good way to solve the problem of water scarcity is to increase water productivity, corroborates the results of the present research [45]. In the case of irrigated rice, it is important to determine the economic and energy implications when considering water reuse options to improve water productivity at the system level [40].

6. Conclusions

The present research presented the application of the semi-quantitative methodology of microbiological risk assessment for irrigation of rice crop in Brazil, with reclaimed water. This irrigated crop is the most demanding in terms of water for irrigation, not only in the Brazilian territory but also in other rice-producing countries.

Given the study presented, it is possible to conclude that the water reuse can be applied in rice farming, considering irrigation methods such as furrows and flooding, with an acceptable global risk of contamination of the receptors involved (farmer, consumer, and neighborhood), which can contribute to a considerable reduction of freshwater water consumption in the world.

Both for the secondary effluent and the disinfected secondary effluent, it was possible to reach an acceptable global risk (3.58 and 4.95, respectively), although the relevance of disinfection to minimize the risk in any water reuse application is highlighted. Furthermore, should be emphasized that is essential to adopt safety equipment and habits for all workers involved, in addition to capacity building, since reclaimed water is product that may present hazards to humans.

Should always be noted that the most appropriate application of this risk assessment methodology must take into account the characteristics and specificities of each project, with exhaustive scenarios, and all potential receptors involved in the project. In this case, it is possible to include, in addition to those adopted in the present study, all workers involved in rice processing, before arrival at the final consumer's table. A tool was made available in the supplementary material that allows the application of the methodology for different scenarios in a user-friendly interface.

Finally, both in Brazil and in regions with lower socioeconomic development, is needed to plan for advances in wastewater treatment service rates, considering the technical, economic, and logistical possibility of providing irrigation for the most appropriate crops, with reclaimed water.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2022.04.003>.

References

- [1] M. Lima, B.M. de Araujo, S.R.A. Soares, A.S.P. Santos, J.M.P. Vieira, Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions, *Water Supply* 21 (6) (Oct 2020) 2799–2810, <https://doi.org/10.2166/ws.2020.280>.
- [2] A.N. Angelakis, T. Asano, A. Bahri, B.E. Jimenez, G. Tchobanoglous, Water reuse: from ancient to modern times and the future, *Front. Environ. Sci.* 6 (May 2018), <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00026>.
- [3] F. Shoushtarian, M. Negahban-Azar, Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review, *Water* 12 (4) (2020) 971, <https://doi.org/10.3390/w12040971>.
- [4] A. Rebelo, M. Quadrado, A. Franco, N. Lacasta, P. Machado, Water reuse in Portugal: new legislation trends to support the definition of water quality standards based on risk characterization, *Water Cycle* 1 (2020) 41–53, <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.006>.
- [5] V. Lazarova, T. Asano, A. Bahri, J. Anderson, Milestones in Water Reuse: the Best Success Stories, IWA Publishing, 2013, <https://doi.org/10.2166/9781780400716>.
- [6] A.S.P. Santos, V. Pachawo, M.C. Melo, J.M.P. Vieira, Progress on legal and practical aspects on water reuse with emphasis on drinking water – an overview, *Water Supply* (Dec. 2021), <https://doi.org/10.2166/ws.2021.412>.
- [7] M. Mukherjee, O. Jensen, Making water reuse safe: a comparative analysis of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia, *Saf. Sci.* 121 (2020) 5–14, <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.08.039>.
- [8] S.J. Khan, R. Anderson, Potable reuse: experiences in Australia, *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2 (2018) 55–60, <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.02.002>.
- [9] WHO, Potable reuse, *Guidance for Producing Safe Drinking-Water*, World Health Organization, 2017.
- [10] J.C. Intriago, et al., Agricultural reuse of municipal wastewater through an integral water reclamation management, *J. Environ. Manag.* 213 (May 2018) 135–141, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.02.011>.
- [11] A.A. Adegoke, I.D. Amoah, T.A. Stenström, M.E. Verbyla, J.R. Mihelcic, Epidemiological evidence and health risks associated with agricultural reuse of

- partially treated and untreated wastewater: a review, *Front. Public Health* 6 (Dec) (2018), <https://doi.org/10.3389/fpubh.2018.00337>.
- [12] H.M. Smith, S. Brouwer, P. Jeffrey, J. Frijns, Public responses to water reuse – understanding the evidence, *J. Environ. Manag.* 207 (Feb. 2018) 43–50, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.021>.
 - [13] V. Zhiteneva, U. Hübner, G.J. Medema, J.E. Drewes, Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: a review, *Microbial Risk Analysis* 16 (2020), 100132, <https://doi.org/10.1016/j.mran.2020.100132>.
 - [14] I. Castro-Ibáñez, M.I. Gil, J.A. Tudela, A. Allende, Microbial safety considerations of flooding in primary production of leafy greens: a case study, *Food Res. Int.* 68 (Feb. 2015) 62–69, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.05.065>.
 - [15] A. Rebelo, A. Franco, Guia para a reutilização de água - Usos não potáveis, 2019. Accessed: Feb. 27, 2022. [Online]. Available: https://apambiente.pt/sites/default/files/Agua/DRH/Licenciamento/APR/APA_Guia_Reutilizacao_v1.pdf.
 - [16] A.K. Vuppaladadiyam, N. Merayo, P. Prinsen, R. Luque, A. Blanco, M. Zhao, A review on greywater reuse: quality, risks, barriers and global scenarios, *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 18 (1) (2019) 77–99, <https://doi.org/10.1007/s1157-018-9487-9>.
 - [17] International Organization for Standardization, ISO 20670:2018 Water Reuse — Vocabulary, 2018. Geneva.
 - [18] P. Truchado, et al., New standards at European Union level on water reuse for agricultural irrigation: are the Spanish wastewater treatment plants ready to produce and distribute reclaimed water within the minimum quality requirements? *Int. J. Food Microbiol.* 356 (2021), 109352 <https://doi.org/10.1016/j.jifoodmicro.2021.109352>. Oct.
 - [19] R. Delli Compagni, et al., Risk assessment of contaminants of emerging concern in the context of wastewater reuse for irrigation: an integrated modelling approach, *Chemosphere* 242 (2020), 125185, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125185>.
 - [20] S. Potivichayanon, N. Sittitoon, and B. Vinnerås, “Exposure assessment of treated greywater reused for irrigation,” *Water Supply*, vol. 21, no. 8, pp. 4404–4417, Jun. 2021, doi: 10.2166/ws.2021.191.
 - [21] International Organization for Standardization, ISO 16075-1:2020 – Guidelines for Treated Wastewater Use for Irrigation Projects — Part 1: the Basis of Reuse, 2nd. Ed., 2020. Geneva.
 - [22] W.H. Organization, Sanitation Safety Planning: Manual for Safe Use and Disposal of Wastewater, Greywater and Excreta, World Health Organization, 2015.
 - [23] A. Rebelo, I. Ferra, I. Gonçalves, A.M. Marques, A risk assessment model for water resources: releases of dangerous and hazardous substances, *J. Environ. Manag.* 140 (2014) 51–59, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.02.025>.
 - [24] W.H. Organization, Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management, World Health Organization, 2016.
 - [25] J.M.P. Vieira, Plano de segurança da água em mananciais de abastecimento de água para consumo humano, *Revista Eletrônica De Gestão E Tecnologias Ambientais* 1 (1) (2013) 87–97.
 - [26] International Organization for Standardization, ISO 20426:2018 - Guidelines for Health Risk Assessment and Management for Non-potable Water Reuse, 2018. Geneva.
 - [27] International Organization for Standardization, ISO 16075-2:2020 – Guidelines for Treated Wastewater Use for Irrigation Projects — Part 2, 2nd., Development of the project, 2020.
 - [28] Portugal, Decreto-Lei n.O 119/2019, 2019, pp. 21–44. Portugal: <https://dre.pt/dre/detalhe/decreto-lei/119-2019-124097549>.
 - [29] European Commission, Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 Establishing a Framework for Community Action in the Field of Water Policy, 2000, pp. 1–72.
 - [30] European Union, Regulation (EU) 2020/741 of the European Parliament and of the Council of 25 May 2020 on Minimum Requirements for Water Reuse, 2020, pp. 32–55.
 - [31] M.A. de M. Lima, A.S.P. Santos, J.M.P. Vieira, Irrigação com água de reúso no Brasil: aplicação do modelo Semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana, *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais* 9 (2) (2021) 71–86, <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i2.45534>. Sep.
 - [32] G. Chhipi-Shrestha, K. Hewage, R. Sadiq, Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: probabilistic risk-based investigation and recommendations, *Sci. Total Environ.* 576 (2017) 738–751, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.105>. Jan.
 - [33] W.H. Organization, Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater in Agriculture and Aquaculture, World Health Organization, 2006.
 - [34] T.L. Saaty, The Analytic Hierarchy Process : Planning, Priority Setting, Resource Allocation, McGraw-Hill International Book Co., New York, London, 1980.
 - [35] A. Ishizaka, M. Lusti, How to derive priorities in AHP: a comparative study, *Cent. Eur. J. Oper. Res.* 14 (4) (2006) 387–400, <https://doi.org/10.1007/s10100-006-0012-9>.
 - [36] A. Rebelo, Reutilização de água: Abordagem para o desenvolvimento de práticas de reutilização de água, 2018.
 - [37] U.S. Environmental Protection Agency, Guidelines for Water Reuse - EPA/600/R-12/618, 2012. Accessed: Feb. 27, 2022. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>.
 - [38] J.M.P. Vieira, Água e Saúde Pública, first ed., 2018. Sílabo.
 - [39] Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil), ATLAS IRRIGAÇÃO - USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA, second ed., ANA, Brasília, 2021 [Online]. Available: www.ana.gov.br.
 - [40] M. Hafeez, J. Bundschuh, S. Mushtaq, Exploring synergies and tradeoffs: energy, water, and economic implications of water reuse in rice-based irrigation systems, *Appl. Energy* 114 (2014) 889–900, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.051>.
 - [41] M. Lima, B.M. de Araujo, S.R.A. Soares, A.S.P. Santos, J.M.P. Vieira, Water reuse potential for irrigation in Brazilian hydrographic regions, *Water Supply* 21 (6) (Oct. 2020) 2799–2810, <https://doi.org/10.2166/ws.2020.280>.
 - [42] Ana, “Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada,” 2017. Brasília.
 - [43] D. Dawe, Increasing water productivity in rice-based systems in Asia – past trends, current problems, and future prospects, *Plant Prod. Sci.* 8 (3) (Jan. 2005) 221–230, <https://doi.org/10.1626/pp.8.221>.
 - [44] A. Xu, et al., Towards the new era of wastewater treatment of China: development history, current status, and future directions, *Water Cycle* 1 (2020) 80–87, <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.06.004>.
 - [45] F.R. Rijsberman, Water scarcity: fact or fiction? *Agric. Water Manag.* 80 (1) (2006) 5–22, <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2005.07.001>.

ORIENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO SEMIQUANTITATIVO DE AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO

Nesta planilha: preencher as células em amarelo

Informações em relação ao empreendimento

Método de irrigação	
Sistema de irrigação	

Relação do método e do sistema com a cultura	Desenvolvimento rente ao solo	
	Água de irrigação em contato com a cultura	

Características da cultura	Alimentícia	
	Consumida crua	
	Remoção da casca	

ORIENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO SEMIQUANTITATIVO DE AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO

Nesta planilha: preencher as células em amarelo

Aplicação da Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico

Etapa 1 - Identificação dos Perigos	
-------------------------------------	--

Etapa 2 - Identificação das vias de exposição para os diferentes receptores

Passo 1	Passo 2
Ser humano	

* A classificação de cada receptor está na Etapa 3 de modo a favorecer a cenarização

ORIENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MODELO SEMIQUANTITATIVO DE AVALIAÇÃO DE RISCO MICROBIOLÓGICO

Nesta planilha: preencher as células em amarelo

Aplicação da Análise Semiquantitativa de Risco Microbiológico

- Etapa 3 - Cenarização da exposição de acordo com a dose
- * Realizar a Etapa 3 para cada receptor identificado na Etapa 2 - Passo 1.
- * Caso possua a necessidade de inclusão de mais receptores, inserir a Etapa 3, juntamente com os Passos 1, 2 e 3 ao final da planilha. Atenção deve ser tomada para evitar perda das fórmulas.

Passo 1		Passo 2				Passo 3		
Receptor		Cenários	fi cenário de exposição	Via de exposição	fi via exposição	Justificativa	Somatório do fi via exp	0
							Somatório do produto do (fi via exp) com o (fi cen exp)	0
							Cálculo do fator de normalização	0
							Cálculo da Vulnerabilidade	#DIV/0!

Passo 1		Passo 2				Passo 3		
Receptor		Cenários	fi cenário de exposição	Via de exposição	fi via exposição	Justificativa	Somatório do fi via exp	0
							Somatório do produto do (fi via exp) com o (fi cen exp)	0
							Cálculo do fator de normalização	0
							Cálculo da Vulnerabilidade	#DIV/0!

