

1.1. Legislação aplicada ao lixiviados de aterros de resíduos sólidos urbanos

As leis que controlam a disposição e o tratamento de resíduos sólidos no Brasil referem-se a legislação ambiental. A Política Nacional de Resíduos Sólidos passou a regular o setor a partir de 2010 instituindo metas desafiadoras.

Até 2010 não havia essa regulação e a questão do lixiviado de aterros sanitários era tratada em diversos tópicos das legislações federal, estadual e municipal, e requer um entendimento conjunto das mesmas para que se possa apreender, os deveres e responsabilidades de cada esfera e o nível de tratamento requerido para atendimento legal.

A Constituição Federal (BRASIL,1988), determina o combate a poluição em qualquer de suas formas(art 23) e a proteção do meio ambiente através do controle da poluição (art 24). Estabelece também que compete ao município legislar sobre questões locais. Por isso há no Rio de Janeiro sobre o assunto a NT202-R10 (CECA, 1986), que estabelece os critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos, conforme descrito a seguir.

Existe também a DZ-205-R6 (CECA, 2007), que trata do controle de carga orgânica em efluentes industriais como o caso do lixiviado de aterros sanitários. Ela prevê o seguinte:

" Todas as atividades poluidoras industriais deverão implantar tecnologias menos poluentes e/ou sistemas de pré-tratamento de controle da matéria orgânica não biodegradável e da carga de poluentes que interferem no metabolismo da flora e fauna aquática e na operação dos sistemas biológicos de tratamento"

A lei de crimes ambientais (BRASIL, 1998) prevê sanção de 1 a 5 anos de reclusão e multa se o crime ocorrer devido ao lançamento de resíduos sólidos, líquidos ou gasosos em desacordo com as exigências da lei ou regulamentos. No caso dos lixiviados, caso o mesmo seja lançado nos corpos hídricos, ainda que tratado, porém em não conformidade com os padrões de

lançamento da Resolução CONAMA 430 e 357 (BRASIL, 2005), também se constitui em crime ambiental, de acordo com este artigo da Constituição Federal. (BRASIL, 1988)

A Resolução CONAMA 357 (BRASIL 2005) dispõe sobre os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos de acordo com o enquadramento dos mesmos segundo suas classes de uso. Portanto, os lixiviados de aterros sanitários *quando determina que:*

"O efluente não devera causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente."

Dessa forma o controle da toxicidade de um efluente é competência de cada estado. O artigo 7 também aborda o assunto de forma geral.

"Artigo 7º - Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe."

Parágrafo único: "Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida".

Os artigos 8º e 34º discorrem sobre a obrigatoriedade dos ensaios ecotoxicológicos.

Artigo 8º - O conjunto de parâmetros de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo poder público.

§1º Também deverão ser monitorados os parâmetros para os quais haja suspeita da sua presença ou não conformidade.

§3º A qualidade dos ambientes aquáticos poderá ser avaliada por indicadores biológicos, quando apropriado, utilizando-se organismos e/ou comunidades aquáticas.

Artigo 34 – Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos d'água desde que obedeçam as condições e padrões previstos neste artigo, resguardadas outras exigências cabíveis:

§1º “O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar, efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de toxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.” (BRASIL, 2005)

§ 2º “Os critérios de toxicidade previstos no parágrafo 1º devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos padronizados, utilizando organismos aquáticos, e realizados no efluente.” (BRASIL, 2005)

Assim, para efeito de enquadramento do lixiviado bruto, devem ser consideradas a Resolução CONAMA e a legislação estadual. Na maioria das vezes, por se tratar de um efluente altamente complexo, a caracterização do lixiviado bruto demonstra que este não pode ser lançado no ambiente sem um tratamento prévio por não se enquadrar nas características físico-químicas estabelecidas no padrão de lançamento.

No Estado do Rio de Janeiro, a NT 202 R10 (CECA, 1986), define Critérios e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos, emitida pela antiga Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEEMA), atual INEA, em 12/12/1986. O item 3.6 da referida norma técnica, prevê que A FEEMA poderá estabelecer exigências quanto à redução de toxicidade dos efluentes líquidos, ainda que dentro dos padrões preconizados por esta Norma Técnica”.

O INEA (FEEMA), também estabelece na NT 213 R4, (CECA, 1990), critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais,

utilizando testes com organismos vivos. Essa medida objetivou proteger os corpos receptores da ocorrência de toxicidade aguda ou crônica e estabelecer um limite máximo para essa toxicidade, levando em consideração a capacidade de diluição do corpo hídrico.

Para o parâmetro de nitrogênio amoniacal total, a Resolução CONAMA 357 definiu como limite concentração de lançamento de 20mg N/L o mesmo valor para efluentes industriais (CONAMA, 2005; CONAMA, 1986, CECA, 1986).

Conforme observaram REIS e MENDONÇA (2009), o limite estabelecido pela Resolução CONAMA 20 (BRASIL, 1986) de 5mg N/L, para as concentrações de amônia total nos efluentes apresentava-se extremamente rigoroso. Não existia base técnica que sustentasse os padrões impostos pela Resolução CONAMA 20 (BRASIL, 1986), como também parece não existir para o novo padrão estabelecido pela Resolução 357 (BRASIL, 2005). A revisão do padrão proposto representa, portanto, um avanço, principalmente quando se considera o fato de que foram estabelecidos para os corpos receptores, cujos valores, passaram a ser função do pH (REIS, MENDONÇA, 2009)

A legislação estadual do Rio de Janeiro determina no item 6.1 da NT 213 R4 (CECA, 1990):

“Não é permitido o lançamento de efluentes líquidos industriais, em qualquer corpo receptor, com um número de unidades de toxicidade superior a oito, obtido em testes de toxicidade aguda realizados com peixes DANIO RERIO.”

A NT 202 R10 (CECA, 1986) determina os critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos, e para o parâmetro nitrogênio amoniacal, fixa o valor da concentração máxima de 5mg/L. Isto significa que, ainda que o lixiviado, bruto ou tratado, lançado no corpo hídrico atenda à Resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011), caso se confirme sua toxicidade, em função dos

ensaios toxicológicos impostos pela lei, passa a prevalecer a legislação mais restritiva. (ou 5mg/L ou UT <8).

Em Santa Catarina, a lei estadual 14.675 (SC, 2009) que institui o Código Estadual do Meio Ambiente. O artigo 14 institui que o licenciamento e a fiscalização de toda e qualquer atividade potencialmente causadora de degradação ambiental pela FATMA. Entretanto, não exclui a responsabilidade de outros órgãos públicos, dentro de suas respectivas competências.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada neste estudo está descrita a seguir.

2.1. Procedimentos de Coleta e Preservação das Amostras de Lixiviado

Foram realizadas visitas aos aterros em estudo, onde foi possível acompanhar a operação dos mesmos e fazer as coletas dos lixiviados.

As amostras foram coletadas em bombonas de plástico com volume de 20 litros e transferidas para o Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ, onde foram preservadas em temperatura inferior a 4°C, para utilização nos diversos experimentos, diminuindo dessa maneira o risco de perda das características originais da amostra, conforme previsto em APHA, AWWA, WEF (2005).

2.2. Caracterização do Lixiviado

A caracterização do lixiviado baseou-se na determinação dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, turbidez, alcalinidade total, condutividade, cloreto, DQO, sólidos suspensos totais, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos voláteis, sólidos totais, nitrogênio amoniacal, cor aparente, cor verdadeira e nitrito. Todos os procedimentos analíticos foram baseados nos métodos padronizados descrito em APHA, AWWA, WEF (2005).

2.3. Metodologia Analítica aplicada ao Lixiviado

A Tabela 9 apresenta os métodos padronizados usados para a determinação de cada parâmetro físico-químico (APHA, AWWA, WEF, 2005).

Tabela 9: Métodos padronizados usados para a determinação de cada parâmetro físico-químico (APHA, 2005).

Parâmetro	Método	Equipamento
pH	4500H+ B	Medidor de pH, marca QUIMIS, modelo Q400AS.
Turbidez	2130 B	Turbidímetro ,marca SOLAR modelo SL 2K.
Alcalinidade Total	2320 B	
Condutividade	2510 B	Condutivímetro, marca DIGIMED, modelo DM N1.
Cloretos	4500 Cl	
Demanda Química de Oxigênio	5220-DQO D.	Digestor de DQO marca HACTH modelo DRB – 200 Espectrofotômetro marca HACHT, modelo DR 2800.
Série de Sólidos	2540	
Nitrogênio Amoniacal	4500 NH ₃ -D	Potenciômetro marca Orion, modelo 290 A.
Cor	2120 B	Espectrofotômetro,marca HACH/HEXIS, modelo DR 2800.

Nitrito	4500-NO ₂ ⁻ D	Espectrofotômetro (marca HACH/HEXIS, modelo DR 2800)
Fonte: APHA, 2005.		

2.4. Análise estatística dos dados

Segundo GOMES (2009) aterros em fase de operação apresentam características de degradação biológica da massa de resíduos correspondentes às três fases de biodegradação conhecidas, que ocorrem simultaneamente. Por essa razão o lixiviado apresenta biodegradabilidade variável ao longo do tempo e conforme o ponto de coleta dentro do aterro. Além disso, há possibilidade de haver variabilidade estatística em função das variáveis clima, relevo, temperatura.

Nos aterros em operação o lixiviado ora se apresenta com características de lixiviado novo, ora com a característica de lixiviado maduro. Por isso, uma análise comparativa entre os lixiviados estudados foi realizada.

Para avaliação de dados utilizamos o método estatístico Mann-Whitney através da utilização do software MINITAB.

O teste de Mann-Whitney (*Wilcoxon rank-sum test*) ou teste U, é indicado para comparação de dois grupos não pareados (independentes) para se verificar se pertencem ou não à mesma população e cujos requisitos para aplicação do teste t de Student não foram cumpridos.

Verifica-se se há evidências para acreditar que valores de um grupo A são superiores aos valores do grupo B. O teste U pode ser considerado a versão não paramétrica do teste t, para amostras independentes. Ao contrário do teste t, que testa a igualdade das médias, o teste de Mann-Whitney (U) testa a igualdade das medianas. Os valores de U calculados pelo teste avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação. A maior separação dos dados em conjunto indica que as amostras são distintas, rejeitando-se a hipótese de igualdade das medianas.

A utilização desse método estatístico se deu em face desse teste se o mais adequado a amostragem de dados não-paramétricos, visto que o conjunto de dados de parâmetros de lixiviados não segue uma função de distribuição normal. Além disso, o método tem sido útil por sua aplicação em que a amostragem de dados é

pequena ou nos casos em que a distribuição de dados da população amostral não é conhecida.

Dessa forma, face ao numero de amostras coletadas o teste U mostrou ser o mais adequado para análise estatística dos lixiviados e, estudo.

O teste U se aplica a comparação de dois grupos de dados independentes, por essa razão realizamos a comparação dos resultados de caracterização físico-química dos lixiviados produzidos nos aterros dois a dois, da seguinte forma:

- Nova Iguaçu x Gramacho
- Nova Iguaçu x Pirai
- Nova Iguaçu x Rio das Ostras
- Gramacho x Pirai
- Gramacho x Rio das Ostras
- Pirai x Rio das Ostras
- Biguaçu x Nova Iguaçu
- Biguaçu x Pirai
- Biguaçu x Rio das Ostras

Os resultados obtidos de pH, Cloretos, Condutividade, Alcalinidade, DQO, e Nitrogênio amoniacal dos lixiviados foram comparados estatisticamente para verificação de semelhanças e diferenças de caracterização físico-química.

A estatística U, que é a base para a decisão sobre a aceitação ou não da hipótese de nulidade. Quanto mais baixo for o valor de U calculado pelo MINITAB maior será a evidência de que as populações são diferentes.

2.5. Descrição dos Aterros

2.5.1. Central de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu

O Centro de Tratamento de Resíduos de Nova Iguaçu é uma parceria público-privada que opera desde 2003. Está situado no bairro de Adrianópolis,

no município de Nova Iguaçu, nas coordenadas aproximadas 22° 40' 22"S e 43° 28' 90", distante cerca de 10km do centro urbano. A Figura 16 apresenta a localização da CTR.

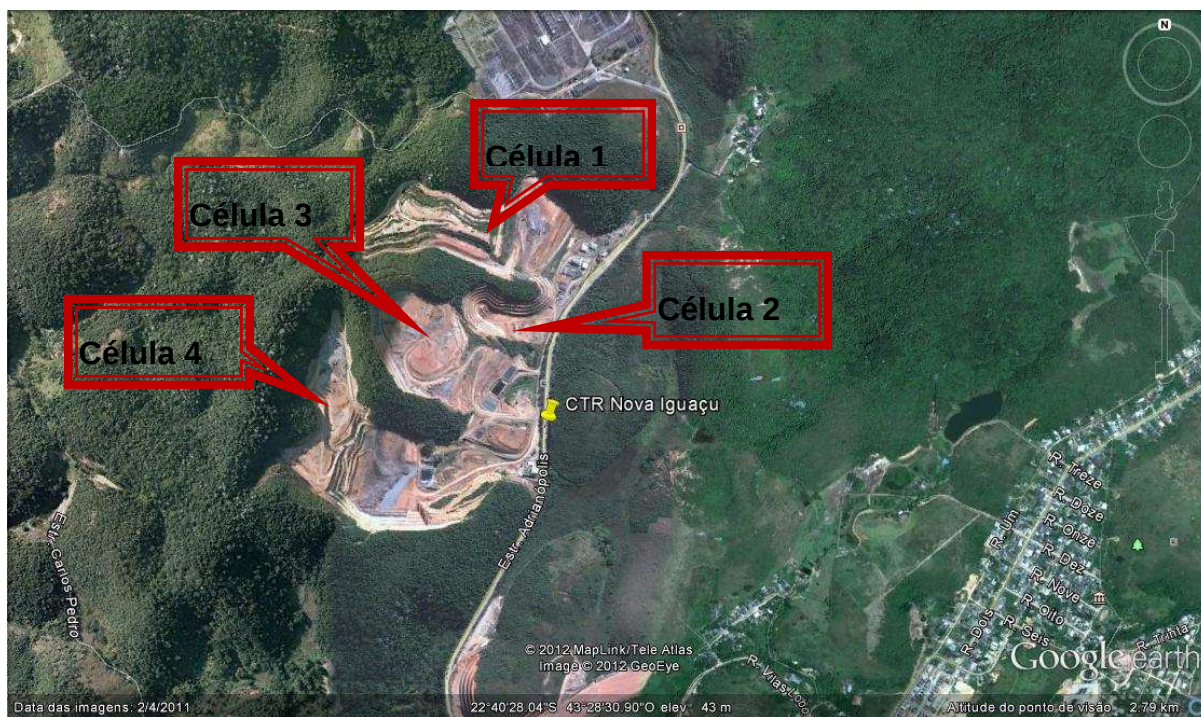


Figura 14: Localização da CTR Nova Iguaçu.
Fonte: Google Earth.

Está instalado em uma área de 1,2 milhão de m² e tem capacidade de 30 anos de operação.

O aterro opera com quatro células. A célula 1 recebe resíduos classe 2A e 2B, a célula 2 recebe resíduos da construção civil, a célula 3 resíduos classe 2 e a célula 4 resíduos industriais

Este aterro recebe 1500 toneladas de resíduos sólidos por dia, dos quais 1000t/dia são resíduos sólidos urbanos oriundos do município de Nova Iguaçu, 200t/dia são resíduos dos serviços de saúde também de Nova Iguaçu, e 300 t/dia se dividem entre resíduos industriais, resíduos de construção civil, e resíduo de limpeza de fossas.

Possui capacidade para expandir a recepção de resíduos até 5 mil toneladas por dia. É composta pelo aterro sanitário bioenergético, estação de

tratamento de lixiviados, unidades de beneficiamento de resíduos da construção civil e de podas de árvore, viveiros de mudas, laboratórios, centro de educação ambiental e ainda uma estação de captação e tratamento de biogás.

Os resíduos de serviços de saúde são esterilizados previamente antes de seguir para disposição junto aos resíduos urbanos na frente de operação.

A operação do aterro conta com tratores de esteiras e um rolo compactador tipo pata. A compactação é controlada visualmente pelo operador do equipamento e pelo número mínimo de passadas estabelecido no plano de operação.

A cobertura dos resíduos é feita diariamente com solo ou material inerte em camadas de 30cm controladas visualmente pelo operador da máquina e ocorre diariamente o final do dia.

A camada de revestimento final é executada com manta de PEAD e duas camadas de 30cm de argila compactada seguida de uma camada final de 40cm de solo onde é plantada grama.

Existe um sistema de drenagem de águas superficiais e das nascentes das encostas em toda a área do aterro de forma a minimizar a infiltração de água no aterro.

O lixiviado produzido no aterro é encaminhado por gravidade através de um sistema de drenos até lagoas existentes para acumulação (Figura 15).



Figura 15: Lagoa de acumulação de lixiviados - CTR Nova Iguaçu.
Fonte: Própria.

A Figura 16 apresenta a coleta de amostras na lagoa de acumulação durante a visita de campo.



Figura 16: Coleta de amostra na lagoa de acumulação de lixiviados - CTR Nova Iguaçu.
Fonte: Própria.

A partir desse ponto o lixiviado é enviado ao sistema de tratamento passando por uma etapa de peneiramento, seguido de uma etapa química preliminar com a utilização do Processo Fenton, seguido de um reator anaeróbio, uma etapa de tratamento biológico seguido por ultrafiltração e osmose reversa.

A Figura 17 apresenta a coleta de amostra após a etapa terciária de tratamento do efluente durante nossa visita.



Figura 17: Coleta de amostra na saída do tratamento terciário- CTR Nova Iguaçu.
Fonte: Própria.

A CTR conta com sistema de coleta e tratamento dos gases gerados no aterro que são queimados em um "flaire" de maneira controlada.

A CTR Nova Iguaçu foi o primeiro projeto a ser inscrito como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto e o primeiro no mundo a receber créditos de carbono em função do gerenciamento do biogás do aterro.

2.5.2. Aterro Metropolitanos de Gramacho

O aterro controlado de Gramacho ocupa área de 1300 ha situado no segundo distrito de Duque de Caxias, coordenadas aproximadas 22°45'44"S e 43°15'35"O em região localizada entre a Baía de Guanabara e o Rio Sarapuí. Recebeu durante 34 anos resíduos dos municípios do Rio de Janeiro, Duque de Caxias, Nilópolis e São João de Meriti. A Figura 18 apresenta uma vista aérea do aterro.



Figura 18: Localização do Aterro Controlado de Gramacho.

Fonte: Google Earth.

O aterro possui sistema de coleta, transporte e tratamento do lixiviado produzido, sistema de captação e queima do biogás, um centro de educação ambiental, bem como prédios administrativo da empresa.

O sistema de tratamento de lixiviado recebe aproximadamente 1.500.000 de litros/dia segundo dados da empresa NOVO GRAMACHO; é constituído de uma etapa preliminar onde o lixiviado é encaminhado para uma lagoa de equalização, passando por peneiramento e um tanque aerado. Daí segue para etapa seguinte para correção de pH pela adição de Cal. Seguindo para as etapas de tratamento biológico primário e secundário para então passar pela etapa terciária nas membranas de nanofiltração.

2.5.3. Aterro Sanitário de Pirai

O aterro sanitário de Pirai situa-se no município de Pirai no bairro de Varjão próximo à BR 116 (Rodovia Presidente Dutra). coordenadas $22^{\circ}37'45''\text{S}$ e $43^{\circ}37'45''\text{O}$, ocupa uma área aproximada de 48 ha, sendo 25ha uteis. Operado pela própria prefeitura do município desde 2000, recebe em média 35t/dia de resíduos oriundos de Pirai, Pinheiral e Rio Claro.(MARQUES, 2010). A Figura 19 apresenta uma vista aérea do aterro.

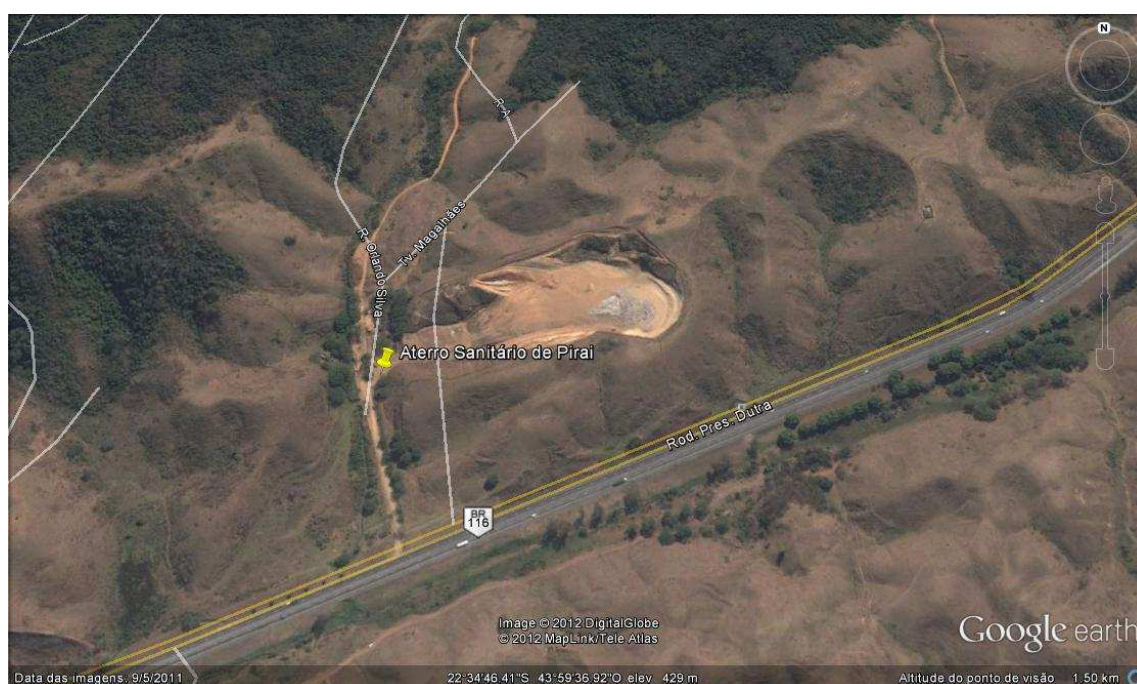


Figura 19: Localização do Aterro Sanitário de Pirai.
Fonte: Google Earth.

O lixiviado é encaminhado a um pequeno tanque que envia o líquido por gravidade a dois filtros biológicos dispostos paralelamente, seguindo posteriormente a um *wetland* e uma lagoa. Dessa lagoa, o efluente já tratado se dirige por gravidade a um córrego que desemboca no Rio Caximbó. A Figura 20 apresenta o filtro biológico e a lagoa.



Figura 20: Vista do filtro biológico do Aterro Sanitário de Pirai.

Fonte:

Os resíduos do serviço de saúde são encaminhados para uma célula específica para tal fim. O lixiviado desta célula é encaminhado para o sistema geral de captação de lixiviados do aterro.

O aterro é executado pelo método da rampa e os resíduos que chegam a frente de operação são espalhados e compactados por um trator de esteira. A espessura da camada de resíduos é controlada visualmente. O recobrimento dos resíduos é feito visualmente através da lâmina do trator e é feito com uma camada que varia de 20 a 30cm de espessura e ocorre diariamente o final do dia.

A compactação é executada de baixo para cima com utilização de um trator de esteira que passa sobre a camada de resíduos duas vezes, a primeira no momento do espalhamento a segunda ao término do expediente de trabalho. Não existe controle de qualidade da compactação que é feita visualmente e com base na experiência do operador da máquina.

Os gases produzidos no aterro são captados por drenos horizontais, executados em valas preenchidas com brita, em conformação de espinha de

peixe e drenos verticais formados por pneus também preenchidos por brita. Não existem "flair" no aterro.(MARQUES, 2010).

2.5.4. Central e Tratamento de Resíduos de Rio das Ostras

A central de tratamento de resíduos de Rio das Ostras localiza-se próximo à Rodovia RJ 162 nas coordenadas 22°28'16"S e 42°1'21"O. É operada por uma empresa privada desde 2004 e recebe diariamente 113 t/dia de resíduos sólidos dos quais 82,6% são resíduos sólidos urbanos e 0,53% são resíduos dos serviços de saúde, ambos oriundos do próprio município. (MARQUES, F. B.R, 2010). Conta com célula específica para disposição dos resíduos dos serviços de saúde. A Figura 21 apresenta uma vista aérea do aterro.

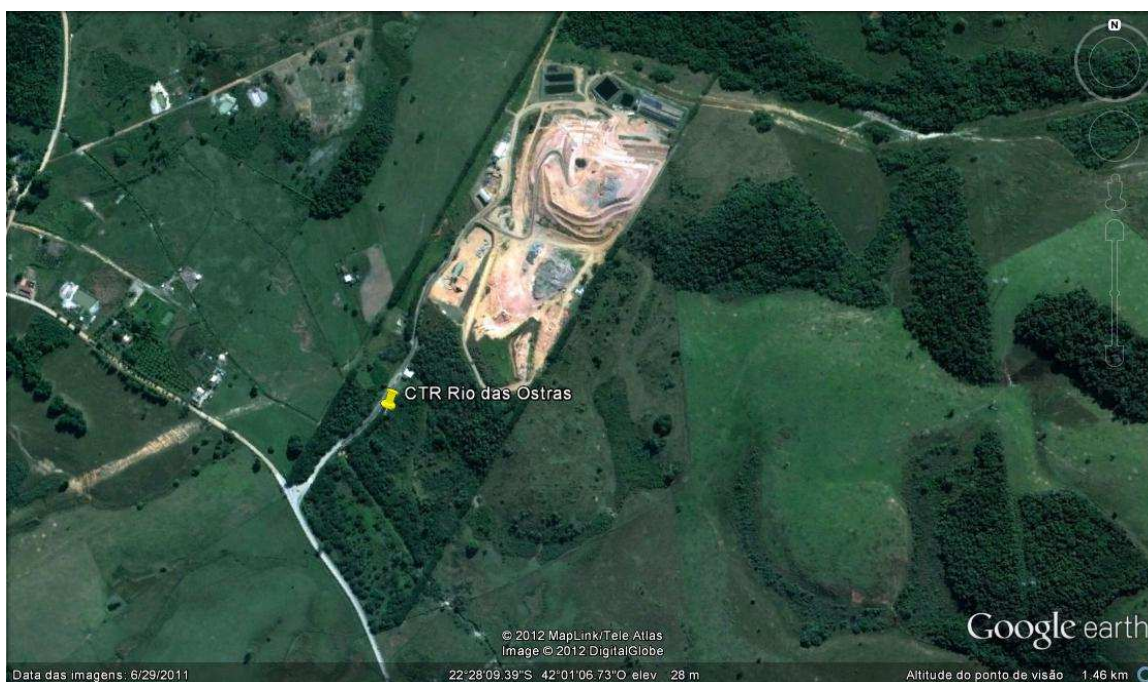


Figura 21: Localização do Aterro Sanitário de Rio das Ostras.
Fonte: Google Earth.

O aterro ocupa uma área de 75 mil metros quadrados e recebe 70 t/dia de resíduos oriundos de Rio das Ostras.

A compactação é executada de baixo para cima com utilização de um trator de esteira que passa sobre a camada de resíduos, de 4,5 m de altura, duas vezes, a primeira no momento do espalhamento a segunda ao término do

expediente de trabalho. Não existe controle de qualidade da compactação que é feita visualmente e com base na experiência do operador da máquina.

O recobrimento dos resíduos é feito visualmente através da lâmina do trator e é feito com uma camada que varia de 20 a 30 cm de espessura. Como existe recepção de resíduos no turno da noite, nem sempre as camadas de resíduos são cobertas ao término do dia.

O lixiviado e biogás gerados no aterro são coletados por sistema de drenos horizontais e verticais projetados para tal fim. O lixiviado é encaminhado por gravidade a dois poços de acumulação e em seguida bombeados para uma lagoa de estabilização e em seguida bombeados para um *geobags*. Dos *geobags* o efluente é encaminhado a uma lagoa de acumulação seguido de lagoas de sedimentação em série e como ultima etapa um *wetland*. A Figura 22 mostra o sistema de bombeamento, a lagoa.



Figura 22: Sistema de bombeamento de lixiviado bruto do aterro de Rio das Ostras.

Fonte: <http://mcparente.blogspot.com.br/2009/11/comissao-de-meio-ambiente-visita-aterro.html> acessado em 02/03/2013.

A Figura 23 mostra os geobags que recebem lixiviado bruto.



Figura 23: Geobags para tratamento do lixiviado bruto do aterro de Rio das Ostras.
Fonte: <http://mcparente.blogspot.com.br/2009/11/comissao-de-meio-ambiente-visita-aterro.html>
acessado em 02/03/2013.

2.5.5. Aterro Sanitário de Canhanduba (Itajaí)

O Aterro Sanitário Canhanduba, opera há 5 anos com licença de operação válida até janeiro de 2016. É operado pela empresa Ambiental Saneamento e Concessões Ltda. Está localizado próximo à Estrada Geral da Canhanduba, em Itajaí, e ocupa uma área de aproximadamente 27,52 ha. A Figura 24 mostra vista do aterro.



Figura 24: Vista aérea do aterro de Itajaí.
Fonte: Sítio da internet.

Foi projetado para ter uma vida útil de 23 anos recebendo 300 t/dia de resíduos domésticos e 18 t/mês de resíduos de serviços de saúde oriundos dos municípios de Itajaí e Balneário Camboriu. Possui célula específica para disposição dos resíduos dos serviços de saúde. Conta com um sistema de tratamento de lixiviados que passa pelas seguintes etapas de tratamento: Tratamento Físico-Químico, seguida de unidade de lodos ativados e uma etapa final de desinfecção por radiação ultra-violeta. As Figuras 25 a 29 mostram o aterro.



Figura 25: Frente de operação.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 26: Dreno de gases.

Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 27: Drenagem de águas pluviais.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 28: Tratamento de Lixiviado
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 29: Etapa de lodos ativados.
Fonte: ABES-SC, 2012.

2.5.6. Central de Gerenciamento de Resíduos de Tijuquinhas (Aterro Sanitário de Biguaçu)

Situado no município de Biguaçu - SC, coordenadas 27°21'48"S e 48°38'11"O SC, é operado pela empresa Proactiva Meio Ambiente Brasil e iniciou suas atividades em 1990. Recebe cerca de 800 t/dia de resíduos domiciliares oriundos de 22 municípios, inclusive Florianópolis.(www.sintracoopsc.com.br acessado em 10/11/2012).

A Figura 30 apresenta uma vista aérea do aterro.



Figura 30: Aterro Sanitário de Biguaçu
Fonte: Google Earth.

Os resíduos de serviços de saúde são esterilizados em autoclave e dispostos junto com os resíduos domiciliares.

Sua operação é chefiada por um Engenheiro que define as frentes de serviço. A compactação é feita de baixo para cima em células de 5m de altura (FERREIRA, 2011).

As Figuras 31, 32 e 33 apresentam fotos da operação do aterro de Biguaçu.



Figura 31: Frente de Operação do aterro.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 32: Outra vista da frente de operação.

Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 33: Vista geral do aterro.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 34: Vista dos taludes.
Fonte: ABES-SC, 2012.

Existe sistema de coleta de lixiviados que são direcionados à estação de tratamento composta de unidades com as seguintes etapas:

- Tratamento físico-químico ilustrada na Figura 35.
- Lagoas de lodos ativados com aeração prolongada, ilustrada na Figura 36.



Figura 35: Tratamento Físico-químico do lixiviado.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 36: Tratamento biológico do lixiviado.
Fonte: ABES-SC, 2012.

O biogás gerado no aterro é coletado através de drenos que direcionam o gás para dois "flair", onde é feita queima controlada. (FERREIRA, 2011).

2.5.7. Centro de Tratamento de Resíduos de Içara

O aterro sanitário de Içará está localizado nas coordenadas 28°47'31"S 49°19'47"O , no bairro Poço 8, junto ao km 389 da BR 101, exatamente no centro da Região Sul, em uma área da ordem de 581.000 m². O aterro iniciou suas atividades em 2005 com previsão de vida útil de 20 anos. A Figura 37 apresenta uma vista aérea do aterro.



Figura 37: Aterro Sanitário de Içará.

Fonte: Google Earth.

Atualmente recebe cerca de 500 t/dia de resíduos oriundos de quatorze 23 cidades da região e mais três empresas do Rio Grande do Sul.

O aterro é de propriedade da empresa SANTEC- Saneamento e Tecnologia Ambiental Ltda., e possui licença para receber resíduos provenientes de domicílios e indústrias. Foi projetado para receber até 2500 t/dia de resíduos. (www.santecresiduos.com.br acessado em 10/11/2012).

São aproximadamente 350 t/dia de resíduos domiciliares, 150 t/dia de resíduos industriais e 1t/dia de resíduos de serviços de saúde. Estes últimos passam pelo processo de autoclavagem e são dispostos na célula dos resíduos domiciliares e os resíduos industriais são dispostos na célula específica para este fim. A Figura 38 mostra o acesso ao aterro e a Figura 39 uma vista geral.



Figura 38: Acesso
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 39: Vista geral do aterro.

Fonte: ABES-SC, 2012.

O aterro opera em com célula inicial de 5m de altura e compactação de baixo para cima e demais células com apenas 3m de altura. Atualmente está na cota 24m e sua cota final será de 36m. Possui sistema de coleta de lixiviados que é transferido para uma estação de tratamento de efluentes industriais fora aterro, e de biogás, que é queimado na saída de cada dreno (FERREIRA, 2011).

A Figura 40 mostra a frente de operação do aterro.



Figura 40: Frente de serviço.
Fonte: ABES-SC, 2012.

2.5.8. Aterro de Joinville

Situado na Estrada dos Bororós, às coordenadas $26^{\circ}14'29.15''\text{S}$ e $48^{\circ}54'3.48''\text{O}$, em uma área de 72ha. A Figura 41 apresenta uma vista aérea do aterro.



Figura 41: Aterro Sanitário de Joinville
Fonte: Google Earth.

É operado desde 1999 de pela empresa Ambiental Saneamento e Concessões Ltda. e recebe aproximadamente 320 t/dia de resíduos domiciliares e 1,5 t/dia de resíduos dos serviços de saúde oriundos do município de Joinville e mais um pequeno município adjacente e tem vida útil prevista para mais 15 anos. O aterro opera com célula de 3,70m de altura com compactação executada de baixo para cima. As Figuras 42 e 43 mostram a frente de operações. Conta com sistema de coleta de lixiviados que direciona o percolado para uma estação de tratamento de efluentes composta das seguintes etapas: tratamento físico-químico, duas lagoas para tratamento biológico seguida de aplicação de radiação ultra-violeta.



Figura 42: Vista parcial dos taludes e frente de serviço.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 43: Frente de serviço.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 44: Drenagem de águas pluviais.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 45 :Etapa Físico-química de tratamento do lixiviado.
Fonte: ABES-SC, 2012.



Figura 46: Tratamento biológico do lixiviado.

Fonte: ABES-SC, 2012.

2.6. Pluviometrias

ROVERS, demonstrou que a variação na produção de lixiviados em um aterro pode ser bastante variável durante o tempo. Um dos fatores que afetam a sua é a precipitação no aterro. A Figura 47 apresenta a localização das estações pluviométricas mais próximas aos aterros estudados situados no estado do Rio de Janeiro.

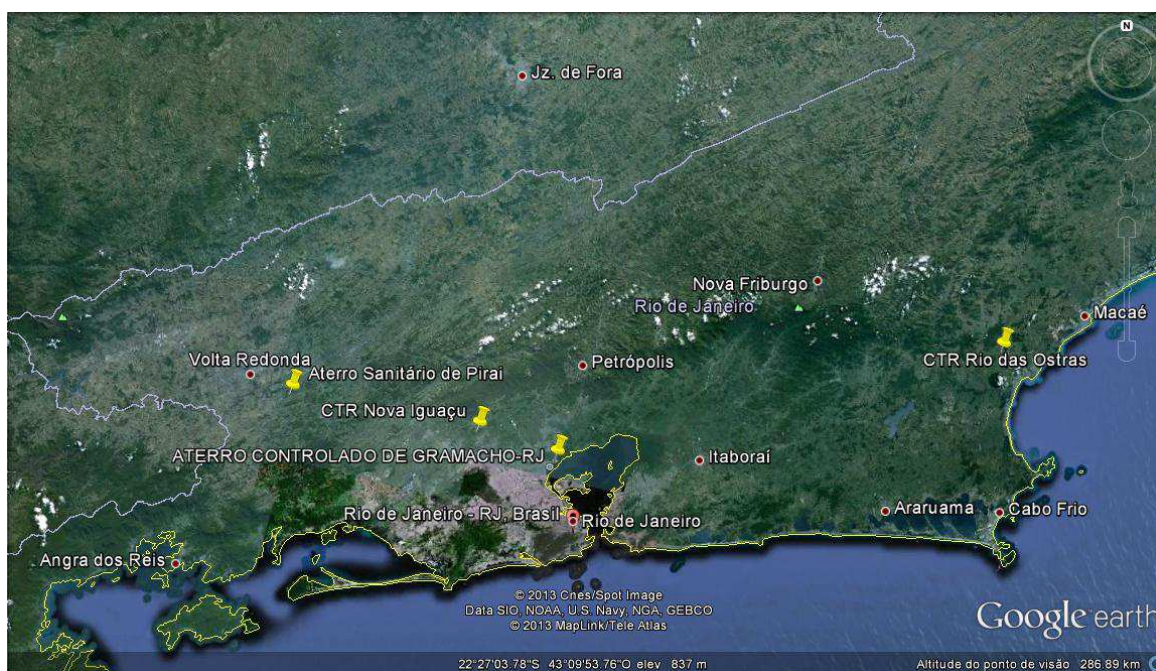


Figura 47: Localização das estações pluviométricas no Rio de Janeiro.
Fonte: Relatório GEO-RIO/DEP/GPE - N.º 02/2012

A Figura 48, apresenta o mapa de isoietas totais anuais para o estado do rio de Janeiro.

Figura 48: Mapa de isoietas totais anuais no estado do Rio de Janeiro.
Fonte: DAVIS, E. G. (2000).

Analisando o mapa de isoietas totais desenvolvido por DAVIS,E.G. (2000), os aterros do Rio de Janeiro estudados encontram-se localizados entre as isoietas 1200mm e 1300mm, dando indícios de que não há diferença relevante na precipitação total sobre as regiões dos aterros estudados. Sugerimos o acompanhamento de dados de insolação, temperatura e a correlação com os volumes de lixiviados produzidos em cada aterro.

Sabemos que a intensidade da precipitação varia conforme a estação do ano, e no estado do Rio de Janeiro, o volume precipitado é maior no verão. A avaliação mensal dos volumes precipitados no estado não foi possível em face da dificuldade de obtenção de dados climáticos para o estado.

A Figura 49 apresenta a localização das estações meteorológicas mais próximas aos aterros estudados situado em Santa Catarina/RS.

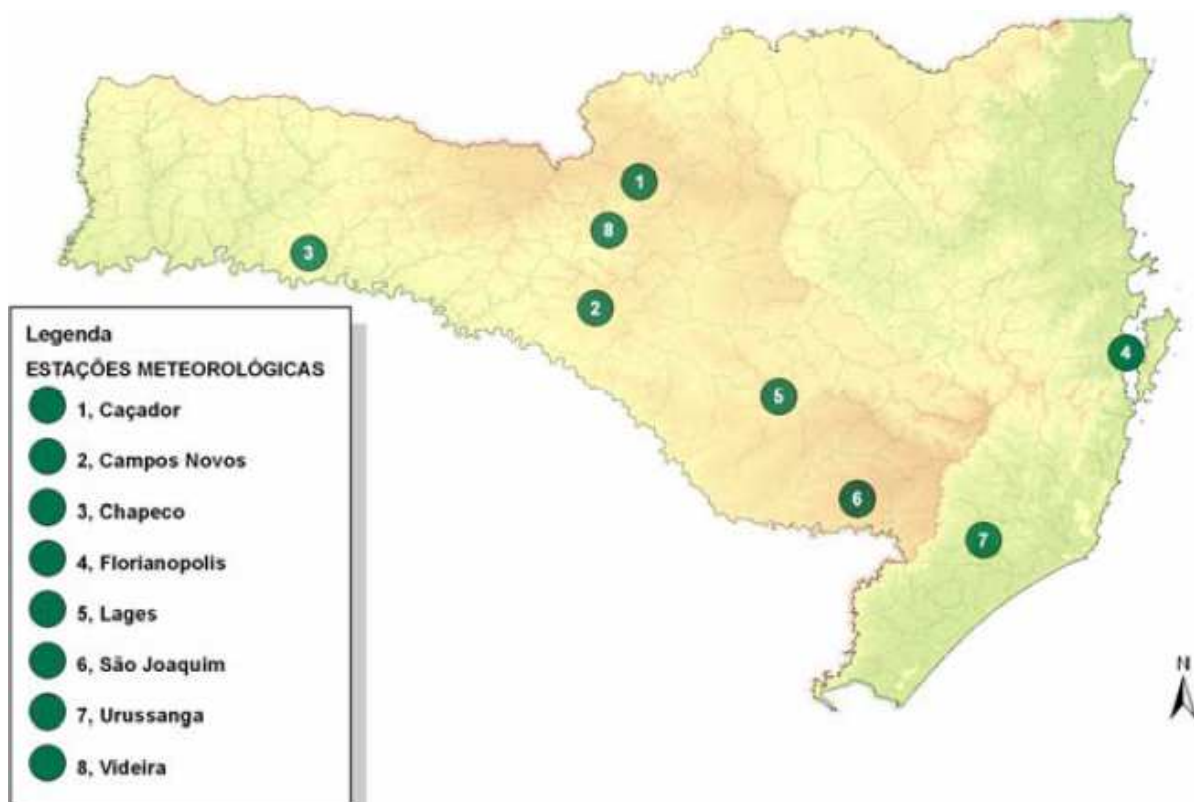


Figura 49: localização das estações meteorológicas do estado de Santa Catarina.
 Fonte:EPAGRI/CIRAM apud CAMPOS, 19??.

CAMPOS (19??) observou um aumento na precipitação total anual e na temperatura do ar. EPAGRI e CIRAM, estão investigando as alterações climáticas na

região Catarinense, analisando séries de dados mais longas. Como o estudo ainda está em andamento, não foi possível avaliar as séries históricas de chuvas para o estado. Por isso foi utilizado o mapa de isoietas totais anuais desenvolvido por DAVIS, E.G. (2000).

A Figura 50 apresenta a localização dos aterros estudados no estado de Santa Catarina.

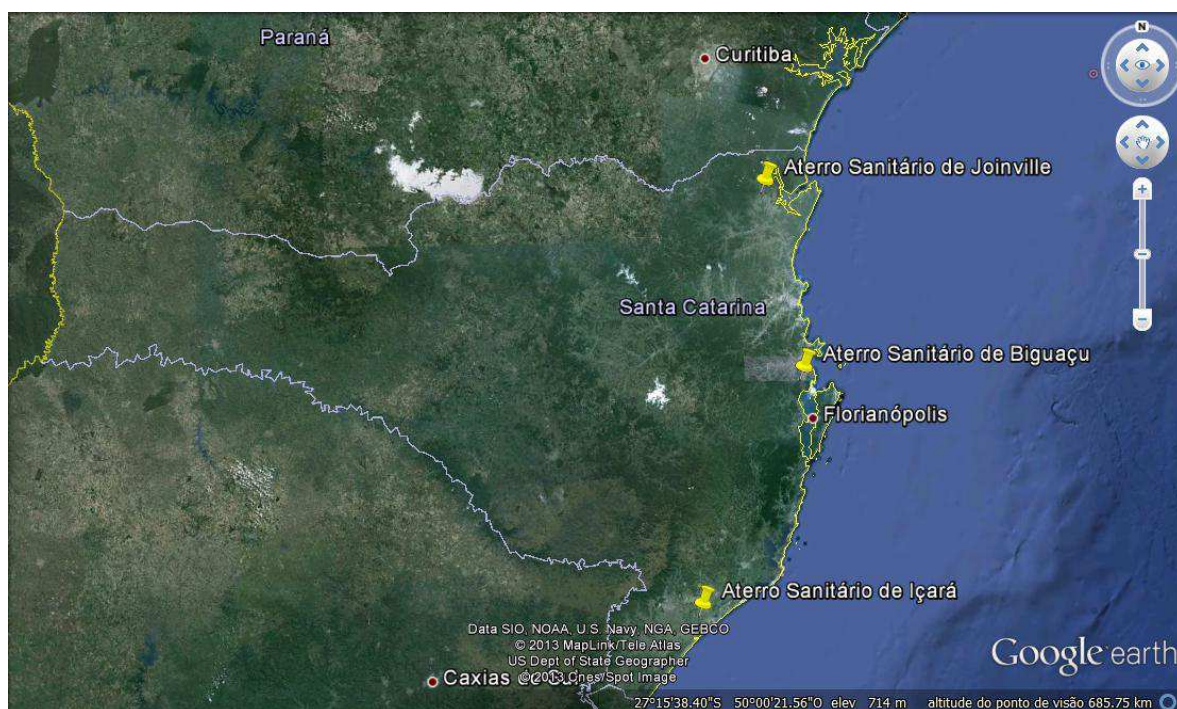


Figura 50: Localização dos aterros estudados no estado de Santa Catarina.
Fonte:GOOGLE EARTH, acessado em 02/03/2013.

Segundo DAVIS, E.G. (2000) o mapa de isoietas totais anuais para o estado de Santa Catarina é o apresentado na Figura 56.

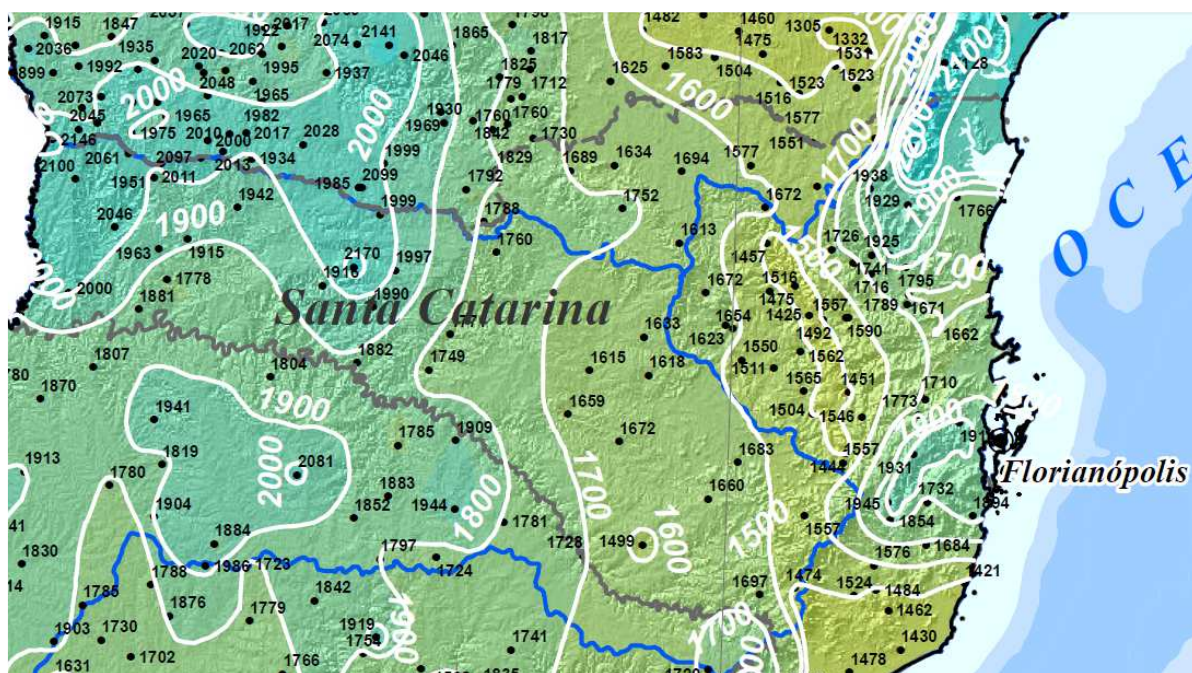


Figura 51: Mapa de isoietas totais anuais do estado de Santa Catarina.
Fonte: DAVIS, E. G., 2000.

De acordo DAVIS, E. G. (2000), chove anualmente na região dos aterro sanitário de Joinville 2100mm, no aterro de Biguaçu 1900mm e no aterro Içara, 1400mm.

Segundo Monteiro (2001), o estado de Santa Catarina possui uma distribuição pluviométrica diferenciada nas distintas áreas do estado, em função de seu relevo e em função das estações climáticas ao longo do ano. Suas principais características são:

- Primavera: Pancadas de Chuva fortes, novembro e dezembro a precipitação diminui consideravelmente, com pequenas estiagens;
- Verão: Grande volume pluviométrico com pancadas e chuva diárias na parte da tarde;
- Outono: Pequenas estiagens acompanhadas do aumento da insolação e temperatura. Entretanto, podem ocorrer eventos extremos isoladamente;

- Inverno: Junho-julho-agosto é o trimestre de inverno no estado, e a estação tem como característica principal a diminuição considerável no volume pluviométrico nos municípios litorâneos.

O mapa de isoietas dá indícios de que na região do aterro de Joinville chove mais que no aterro de Içara e Biguaçu. Entretanto, para que pudéssemos avaliar apropriadamente, seria necessário o acompanhamento mensal da pluviometria e insolação dessas regiões para que obtivéssemos um conjunto de dados suficientemente grande para realizar um estudo estatístico.

Desse modo, é interessante avaliar estatisticamente os dados de pluviometria da região, grau de insolação e temperaturas correlacionando com os volumes de lixiviados gerados em cada aterro.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização dos Lixiviados

Neste estudo utilizamos o lixiviado proveniente dos Aterros: CTR NOVA IGUAÇU, GRAMACHO, PIRAÍ, RIO DAS OSTRAS, no estado do Rio de Janeiro e amostras dos aterros sanitários de BIGUAÇU, IÇARA, JOINVILLE E ITAJAÍ em Santa Catarina. As tabelas 12 a 19, constantes do anexo, apresentam dos dados primários de caracterização físico-química obtidos nas análise laboratoriais feitas no Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ.

Além disso, utilizamos também, dados secundários obtidos em trabalhos publicados relativos aos aterros estudados, apresentados nas tabelas 20 e 21 constantes do anexo.

Discussão dos resultados

SOUTO, (2009) apresentou as características típicas dos lixiviados brasileiros na fase metanogênica, conforme a Tabela 10.

A Tabela 10: Características típicas dos lixiviados gerados nos aterros brasileiros na fase metanogênica.

PERCENTIS								
Parâmetro	Unidade	Mínimo	10%	20%	80%	90%	Máximo	Ref.*
pH		5,9	6,8	7,1	8,7	8,8	9,2	32
Alcalinidade total	mg/CaCO ₃	125	200	425	11.900	15.800	20.200	19
Turbidez	UNT	0,02	4,5	6	540	550	620	11
Condutividade	mS/cm	100	1.850	2.520	25.600	29.400	45.000	23
DBO	mg/L O ₂	3	30	60	6.000	9.300	17.200	30
DQO	mg/L O ₂	20	400	700	13.500	18.600	35.000	34
NTK	mg/L N	0,03	20	90	3.000	3.200	5.000	13
NAT	mg/L N	0,03	20	50	2.400	2.800	2.800	29
N-NO ₂ ⁻	mg/L	-	-	-	20	40	70	11

N-NO ₃ ⁻	mg/L	-	-	-	60	100	270	15
P _{total}	mg/L	-	0,1	0,2	40	50	80	19
Cloretos	mg/L	20	50	330	4.100	4.700	6.900	17
ST	mg/L	200	900	1.450	19.100	20.000	29.000	23
STV	mg/L	75	400	600	8.700	10.600	20.000	20
STF	mg/L	100	650	900	12.300	13.800	17.000	15
SST	mg/L	7	10	15	2.600	2.900	12.400	17
Fe _{total}	mg/L	0,01	0,25	0,40	80	100	720	19
Cd _{total}	mg/L	-	-	-	0,1	0,2	0,6	19
Cu	mg/L	-	-	-	1,1	1,5	2,9	17
Cr	mg/L	-	-	0,006	0,8	0,9	1,0	19
Mn total	mg/L	-	0,01	0,025	10	20	30	14
Ni	mg/L	-	-	-	0,8	1,0	1,4	14
Zn	mg/L	-	0,01	0,01	2	5	35	21
Pb	mg/L	-	-	-	1,1	2,1	6,7	18
Coliformes	NMP/100mL	-	-	1,6	2x10 ⁷	6x10 ⁷	2x10 ⁸	10
Termotolerantes								

* Ref.=no de referências das quais se obteve dados para a variável; - = abaixo do limite de detecção

Fonte: SOUTO, G. D. B., 2009.

O percentil 10% indica que 90% dos aterros analisados apresentam valores da variável acima do limite indicado na Tabela 12.(SOUTO, 2009).

A fim de dar prosseguimento ao sugerido por SOUTO, 2009, utilizamos as séries temporais de dados que possuímos a fim de conhecer a distribuição de frequências dentro dos aterros estudados.

Segundo SOUTO, 2009, seria provável encontrar uma amplitude menor que as indicadas na Tabela 12.

Analizamos a dispersão de dados de Condutividade, Cloretos, DQO, Nitrogênio Amoniacal, Alcalinidade e pH para subsidiar uma análise comparativa entre os lixiviados produzidos nos aterros estudados.

A Figura 52 apresenta os dados de condutividade do lixiviados brutos produzidos nos aterros estudados.

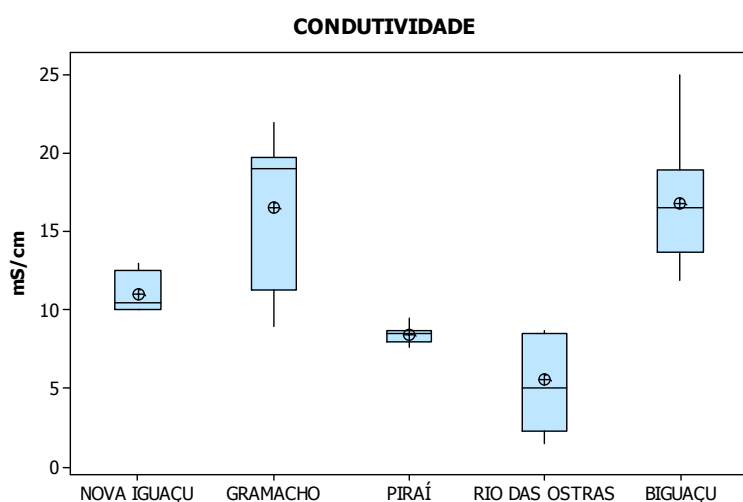


Figura 52: Diagrama de caixa de dados de Condutividade dos lixiviados brutos gerados nos aterros estudados.
Fonte: MINITAB 16, 2013.

A Figura 53 apresenta os dados de concentração de cloretos lixiviados bruto produzido nos aterros estudados

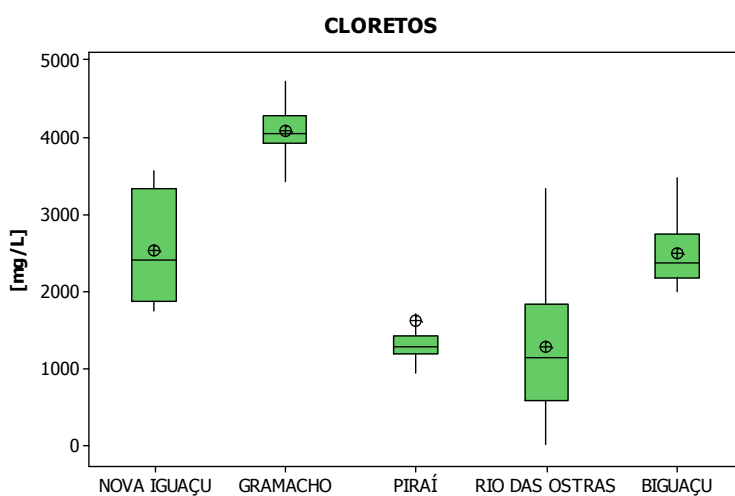


Figura 53: Diagrama de caixa de dados de concentração de Cloretos nos lixiviados brutos gerados nos aterros estudados.
Fonte: MINITAB 16, 2013.

A Figura 54 apresenta os dados de concentração de alcalinidade dos lixiviados brutos produzidos nos aterros estudados.

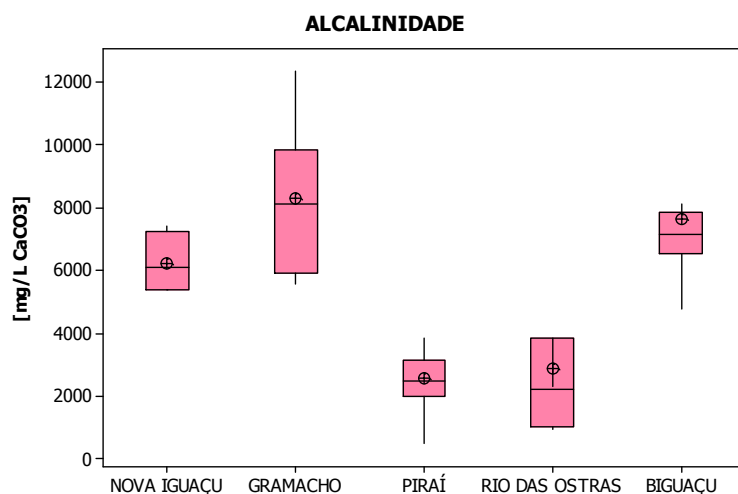


Figura 54: Diagrama de caixa de dados de concentração de Alcalinidade nos lixiviados brutos gerados nos aterros estudados.

Fonte: MINITAB 16, 2013.

A Figura 55 apresenta os dados de concentração de nitrogênio amoniacal nos lixiviados brutos produzidos nos aterros estudados.

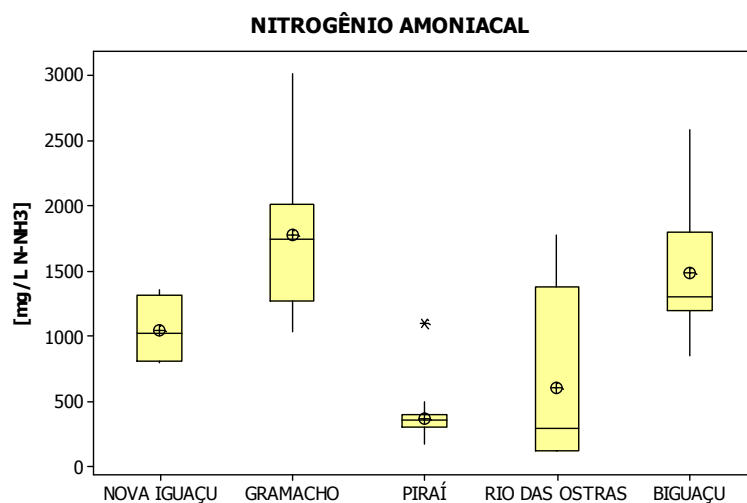


Figura 55: Diagrama de caixa de dados de concentração de Nitrogênio Amoniacal nos lixiviados brutos gerados nos aterros estudados..

Fonte: MINITAB 16, 2013.

A concentração de cloretos e nitrogênio amoniacal identificada na amostras indica que a fase de degradação metanogênica ocorre em todos os aterros. O pH

na faixa de 7 a 8 confirma a presença da formação de metano que é produto do consumo de ácidos orgânicos, conforme Figura 56.

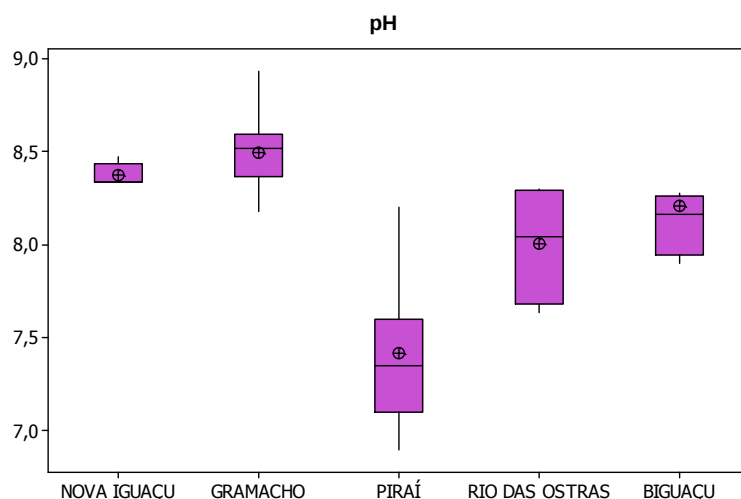


Figura 56: Diagrama de caixa de dados de pH nos lixiviados brutos gerados nos aterros estudados.
Fonte: MINITAB 16, 2013.

Entretanto, segundo dados apresentados por GOMES (2009), em aterros em fase de operação as três fases de degradação biológica ocorrem simultaneamente, e o lixiviado apresenta biodegradabilidade variável. Ora com comportamento de lixiviado novo, ora com a característica de lixiviado maduro. Por isso, uma análise comparativa entre os lixiviados estudados foi realizada.

Utilizamos o método estatístico Mann-Whitney aplicado a amostragem de dados não-paramétricos, visto que o conjunto de dados de parâmetros de lixiviados não segue uma função de distribuição normal. Além disso, esse método tem sido útil por sua aplicação em que a amostragem de dados é pequena ou nos casos em que a distribuição de dados da população amostral não é conhecida.

Comparamos os parâmetros pH, Cloretos, Condutividade, Alcalinidade, DQO, e Nitrogênio amoniacal dos lixiviados produzidos nos aterros dois a dois, conforme a Tabela 11.

Tabela 11: Análise comparativa dos lixiviados.

AMOSTRA	Dados Amostrais Comparados	Teste de hipóteses ¹	Valor de p ²	Resultado
pH	Nova Iguaçu x Gramacho	Mann-Whitney	0,0996	IGUAIS
	Nova Iguaçu x Pirai		0,0021	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Rio da Ostras		0,0131	DIFERENTES
	Gramacho x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Gramacho x Rio das Ostras		0,0033	DIFERENTES
	Pirai x Rio das Ostras		0,0017	DIFERENTES
	Biguaçu x Nova Iguaçu		0,0488	DIFERENTES
	Biguaçu x Gramacho		0,0112	DIFERENTES
	Biguaçu x Pirai		0,0001	DIFERENTES
	Biguaçu x Rio das Ostras		0,5608	IGUAIS
CLORETOS	Nova Iguaçu x Gramacho	Mann-Whitney	0,0088	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Pirai		0,0044	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Rio da Ostras		0,0700	IGUAIS
	Gramacho x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Gramacho x Rio das Ostras		0,0014	DIFERENTES
	Pirai x Rio das Ostras		0,2664	IGUAIS
	Biguaçu x Nova Iguaçu		1,0000	IGUAIS
	Biguaçu x Gramacho		0,0006	DIFERENTES
	Biguaçu x Pirai		0,0001	DIFERENTES
	Biguaçu x Rio das Ostras		0,0332	DIFERENTES
CONDUTIVIDADE	Nova Iguaçu x Gramacho	Mann-Whitney	0,0896	IGUAIS
	Nova Iguaçu x Pirai		0,0066	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Rio da Ostras		0,0107	DIFERENTES
	Gramacho x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Gramacho x Rio das Ostras		0,0005	DIFERENTES
	Pirai x Rio das Ostras		0,0779	IGUAIS
	Biguaçu x Nova Iguaçu		0,0138	DIFERENTES
	Biguaçu x Gramacho		0,7871	IGUAIS
	Biguaçu x Pirai		0,0002	DIFERENTES
	Biguaçu x Rio das Ostras		0,0015	DIFERENTES
ALCALINIDADE	Nova Iguaçu x Gramacho	Mann-Whitney	0,0771	IGUAIS
	Nova Iguaçu x Pirai		0,0021	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Rio da Ostras		0,1098	IGUAIS
	Gramacho x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Gramacho x Rio das Ostras		0,0079	DIFERENTES
	Pirai x Rio das Ostras		0,4278	IGUAIS
	Biguaçu x Nova Iguaçu		0,3502	IGUAIS
	Biguaçu x Gramacho		0,5636	IGUAIS
	Biguaçu x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Biguaçu x Rio das Ostras		0,0332	DIFERENTES
DQO	Nova Iguaçu x Gramacho	Mann-Whitney	0,4363	IGUAIS
	Nova Iguaçu x Pirai		0,0152	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Rio da Ostras		0,0682	IGUAIS
	Gramacho x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Gramacho x Rio das Ostras		0,0145	DIFERENTES
	Pirai x Rio das Ostras		0,2004	IGUAIS
	Biguaçu x Nova Iguaçu		0,7595	IGUAIS
	Biguaçu x Gramacho		0,9671	IGUAIS
	Biguaçu x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Biguaçu x Rio das Ostras		0,0240	DIFERENTES
NITROGÊNIO AMONIAL	Nova Iguaçu x Gramacho	Mann-Whitney	0,0430	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Pirai		0,0023	DIFERENTES
	Nova Iguaçu x Rio da Ostras		0,2986	IGUAIS
	Gramacho x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Gramacho x Rio das Ostras		0,0112	DIFERENTES
	Pirai x Rio das Ostras		0,3223	IGUAIS
	Biguaçu x Nova Iguaçu		0,1066	IGUAIS
	Biguaçu x Gramacho		0,3020	IGUAIS
	Biguaçu x Pirai		0,0000	DIFERENTES
	Biguaçu x Rio das Ostras		0,0428	DIFERENTES

1 Teste de hipótese utilizado para comparar duas amostras: Teste de média Mann-Whitney (Não-paramétrico), com nível de confiança de 95%.

² $p < 0,05$ (95 % de significância): Rejeita-se a hipótese nula (de que as médias dos dados amostrais são iguais); $p > 0,05$: Não há evidência estatística para se afirmar que as médias dos dados amostrais são diferentes.

Efetuamos uma matriz de correlação entre os resultados obtidos conforme a Tabela 12.

Tabela 12: Resultados da análise estatística aplicadas aos dados de caracterização físico-química das amostras de lixiviados brutos produzidos nos aterros estudados.

Aterros Comparados	pH	Cloretos	Condutividade	Alcalinidade	DQO	Nitrogênio Amoniacal	RESULTADO
Nova Iguaçu x Gramacho	IGUAIS	DIFERENTES	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	DIFERENTES	SEMELHANTES
Nova Iguaçu x Pirai	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES
Nova Iguaçu x Rio das Ostras	DIFERENTES	IGUAIS	DIFERENTES	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	SEMELHANTES
Gramacho x Pirai	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES
Gramacho x Rio das Ostras	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES
Pirai x Rio das Ostras	DIFERENTES	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	SEMELHANTES
Biguaçu x Nova Iguaçu	DIFERENTES	IGUAIS	DIFERENTES	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	SEMELHANTES
Biguaçu x Gramacho	DIFERENTES	DIFERENTES	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	IGUAIS	SEMELHANTES
Biguaçu x Pirai	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES
Biguaçu x Rio das Ostras	IGUAIS	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES	DIFERENTES

De acordo com a Tabela 14, o lixiviado de Nova Iguaçu é semelhante ao lixiviado de Rio das Ostras e Pirai é semelhante ao de Rio das Ostras. A lógica indicaria que Pirai é semelhante a Nova Iguaçu, entretanto, não podemos admitir esta hipótese como conclusiva, sem analisar todos os parâmetros físico-químicos envolvidos.

A Figura 57 apresenta os dados de concentração de demanda química de oxigênio nos lixiviados brutos produzidos nos aterros estudados.

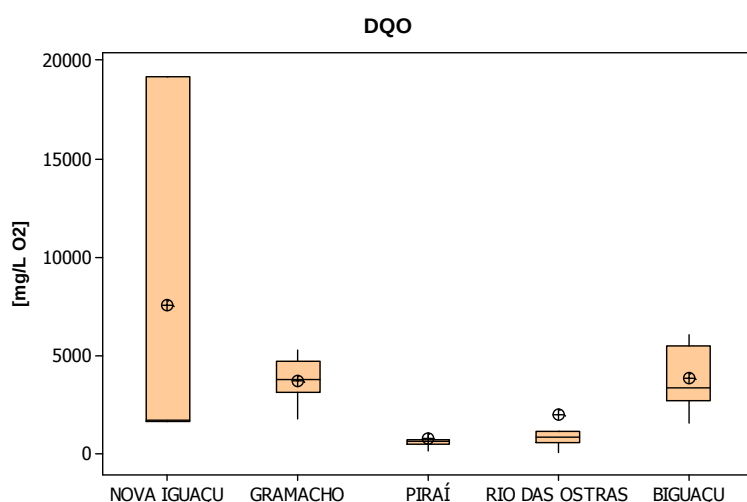


Figura 57: Diagrama de caixa de dados de concentração de Demanda Química de Oxigênio nos lixiviados brutos gerados nos aterros estudados.

Fonte: MINITAB 16, 2013.

A relação DBO₅/DQO indica o nível de degradabilidade biológica do lixiviado e quanto maior for essa razão, menos biodegradável se torna. A amostra de Pirai apresentou DBO₅/DQO de 0,32. Já as amostras do aterro de Biguaçu, segundo os dados de SILVA *et al.* (2007), apresentou relação DBO₅/DQO na faixa de 0,15 a 0,47. Nessa faixa de valores, o efluente pode ser tratado biologicamente. Para os demais aterros, não foi determinado para o lixiviado o parâmetro DBO₅.

As amostras da CTR Nova Iguaçu, indicam uma relação DBO₅/DQO de 0,03, entretanto este resultado não é conclusivo pois trata-se de apenas duas amostras. TELLES (2010) caracterizou o mesmo lixiviado utilizando 9 amostras detectando um efluente de baixa biodegradabilidade. KYLEFORS *et. al* (2003) concluíram em seus estudos que a análise de biodegradabilidade de um efluente deve considerar também o parâmetro COD, face a presença de compostos inorgânicos incluída no resultado do parâmetro de DQO.

Infelizmente, não foi possível a determinação do parâmetro COD para as amostras deste estudo.

Em termos de toxicidade não foi possível realizar a análise estatística comparativa por falta de dados amostrais. Correlacionamos os resultados obtidos em um gráfico por aterros e por idade de operação, para considerar uma análise primária, a fase de biodegradação dos resíduos no aterro. Assim, considerando que quanto mais antigo, maior a concentração substâncias recalcitrantes existirá no lixiviado produzido, e estas por sua vez podem contribuir para a toxicidade do efluente. Isto fica bastante visível graficamente quando comparamos a toxicidade com as concentrações de nitrogênio amoniacal, COD, DQO, Cloretos e SST.

Há que considerarmos também a questão da operação, pois Gramacho recebeu por muitos anos resíduos industriais que podem conferir ao lixiviado características tóxicas diferentemente dos aterros que controlam a origem dos resíduos. A CTR Nova Iguaçu, possui célula de resíduos industriais cujo lixiviado produzido é

acumulado na mesma lagoa que recebe o lixiviados das células de resíduos domiciliares.

CONCLUSÕES

Os dados coletados neste trabalho indicam que na ocasião da coleta a fase de biodegradação dos resíduos dispostos nos aterros estudados era predominante metanogênica e seus lixiviados passíveis de serem tratados por uma etapa biológica no sistema de tratamento.

Os estudos indicam que os lixiviados são estatisticamente diferentes para um nível de confiança de 95%.

Há indícios que a operação afeta a quantidade e qualidade do lixiviado produzido, porém face a grande dificuldade no acompanhamento da operação, na permissão para coletar amostras e mesmo a obtenção informações adicionais nas empresas que administram os aterros e prefeitura, não é possível afirmar se o impacto é relevante.

Para a análise comparativa entre lixiviados do Rio de Janeiro e Santa Catarina, somente foi possível a correlação entre o aterro de Biguaçu versus aterros do Rio de Janeiro. Os dados indicam que não há uma correlação direta entre a região sul e a sudeste. Percebemos semelhanças entre os aterros de mesmo porte e diferenças entre os aterros de pequeno porte. Há indícios de que as características do lixiviado estão muito mais ligadas à quantidade do que à região geográfica onde se encontra o aterro. Sabemos que os costumes da população são diferentes e os climas podem ser bastante diversos, entretanto a falta de um espaço amostral de dados impossibilita uma análise mais consistente e conclusiva.

4. CRÍTICAS E SUGESTÕES

Durante este estudo pudemos perceber uma enorme dificuldade na obtenção de dados que deveriam ser públicos tais como dados mensais de precipitação, temperatura. A caracterização do lixiviado bruto produzido também deveria ser de domínio público, pois os aterros informam ao órgão ambiental mensalmente, entretanto não foi possível conseguirmos tais dados nem com os aterros, e nem nos órgão ambientais competentes. A posse de tais dados resultaria em um banco de dados com aptidão suficiente para uma análise estatística temporal de grande relevância para o conhecimento do lixiviado brasileiro.

A maioria dos trabalhos não disponibiliza os dados brutos de caracterização dos lixiviados. A publicação de tais dados agregaria mais conhecimento sobre assunto. Na condução deste estudo, os dados disponibilizados pelos autores SILVA et. al. 2007 e pela empresa que opera o aterro de Rio das Ostras foram de suma importância. Se esta prática for adotada pela comunidade científica creio que avançaríamos no conhecimento do tema com mais velocidade.

Sugerimos a continuidade dos estudos de caracterização dos lixiviados brasileiros bem como um estudo estatístico dos dados ao longo tempo.

O levantamento dos volumes de lixiviados produzidos bem como dos índices climáticos em cada aterro, tais como a precipitação, temperatura e ventos para criação de um banco de dados para análise estatística com vistas a correlacionar esses fatores à qualidade dos lixiviados gerados.

O acompanhamento minucioso das práticas de operação desses aterros, para verificação da influência da operação na quantidade e qualidade do lixiviado produzido.

REFERÊNCIAS

<http://www.saudejoinville.sc.gov.br> - acessado em

<http://www.sintracoopsc.com.br/?p=1289> - acessado em 10/11/2012

<http://www.santecresiduos.com.br/aterro/> - acessado em 10/11/2012

<http://www.gruposynthesis.com.br/pt/capital-de-risco/16-novo-gramacho> - acessado em 10/12/2012.

<http://www.cpt.com.br>. Acessado em 02/10/2012.

<http://www.brasil.gov.br> acessado em 26/03/2012

http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=55&Itemid=208 - acessado em 02/03/2013.

http://www.itajai.sc.gov.br/noticias_det.php?id_noticia=2547#

<http://www.youtube.com/watch?v=X5xYtTS6XIE> VIDEO SOBRE O ATERRO CONTROLADO DE ITAJAÍ.

http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=146 acessado em 03/03/2013.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 10004/2004: Resíduos Sólidos – Classificação*. 2004. 71p.

_____. *NBR 9800/1987: Critérios para o lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário*. 1987. 3p.

_____. *NBR 7181: Solo - Análise granulométrica*

_____. *NBR 15088: Toxicidade aguda – Método de ensaio com peixes*

_____. NBR 15499: Toxicidade crônica – Método de ensaio com peixes

ASTDR, 2004 – *Agency for Toxic Substances and Diseases Registry*

APHA, AWWA, WPCF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. New York: 21th ed., 2005.

BARKER, D.J.; STUCKEY, D.C. A review of soluble microbial products (SMP) in wastewater treatment systems. *Water Research*, v. 33, n.14, p.3063-3082, 1999.

BAIRD, C.; *Química Ambiental*, tradução: Recio, M.A.L.; Carrera, L.C.M.; 2^a Ed., Bookman: Porto Alegre, 2002.

BRASIL. Lei 9605, de 12 de Fevereiro de 1998. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*.

BRASIL. Lei 6938, de 31 de agosto de 1981. *Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências*.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, altera as leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, nº 8.036, de 11 de maio de 1990, nº 8.666, de 21 de junho de 1993, nº 8.987, de 13 de fevereiro de 2005, revoga a lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978 e dá outras providências*. D.O.U, 8 de Janeiro de 2007, p.3-7.

ÇALLI, B., 2012 - Notas de aula disponíveis em:
www://mebig.marmara.edu.tr/Enve330/Chapter11.pdf

CASTILHOS, A.B.J. et al., *Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d' água: Prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Rio de Janeiro: *Projeto PROSAB*, 4 – ABES 2006. 494p.

CHRISTENSEN, COSSU, STEGMANN *Landfilling of Waste: Leachate*. Chapman and Hall Ltd. f. 521. 1997.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 01, de 1986: _____. *Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.*

Resolução CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005. **D.O.U.**, Brasília, de 18 mar. 2005.

_____. Altera o inciso II do §4º e a tabela X do § 5º, ambos do art. 34 da CONAMA nº. 357, de 2005, que dispõe sobre a *classificação dos corpos d'água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes*. Resolução CONAMA nº. 397, 03 de abril de 2008. **D.O.U.**, Brasília, de 07 abril 2008.

_____. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Resolução CONAMA nº. 307, 05 de julho de 2002. **D.O.U.**, Brasília, de 02 janeiro 2003.

CONAMA nº. 430, de 13 de maio de 2011. **D.O.U.**, Brasília, de 16 mai. 2011.

_____. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. **D.O.U.**, Brasília, de 18 mar. 2005.

CAMPOS, C.; ALVES, R.; BRAGA, H.J. , *Análise climática da variabilidade da precipitação e da temperatura do ar no estado de Santa Catarina*. EPAGRI/CIRAM. 19??. 7p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Aterro Sanitário - Apostilas Ambientais*, CETESB, São Paulo, 1997, 40 p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental *Manual de tratamento de águas residuárias industriais*, CETESB, São Paulo, 1979, 230p.

- COSTA, C.R., OLIVI, P.; BOTTA, C.M.R.; E ESPINDOLA, E.L.G. *A toxicidade em ambientes aquáticos: Discussão e métodos de avaliação*. Revista Química Nova, vol. 31, nº 7, pág. 1820-1830. 2008.
- COTMAN, M. GOTVAJN, A.Z., *Comparison of different physico-chemical methods for the removal of toxicants from landfill leachate*. Journal of Hazardous Materials, 178. 2010. pg 298-305.
- D'ALMEIDA, Lixo Municipal: *Manual de Gerenciamento Integrado / Coordenação: Maria Luiza Otero D'Almeida, André Vilhena – 2.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000. – (Publicação IPT 2622).*
- DAVIS, E.G., *Estudo de Chuvas Intensas no Estado do Rio de Janeiro - 2ª ed. - Brasília: CPRM, 2000.*
- DEZOTTI, M. - *Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos. Série Escola Piloto de Engenharia Química COPPE/UFRJ, 2008.*
- EL-FADEL, M. *et al. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. Waste Management, v.22, p. 269-282, 2002.*
- ERICKSON, R.J. *An evaluation of mathematical models for the effects of pH and temperature on ammonia toxicity to aquatic organisms. Water Research, n. 19, p. 1047-1058, 1985.*
- EUROPEAN UNION, *Council directive 1999/31/EC of 26 April 1999 on the landfill of waste*, 1999.
- MCBEAN, E., FARQUHAR, G.J., ROVERS, F.A.. - *Solid Waste Landfill Engineering and Design*.
- FARQUHAR, G.J., ROVERS, F.A. *Gas production during refuse decomposition*. 495p. Reidel Publishing Company, 1973.

- FERREIRA, J.A., et al., *Uma Revisão das Técnicas de Tratamento de Chorume e a Realidade do estado do Rio de Janeiro*. 21º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa – PB. Brasil. 2001.
- FERREIRA, J.A., et al., *Ensaio ecotoxicológicos para avaliação do tratamento combinado de lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos em estação de tratamento de esgotos*. 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife – PE. Brasil. 2009.
- FERREIRA, J.A.. Relatório final de Pós-Doutorado no Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental - PPGEA da Universidade Federal de Santa Catarina. SC, 2011.
- FERREIRA, O. M. *Disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros Sanitários: Elementos norteadores e custos decorrentes no estado de Goiás – GO*, 2006.
- FATMA. Portaria 17 - *Estabelece os limites máximos de toxicidade aguda de efluentes de diferentes origens e dá outras providencias*. Florianópolis, 18 de abril de 2002.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. FEEMA. NT-202. R-10, aprovada pela Deliberação CECA nº. 1007, de 04 de dezembro de 1986. *Critérios e padrões de lançamento de efluentes líquido*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 12 de dezembro de 1986.
- GHASSEMI, M. *Assessment of Technology for Constructing and Installing Cover and Bottom Liner Systems to Hazardous Waste Facilities*. Volume I. Ghassemi EPA Contract No. 68-02-3174. U.S. Environmental Protection Agency. May, 1983.
- GOMES, L.P., et al., *Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras*. Rio de Janeiro: PROSAB 5 TEMA 3 - ABES, 2009. 360p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB - 2000*. IBGE, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa Nacional do Saneamento Básico – PNSB - 2008*. IBGE, 2010.

KJELSEN, P. *et al.*, *Present long-term composition of MSW landfill leachate: a review critical reviews in environmental science and technology*. Waste Management Research, v.4, n.32, p.297-336, 2002.

KYLEFORS, K., ECKE, H. , Lagerkvist, A. *Evaluation of leachate composition by multivariate data analysis (MVDA)*. Journal of Environmental Management, volume 68, issue 4. pag 367-376, 2003.

LI, X.Z., ZHAO, Q.L., HAO, X.D., “*Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation*”. Waste Management Research Magazine, 1999. pg 409-415.

LI, X.Z., ZHAO, Q.L., “*Efficiency of biological treatment affected by high strength of ammonium-nitrogen in leachate and chemical precipitation of ammonium-nitrogen as pretreatment*”. Chemosphere 44. 2001. Pg. 37-43.

LI, H., ZHOU, S., SUN, Y., FENG, P., LI, J. “*Advanced treatment of landfill leachate by a new combination process in a full-scale plant*”. Journal of Hazardous Materials 172. 2009. Pg. 408-415.

M.A. HAMILTON, e R.C.RUSSO, e R.V.THURSTON, *Lethal concentrations in toxicity bioassays*. Environmental Science and Technology. Vol. 11 nº 7. Pág. 714-719. Correction Vol. 12 nº4. Pág. 417 (1978).

MANNARINO, C. F. *Uso de “Wetland” Sub-Superficial no Tratamento de Efluente de Estação de Tratamento de Chorume por Lodos Ativados*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003.

MARQUES, Afonso Celso Moruzzi ; VILAR, O. M. . *Avaliação dos Efeitos da Compactação na Geração de Líquidos Percolados em Aterros Sanitários*.IV

- Simpósio Brasileiro de Geossintéticos e V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 2003, Porto Alegre. Anais / CDROM, 2003. p. 475
- MARQUES, A.C.M.; Vilar, O.M.; Filz, G. (2003) – *Compaction of municipal solid waste*. 12th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Cambridge, USA.
- MARQUES, F.B.R.. *Avaliação de procedimentos de operação em aterros sanitários no Estado do Rio de Janeiro*. Dissertação de Mestrado. 183f. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.
- McBEAN, E.A., ROVERS, F.A., FARQUHAR, G.J. “*Solid Waste Landfill Engineering and Design*”. Prentice Hall, New Jersey, 1995.
- MONTEIRO, et al. - *Manual do Gerenciamento Integrado de Resíduos sólidos*. Rio de Janeiro. IBAM, 2001 220p
- MONTEIRO, M.A. *Caracterização Climática do estado de Santa Catarina: Uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano*. Geosul, Florianópolis. V.16, n.31, p-69-78, Jan/Jun 2001.
- NAHAS, C. M., *Aterros sanitários - Técnicas construtivas e métodos operacionais*. 1994. <http://etg.ufmg.br/~gustavo/geotecniaaplicada/p10.pdf> acessado em 01/04/2011.
- NAHAS, C.M.; FRANÇOSO, N.C.T.; FOLLONI, R. *Novas tecnologias para otimização de disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários e de inertes*. Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, Porto Alegre, Brasil, 1996. Anais. P.222-226.
- PINTO, C.S., *Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 aulas – 2ª edição*. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- POHLAND, F.G.; HARPER, S.R. *Critical review and summary of leachate and gas production from landfills: EPA/600/2-86/73*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency, 1986.

- REBELATTO, C., OLIVEIRA, D.M., RANZI, B.D., CASTILHOS, A.B.J., *Emissões gasosas de compostos inorgânicos odoríferos (H_2S e NH_3) liberados no processo de evaporação de lixiviado de aterro sanitário*. 25º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife-PE, ABES, 2009.
- REIS, J.A.T, MENDONÇA, A.S.F., *Análise técnica dos novos padrões brasileiros para amônia em efluentes e corpos d`água*. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental* V.14 n3, Julho/Setembro 2009 pag. 353-362.
- REINHART, D.R.;AL-YOUSFI, A.B. *The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics*. *Waste Management and Research*, v.14, p.337-346, 1996.
- REINHART, D.R.; GROSCH, C.J. *Analysis of Florida MSW landfill leachate quality*. *University of Central Florida*, 1998.
- SÁ, L.F, JUCÁ, J.F.T., MOTTA, M., *Tratamento do lixiviado de aterro sanitário por evaporação – Avaliação do sistema de tratamento aberto*. 25 º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, PE. 2009.
- SILVA, A.C., DEZOTTI, M.; SANT'ANNA JÚNIOR, GL. "Treatment and detoxification of a sanitary landfill leachate". *Chemosphere* 55. 2004. Pg. 207-214.
- SILVA, A.C. *Tratamento do Percolado de Aterro Sanitário e Avaliação da Toxicidade do Efluente Bruto e Tratado*. Dissertação de Mestrado, 111f. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2002.
- SILVA, A.C.; BONECKER, A.C.T.; DEZOTTI, M.; SANT'ANNA JÚNIOR, GL. *Avaliação da sensibilidade de "Brachydanio rerio" e "Poecilia vivípara" (Pisces) ao chorume do aterro de Gramacho / RJ*. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003, Joinville, S.C. Anais. CD-ROM.
- SILVA, J.D.; MARTINS, C.L.; RODRIGUES, M.C.; MÁXIMO, V.A.; CASTILHOS, A.B. *Caracterização físico-química do lixiviado produzido no aterro sanitário de*

Biguaçu - SC. . 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte, MG. Anais. CD-ROM. ,

SILVA, F.B., YOKOYAMA, L., CAMPOS, J.C., FERRO, B.R.P., *Utilização de processos combinados no tratamento de lixiviado do aterro metropolitano de gramacho*. 25 º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, PE. 2009.

SILVA, F.M.S., SANTOS, R.F.V.C., LINS, E.A.M., LINS, C.M.M., JUCÁ, .F.T., *Avaliação do método de precipitação química utilizando hidróxido de cálcio no tratamento do lixiviado do aterro de Muribeca-PE*. 25 º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife, PE. 2009.

SISINNO, C.L.S. *Avaliação da contaminação e poluição ambiental na área de influência do aterro controlado do Morro do Céu, Niterói, Brasil*. Cadernos de Saúde Pública, v.12, n.4, p. 515-523, 1996.

SISINNO, C.L.S. *Destino dos resíduos sólidos urbanos e industriais no Estado do Rio de Janeiro: avaliação da toxicidade e suas implicações para o ambiente e para a saúde humana*. Tese de Doutorado. ENSP, Rio de Janeiro, 2002.

SOUTO, G.D.B. ; POVINELLI, J. . *Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil*. 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte; 2007.

SUN, H., YANG, Q., PENG, Y., SHI, X., WANG, S., ZHANG, S. “*Advanced landfill leachate treatment using a two-stage UASB-SBR system at low temperature*”. Journal of Environmental Sciences 2010, 22 (4), pg 481-485.

TCHOBANOUGLOUS, G., THISEN, H., VIGIL, S. “*Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*”. McGraw-Hill, inc., 1993. 978p.

ZAGATTO, P.A., BERTOLETTI, E., *Ecotoxicologia aquática - princípios e aplicações*. 2ª edição. São Carlos: RiMa, 2008. 486p.

SANTA CATARINA. Lei n. 14.675, de 13 de abril de 2009. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências. Diário Oficial de Santa Catarina, Florianópolis, 13 abr. 2009.

_____. NT-202.R-10, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.007, 4 de dezembro de 1986. *Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 12 de dezembro de 1986.

_____. NT-213.R-4, aprovada pela Deliberação CECA nº 1.948, 4 de setembro de 1990. *Critérios e padrões para controle da toxicidade em efluentes líquidos industriais*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 18 de outubro de 1990.

_____. DZ-205.R-6, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.887, de 25 de setembro de 2007. *Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 08 de novembro de 2007.

_____. DZ-215.R-4, aprovada pela Deliberação CECA nº 4.886, 25 de setembro de 2007. *Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 08 de novembro de 2007.

_____. MF-455.R-0, aprovada pela Deliberação CECA nº 3.078, 25 de janeiro de 1994. *Método de determinação do efeito agudo letal causado por agentes tóxicos com peixes da espécie Brachydanio Rerio – Método estático*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 25 de abril de 1994.

_____. MF-456.R-0, aprovada pela Deliberação CECA nº 3.077, 25 de janeiro de 1994. *Método de determinação do efeito agudo letal causado por efluentes líquidos em peixes da espécie Brachydanio Rerio – Método estático*. Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 25 de janeiro de 1994.

Handbook of Environmental Control - Volume II: Solid Waste, CRC Press, 1973.
(compilação de diversos autores. Coloco o nome dos editores?)

Projeto, Operação e Monitoramento de Aterros Sanitários: Guia do profissional em treinamento : nível 2 / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - (org.). – Belo Horizonte : ReCESA, 2008.112 p.

Projeto de Cooperação Técnico-científico entre o Ministério Público de Santa Catarina e a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - Seção Santa Catarina - Relatório Final contendo os resultados do plano de pesquisa - Apoios ao desenvolvimento de ações integradas na área de resíduos sólidos urbanos visando contribuir no monitoramento da qualidade ambiental da gestão de resíduos no estado de Santa Catarina. SC, ABES, JULHO 2012.