4. RESULTADOS E DISCUSSÃO: SUBÍNDICES DO IQA_{FAL}

A modelagem do IQA_{FAL} utiliza as sete variáveis de qualidade de água escolhidas divididas em grupos de duas, que dão origem aos subíndices. Os subíndices (Figura 2), por sua vez, são usados como entrada para o resultado final do IQA_{FAL}. Esta modelagem permite identificar qual ou quais variáveis de qualidade de água são mais determinantes nos resultados do índice (PESSOA, 2010).

Este capítulo apresenta os cálculos dos percentuais dos subíndices do IQA_{FAL} para os rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, visualizados em gráficos de pizza, com o objetivo de identificar as principais variáveis determinantes da qualidade de água desses rios, segundo a metodologia do $IQA_{FAL,}$ no período 2003 - 2010.

4.1. Rio dos Macacos

Na estação de amostragem MC085, os maiores percentuais de resultados do subíndice “Trófico” e do subíndice “Despejos Domésticos” inserem-se na categoria “BOM”, com 64% e 91% dos resultados, respectivamente. Estes resultados mostram que praticamente todos os parâmetros indicam boa qualidade da água neste ponto do rio dos Macacos, o que fica evidenciado pelo resultado do IQA_{FAL} final e pelas vistorias de campo (Figura 32).

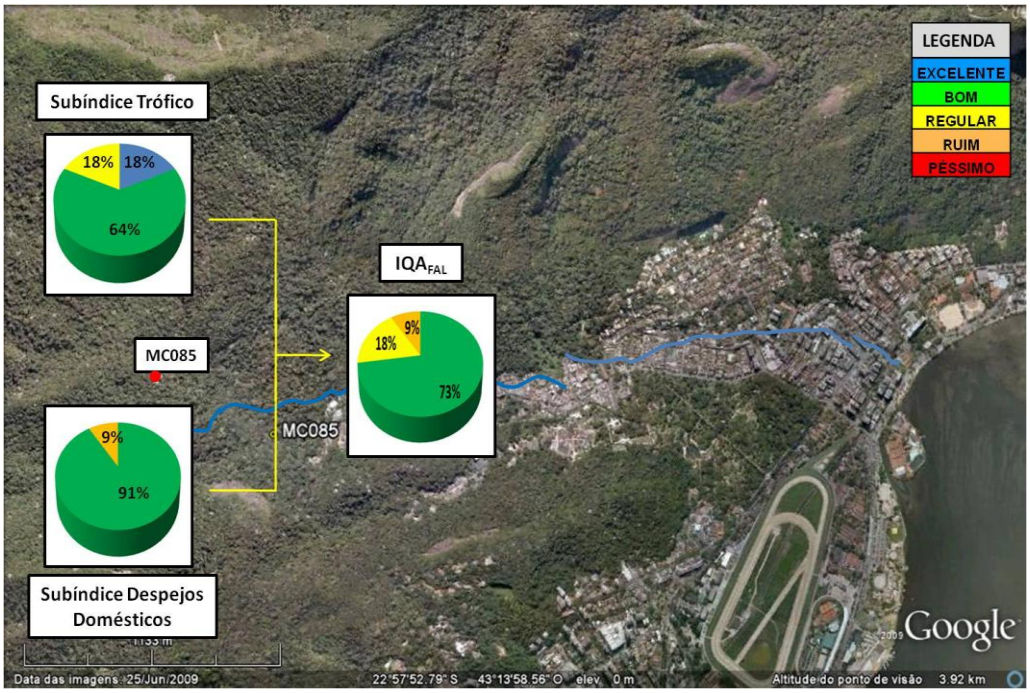

Figura 32 – Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices “Trófico” e “Despejos Domésticos” no ponto de coleta MC085 (rio dos Macacos)

Como apontado anteriormente, na estação MC075 os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} ocorreram na faixa de valores da categoria “RUIM”. A maioria dos resultados do subíndice “Trófico” ocorreu na faixa de valores da categoria “REGULAR” enquanto do subíndice “Despejos Domésticos” ocorreu na faixa de valores da categoria “RUIM”, com 37% e 82%, respectivamente (Figura 33).

Estes resultados sugerem que os resultados do subíndice de “Despejos Domésticos” são coincidentes com os do IQA_{FAL}.

Por sua vez, o subíndice “Despejos Domésticos” é constituído pelo subíndice “Carga Orgânica” e pelo parâmetro bacteriológico – Coliformes Termotolerantes. Os resultados do subíndice “Carga Orgânica” revelam que as variáveis ligadas ao metabolismo de oxigênio (oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio) não estão determinando os resultados finais do IQA_{FAL}, pois os maiores percentuais de resultados deste subíndice se encontram nas categorias “BOM” e “REGULAR”, enquanto os maiores percentuais de resultados do IQA_{FAL} ocorrem na faixa de variação da categoria “RUIM” (Figura 33).

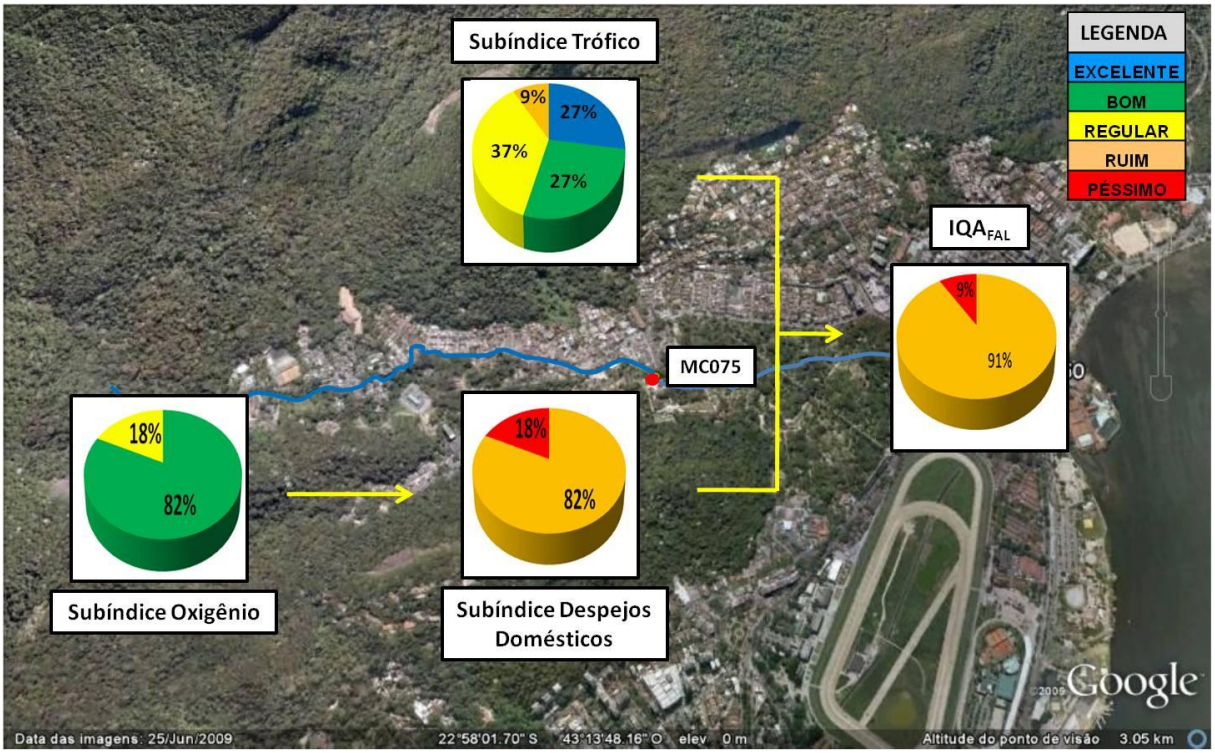

Figura 33 – Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices “Trófico”, “Despejos Domésticos” e “Oxigênio” no ponto de coleta MC075 (rio dos Macacos)

A terceira variável de qualidade de água que compõe o subíndice “Despejos Domésticos” são os Coliformes Termotolerantes. O modelo do IQA_{FAL} estipula a

classificação abaixo, de acordo com a concentração de Coliformes Termotolerantes, conforme legislação CONAMA 274/2000 (Tabela 28).

Tabela 28 – Concentrações de Coliformes Termotolerantes utilizadas no cálculo do IQA_{FAL}

Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Classificação
0 ≤ coliformes ≤ 300	BOM
300 < coliformes ≤ 1000	REGULAR
1000 < coliformes ≤ 2500	RUIM
2500 < coliformes	CRÍTICO

Fonte: tabela elaborada a partir de Pessoa (2010)

Os resultados mostram que, em todas as coletas no ponto MC075, a concentração de Coliformes Termotolerantes é muito crítica, pois é maior que 10.000 NMP/100mL, exceto na coleta realizada em setembro de 2007, que foi de 7000 NMP/100mL (Tabela 29).

Tabela 29 – Concentrações de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) no ponto de coleta MC075 (rio dos Macacos)

Datas	Colifomes Termotolerantes (NMP/100mL)
Agosto / 2004	160000
Novembro / 2005	50000
Maio / 2007	16000
Setembro / 2007	7000
Março / 2008	13000
Maio / 2008	160000
Setembro / 2008	540000
Julho / 2009	160000
Março / 2010	160000
Julho / 2010	49000
Outubro / 2010	23000

Esta análise permite verificar que o nível de contaminação por coliformes, em todas as coletas, excede em muito o limite inferior da categoria “CRÍTICO” (2500 NMP/100mL), estipulada no modelo do IQA_{FAL}.

Pode-se constatar, portanto, que para o conjunto de dados utilizados nesta estação de amostragem, a variável de qualidade de água que está tendo maior influência nos resultados do IQA_{FAL} é a Coliformes Termotolerantes.

Na estação de amostragem MC055, os maiores percentuais de resultados do subíndice “Trófico” apareceu na categoria “REGULAR”, enquanto do subíndice “Despejos Domésticos”, ocorreu dividindo-se na faixa de valores da categoria “RUIM” e “PÉSSIMO”, assim como o resultado final do IQA_{FAL} (Figura 34). Estes resultados mostram que os parâmetros relacionados ao subíndice “Despejos Domésticos” é que estão refletindo a má qualidade da água neste ponto do rio dos Macacos.

Observando-se o subíndice “Oxigênio” que possui seus maiores resultados incluídos na categoria “BOM” conclui-se que mais uma vez, quem está influenciando o resultado Ruim e Péssimo do IQA_{FAL} final são os Coliformes Termotolerantes.

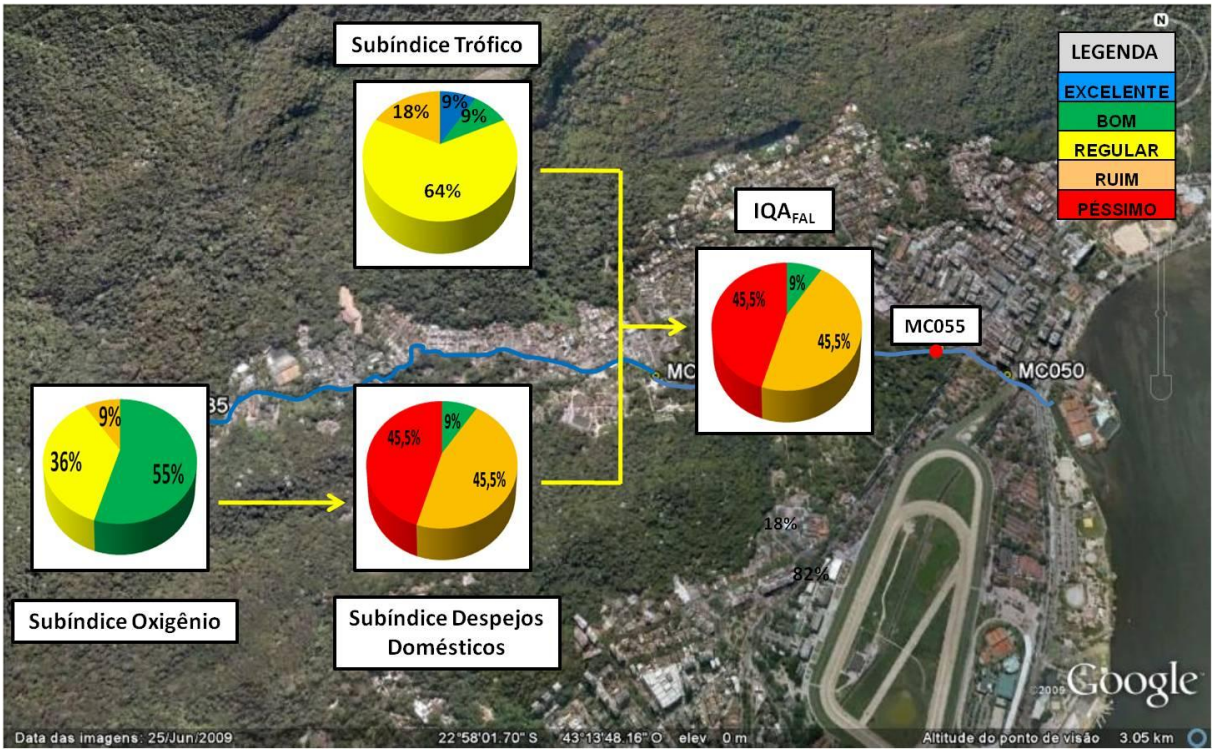

Figura 34 – Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices “Trófico”, “Despejos Domésticos” e “Oxigênio” no ponto de coleta MC055 (rio dos Macacos)

O ponto MC050, na Avenida General Garzon, assim como o ponto MC055, tem os seus maiores percentuais de resultados dos subíndices “Trófico” na categoria “REGULAR” e os do subíndice “Despejos Domésticos” na categoria “RUIM”, 73% e 82%, respectivamente. Novamente os Coliformes Termotolerantes refletem negativamente no resultado final do $IQA_{FAL,}$ compatível com as observações da pesquisa de campo e validando-se com o BOM resultado amostrado no subíndice “Carga Orgânica” (Figura 35).

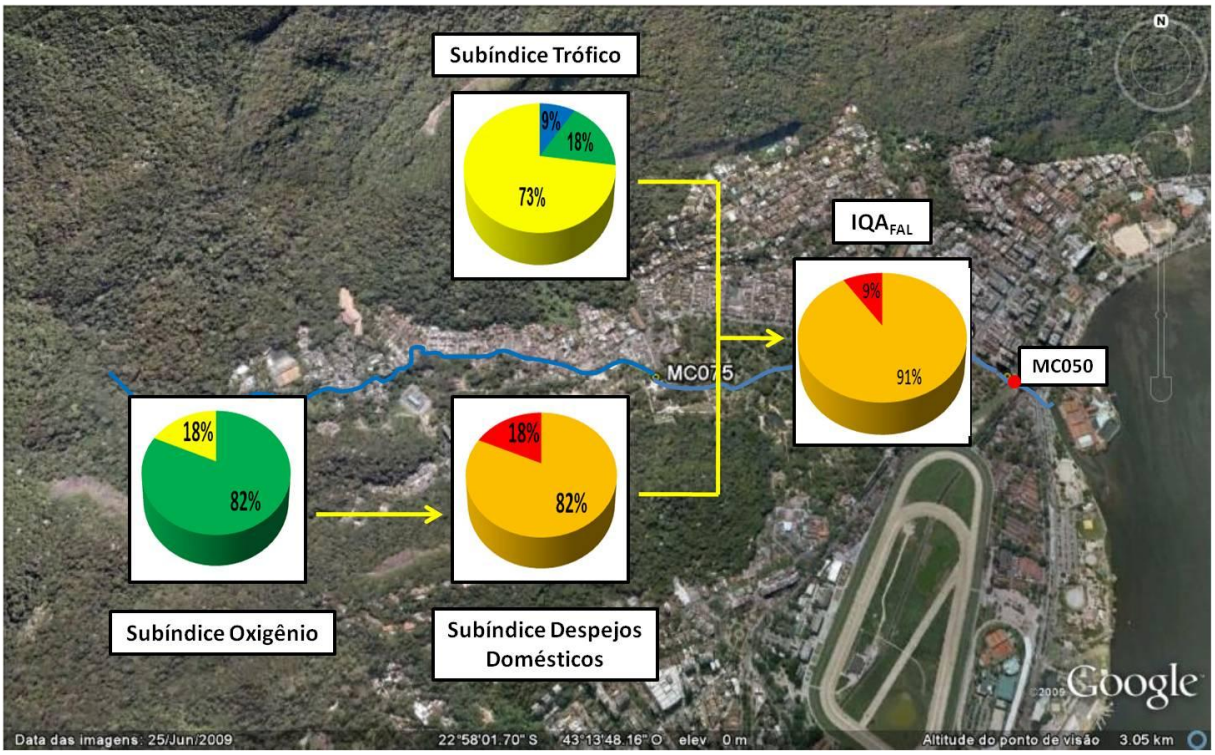

Figura 35 – Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices "Trófico" e "Despejos Domésticos" no ponto de coleta MC050 (rio dos Macacos)

4.2. Rio Cabeça

As águas no ponto de coleta CB085, no alto curso do rio Cabeça, segundo a metodologia IQA$_{FAL}$, nos parâmetros componentes do subíndice "Trófico" (índice de diversidade Shannon-Weaver, cianobactérias, P_{tot} e NH_4) e do subíndice "Despejos Domésticos" (OD, DBO e Coliformes Termotolerantes) são de boa qualidade, com valores de 72% e 100%, respectivamente, classificados na categoria "BOM". Assim como o resultado final do IQA$_{FAL}$ (Figura 36).

Uma única exceção foi observada com resultado "REGULAR", na coleta de setembro de 2007, coincidente com o vazamento do coletor de esgoto da Rua Jardim Botânico, registrado no ato da coleta.

É interessante observar que, mesmo com o acidente ocorrido na rede de esgoto, o subíndice "Despejos Domésticos" continuou "BOM", ao contrário do subíndice "Trófico" que baixou para "REGULAR", igual ao IQA$_{FAL}$ final. Isto é, as variáveis ligadas ao metabolismo de oxigênio (OD e DBO) e a variável bacteriológica (Coliformes Termotolerantes) não determinaram a resposta final do IQA$_{FAL}$ nesta

coleta. De fato, verificou-se que o subíndice “Trófico” é que está determinando o IQA_{FAL} final (Tabela 30).

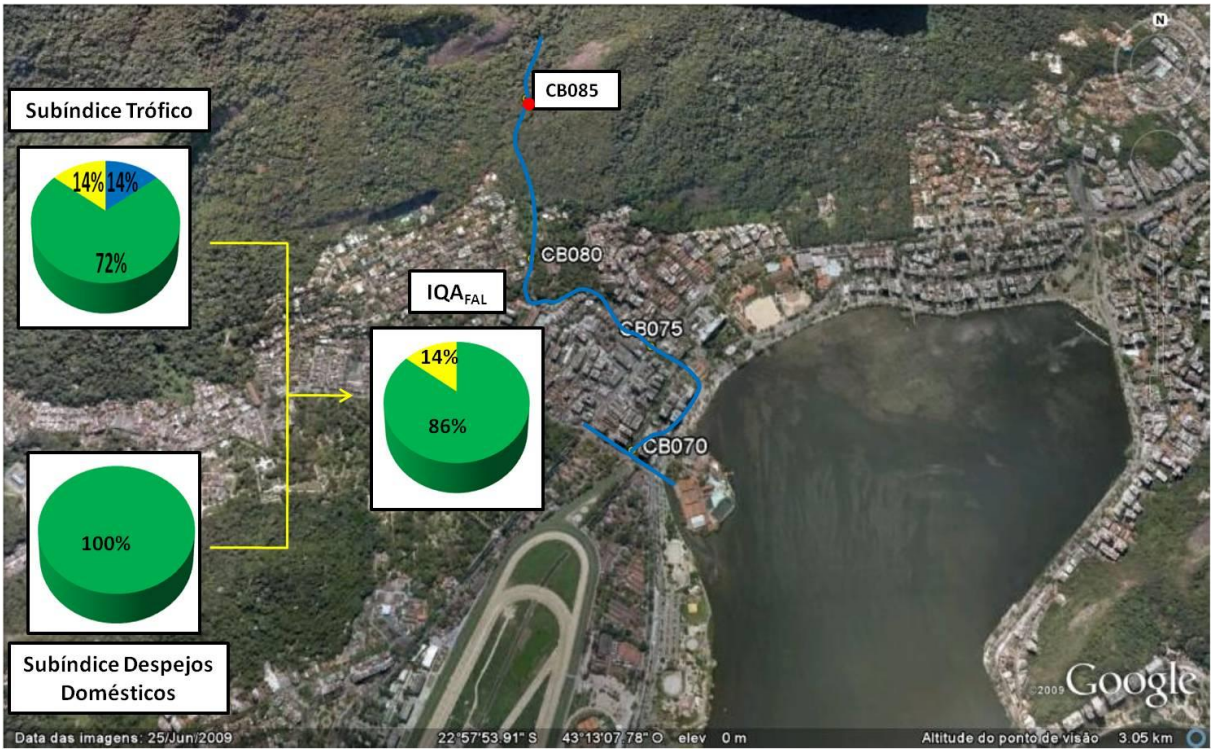

Figura 36 – Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices “Trófico” e “Despejos Domésticos no ponto de coleta CB085 (rio Cabeça)

Tabela 30 – Resultado final e dos subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta CB085 (rio Cabeça) em setembro de 2007

Datas	IQA_{FAL}	Class.	Subíndice Carga Orgânica	Class.	Subíndice Despejo	Class.	Subíndice Biológico	Class.	Subíndice Nutrientes	Class.	Subíndice Trófico	Class.
Set/07	**60,3**	***Regular***	80,0	Bom	79,9	Bom	61,4	Regular	80,0	Bom	60,7	Regular

Fonte: extraída da Tabela 17, mostrada no item 3.2.1

O subíndice “Trófico” é formado tanto pelo subíndice “Biológico”, que se mostrou na categoria “REGULAR”, quanto pelo subíndice “Nutrientes”, que se mostrou na categoria “BOM”. Isso mostra que as variáveis biológicas (Índice de Diversidade e cianobactérias), que compõem o subíndice “Biológico”, é que estão determinando o resultado final do IQA_{FAL}, pois ficaram na categoria “REGULAR”.

Na ocasião, foi registrada uma densidade de cianobactérias (28,5 nº células/mL) diferente do normal, pois em todas as outras coletas, as cianobactérias não foram reconhecidas (Tabela 31). Cabe destacar a frequente dominância de cianobactérias associadas a ambientes enriquecidos; neste caso específico, o

acidente na rede coletora de esgoto pode ter influenciado esse resultado Regular do IQA_{FAL} final.

Tabela 31 – Concentrações de cianobactérias (nº células/ L) no ponto de coleta CB085 (rio Cabeça)

Datas	Cianobactérias (Nº células /mL)
Dezembro / 2003	0
Junho / 2004	0
Maio / 2007	0
Setembro / 2007	**28,5**
Março / 2008	0
Junho / 2008	0
Setembro / 2008	0

O ponto CB080 revelou os maiores percentuais do subíndice "Trófico" na categoria "BOM", deste modo não são essas variáveis que estão influenciando o resultado final do IQA_{FAL}, já que este se classificou na categoria "RUIM". No entanto, os resultados do subíndice "Despejos Domésticos" foi igual ao resultado final do IQA_{FAL}, 89% na categoria "RUIM". Observa-se apenas a coleta de dezembro de 2003 na categoria "BOM" com 11% do resultado. Portanto, este subíndice é que está determinando o resultado final (Figura 37).

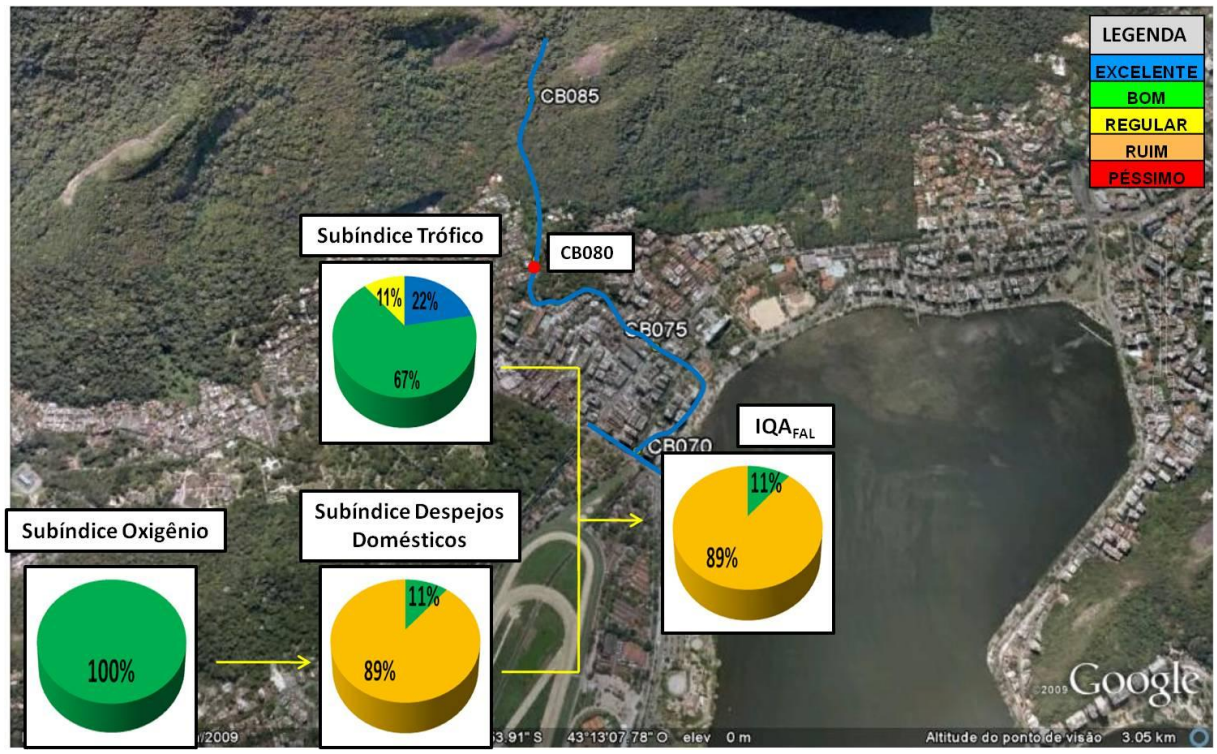

Figura 37 - Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices "Trófico", "Despejos Domésticos" e "Oxigênio" no ponto de coleta CB080 (rio Cabeça)

O subíndice “Despejos Domésticos” é composto pelo subíndice “Carga Orgânica” e pela variável Coliformes Termotolerantes. Analisando o subíndice “Carga Orgânica”, observa-se que todos os resultados se encontram na categoria “BOM”. Assim, não são as variáveis OD e DBO que estão determinando os resultados do IQA_{FAL} (Figura 37), e sim os resultados da concentração dos Coliformes Termotolerantes (Tabela 32).

Nota-se, mais uma vez, que estas concentrações ultrapassam o ponto crítico de 2500 NMP/100mL. Com exceção, é claro, da coleta de dezembro de 2003, onde os Coliformes Termotolerantes mostraram-se bons com apenas 500 NMP/100mL, determinando mais uma vez, o resultado do IQA_{FAL} na categoria “BOM”.

Tabela 32 – Concentrações de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) no ponto de coleta CB080 (rio Cabeça)

Datas	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
Dezembro / 2003	500
Junho / 2004	2200000
Maio / 2007	30000
Setembro / 2007	5000
Março / 2008	7000
Junho / 2008	500000
Setembro / 2008	50000
Julho / 2010	16000
Outubro / 2010	92000

Na estação de coleta CB075, os maiores percentuais do subíndice “Trófico” ficaram na categoria “REGULAR”, com 63%, enquanto os do subíndice “Despejos Domésticos” ficaram na categoria “RUIM”, com 87%. Consequentemente, os parâmetros que devem estar direcionando o IQA_{FAL} devem ser ou os relacionados ao metabolismo do oxigênio, ou o parâmetro bacteriológico. Já que o IQA_{FAL} final classificou-se na categoria “RUIM” (Figura 38).

Os resultados do subíndice “Oxigênio” revelam que as variáveis ligadas ao metabolismo de oxigênio (OD e DBO) não estão determinando os resultados finais do IQA_{FAL}, pois os maiores percentuais de resultados deste subíndice se encontram na categoria “BOM” (Figura 38).

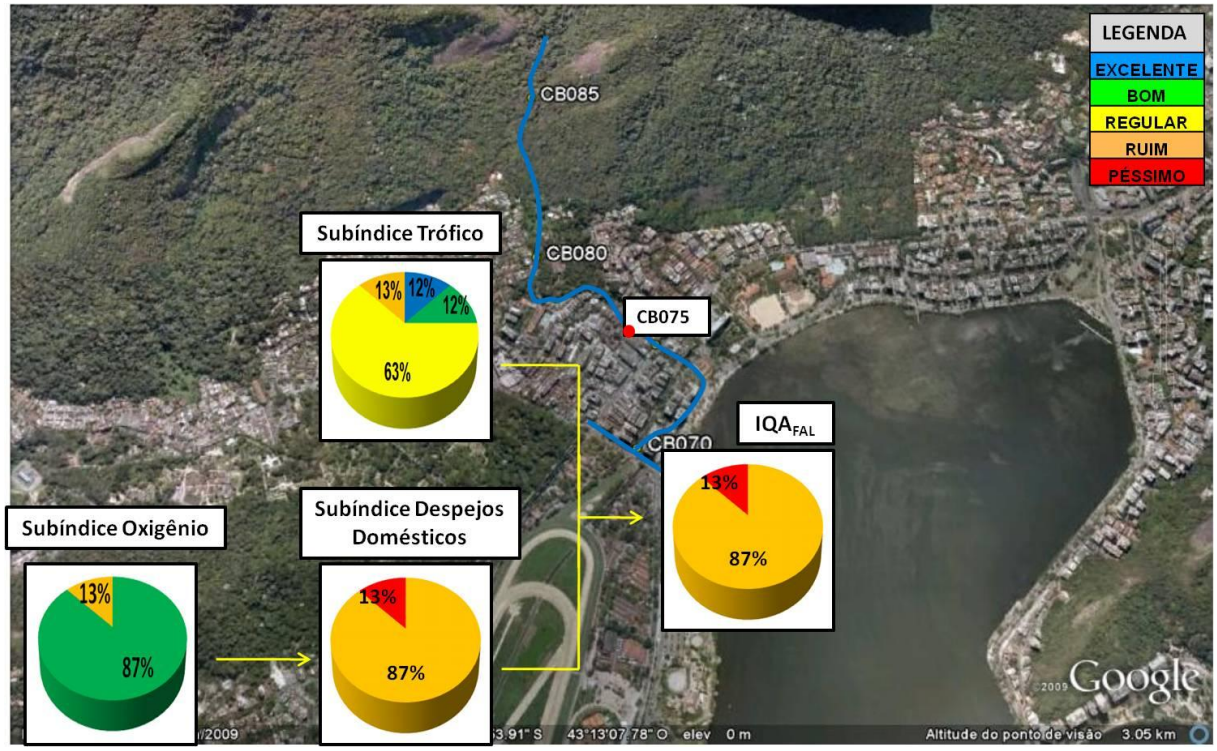

Figura 38 - Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices "Trófico", "Despejos Domésticos" e "Oxigênio" no ponto de coleta CB075 (rio Cabeça)

Como já visto, a terceira variável que compõe o subíndice "Despejos Domésticos" é o Coliforme Termotolerante. Mais uma vez, é ele que está determinando o resultado final do IQA$_{FAL}$ como "RUIM". O resultado de suas concentrações foram muito além do limite máximo de 2500 NMP/100mL (Tabela 33).

Tabela 33 – Concentrações de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) no ponto de coleta CB075 (rio Cabeça)

Datas	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)
Junho / 2004	500000
Maio / 2007	900000
Setembro / 2007	160000
Março / 2008	23000
Junho / 2008	300000
Setembro / 2008	35000
Julho / 2010	16000
Outubro / 2010	160000

Vale ressaltar que, na coleta de setembro de 2007, todos os resultados dos subíndices foram baixos devido ao acidente já mencionado (Tabela 34).

Tabela 34 – Resultado final e dos subíndices do IQA_{FAL} no ponto de coleta CB075 (rio Cabeça) em setembro de 2007

Datas	IQA_{FAL}	Class.	Subíndice Carga Orgânica	Class.	Subíndice Despejo	Class.	Subíndice Biológico	Class.	Subíndice Nutrientes	Class.	Subíndice Trófico	Class.
Set/07	10,2	*Péssimo*	39,8	Ruim	10,1	Péssimo	59,2	Regular	10,1	Péssimo	36,9	Ruim

Fonte: extraída da Tabela 19, mostrada no item 3.2.1

No leito final do rio Cabeça, ponto CB070, os maiores percentuais de resultados do subíndice "Trófico" ocorrem na faixa de valores das categorias "REGULAR" e "RUIM", ambas com 37,5% dos resultados. Já o subíndice "Despejos Domésticos" também apresenta valores muito baixos, distribuídos nas faixas de valores das categorias "RUIM" e "PÉSSIMO", ambas com 50% (Figura 39).

Esses resultados mostram que, praticamente, todos os parâmetros estão refletindo a má qualidade da água neste ponto do rio Cabeça, mais uma vez corroborando as visitas de campo e o resultado do IQA_{FAL} final.

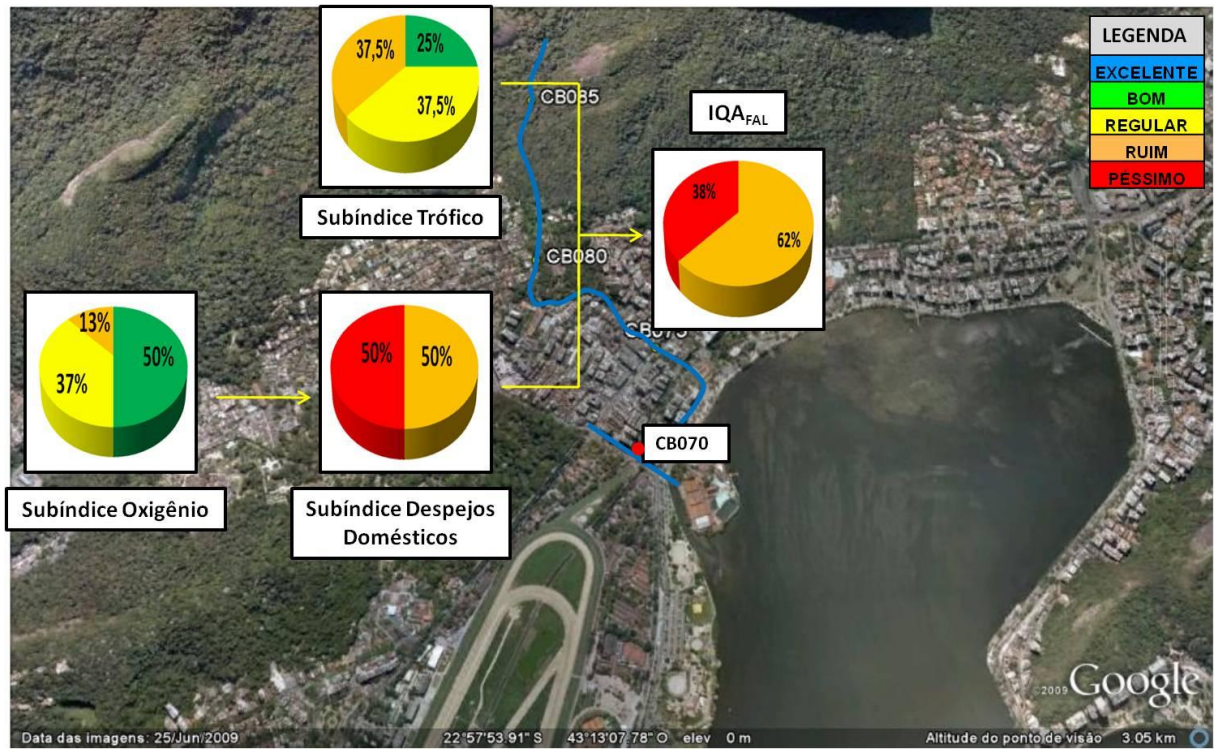

Figura 39 - Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices "Trófico" e "Despejos Domésticos no ponto de coleta CB070 (rio Cabeça)

4.3. Rio Rainha

O IQA_{FAL} final do ponto RN050 mostrou-se dividido entre as categorias “BOM” e “RUIM”, com a mesma percentagem: 37,5%. Por isso seus subíndices foram analisados com o objetivo de identificar qual variável estaria influenciando mais fortemente o resultado final. Observa-se que a maior parte dos resultados tanto do subíndice de “Despejos Domésticos” quanto do subíndice “Trófico” ficaram dentro da categoria “BOM” com 50%. Portanto, provavelmente, todos os parâmetros utilizados para o cálculo do IQA_{FAL} estão direcionando seu resultado em bom (Figura 40).

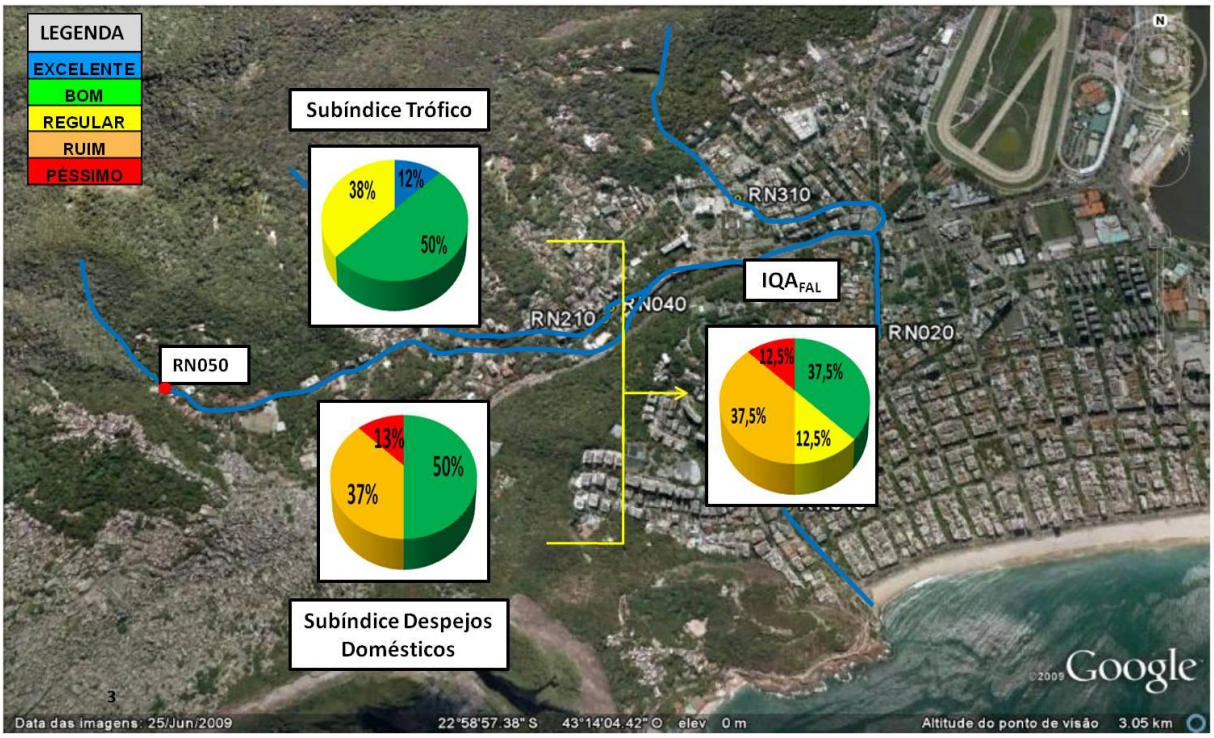

Figura 40 - Distribuição do resultado final do IQA_{FAL} e de seus subíndices “Trófico” e “Despejos Domésticos” no ponto de coleta RN050 (rio Rainha)

No segundo trecho, o <u>ponto RN210</u> obteve a maioria dos resultados do IQA_{FAL} dentro da faixa de valores da categoria “RUIM”. Decompondo os subíndices, percebe-se que o subíndice “Trófico” prevaleceu na categoria “REGULAR” enquanto o subíndice “Despejos Domésticos” na categoria “RUIM”, com 63 e 87%, respectivamente. Logo, estes resultados mostram que ou os parâmetros relacionados ao metabolismo do oxigênio ou os Coliformes Termotolerantes estão refletindo a má qualidade da água neste ponto do rio Rainha (Figura 41).

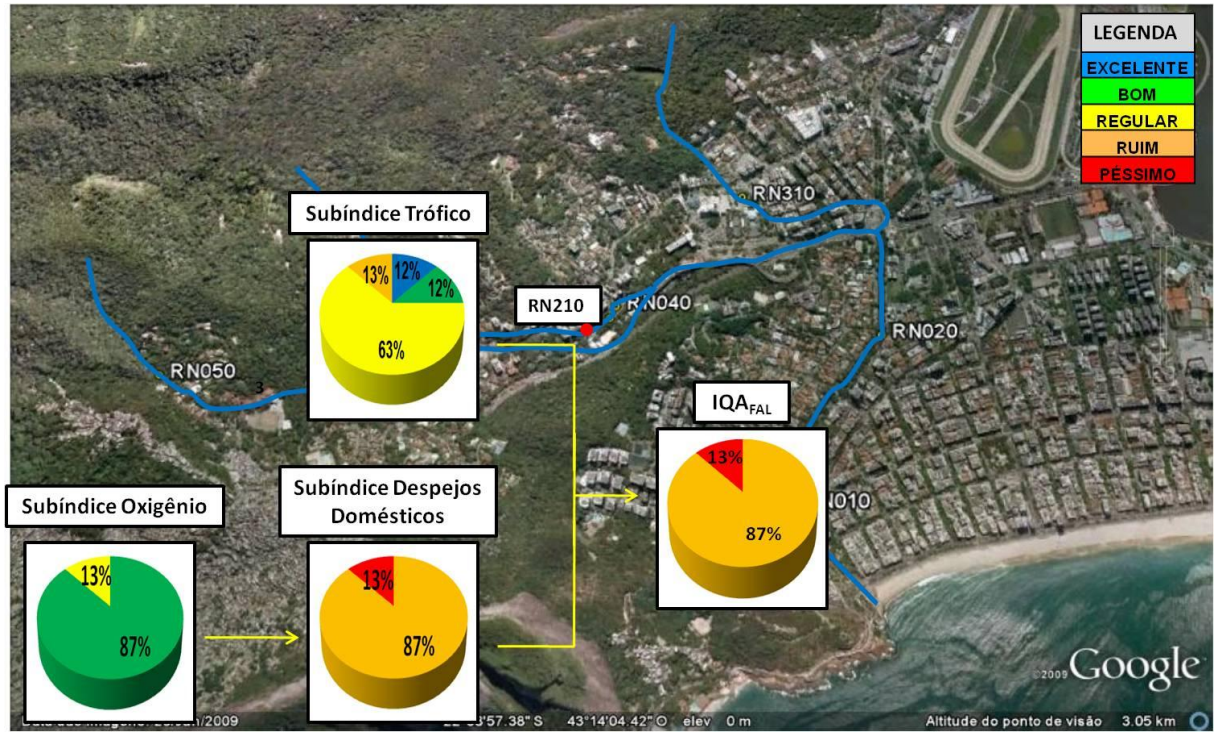

Figura 41 - Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices “Trófico”, “Despejos Domésticos” e “Oxigênio” no ponto de coleta RN210 (rio Rainha)

Analisando-se os parâmetros de Oxigênio Dissolvido e Demanda Bioquímica de Oxigênio relata-se que seus resultados não interferem no IQA$_{FAL}$ final, pois os seus maiores percentuais encontram-se na categoria “BOM”. O mesmo caso, encontrado em diversos outros pontos dos rios da Bacia Drenante da Lagoa Rodrigo de Freitas, onde os Coliformes Termotolerantes influenciam negativamente o IQA$_{FAL}$ final (Figura 41).

Já o segundo ponto, o RN040, teve a maioria dos resultados do IQA$_{FAL}$ ocorrendo na faixa de valores da categoria “RUIM”, o mesmo ocorrendo com seus subíndices “Trófico” e “Despejos Domésticos”. Este ponto revela mais uma vez a degradação do rio Rainha, onde seus parâmetros encontram-se fora do padrão da legislação vigente influenciando negativamente o IQA$_{FAL}$ final e seus subíndices (Figura 42).

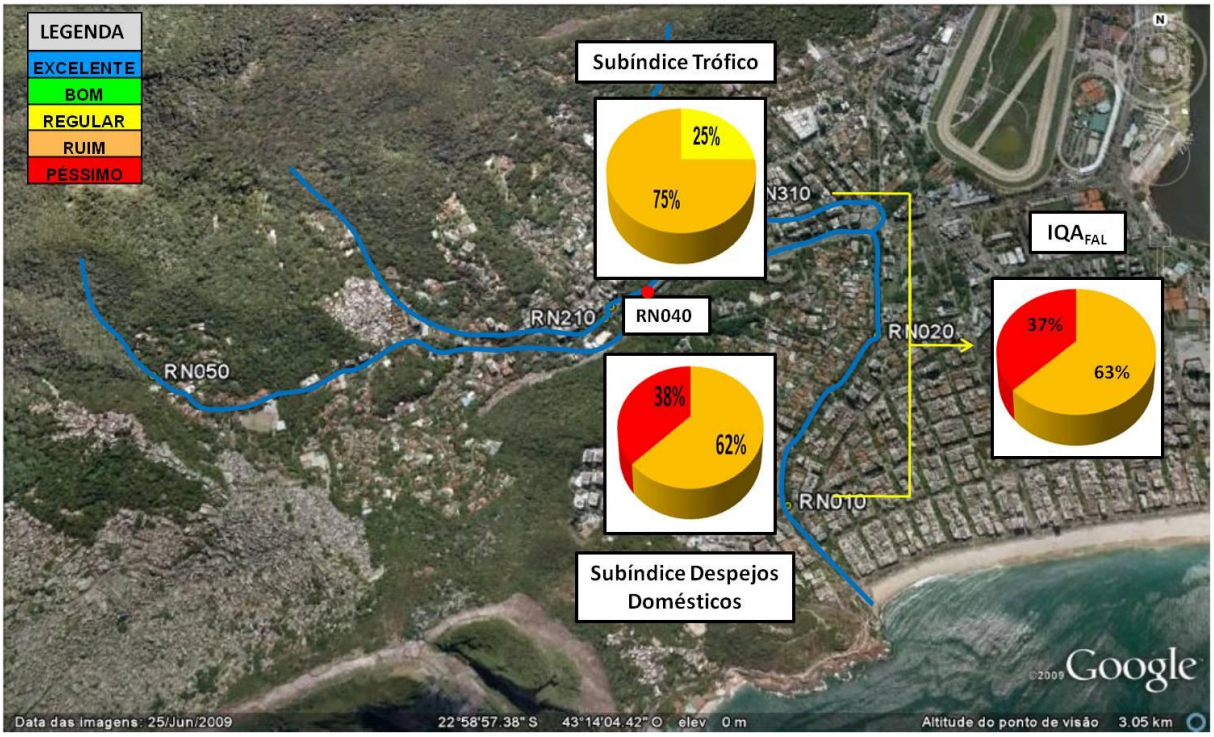

Figura 42 - Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices "Trófico" e "Despejos Domésticos" no ponto de coleta RN040 (rio Rainha)

Nos trechos finais do rio Rainha, nos pontos de coleta RN310, RN020 e RN010, observam-se os piores resultados em termos de qualidade de água. Vale relembrar que esses são os pontos mais próximos da foz do rio Rainha. Tanto o IQA$_{FAL}$ final quanto seus subíndices mostraram resultados muito baixos.

O IQA$_{FAL}$ final categorizou-se nestes três pontos como "PÉSSIMO", com o RN310 apresentando 100% dos seus resultados e o RN020 e RN010, ambos com 88% (Figuras 43, 44 e 45).

Apesar do subíndice de "Despejos Domésticos" se comportar exatamente igual ao IQA$_{FAL}$ final, não podemos dizer que apenas os parâmetros bacteriológicos e os relacionados ao metabolismo do oxigênio é que estão influenciando de forma negativa, pois o subíndice "TRÓFICO" nos três pontos se encontram na categoria "RUIM", além de, como dito anteriormente, são os pontos que estão na área mais degradada da Bacia Drenante da Lagoa Rodrigo de Freitas (Figuras 43, 44 e 45).

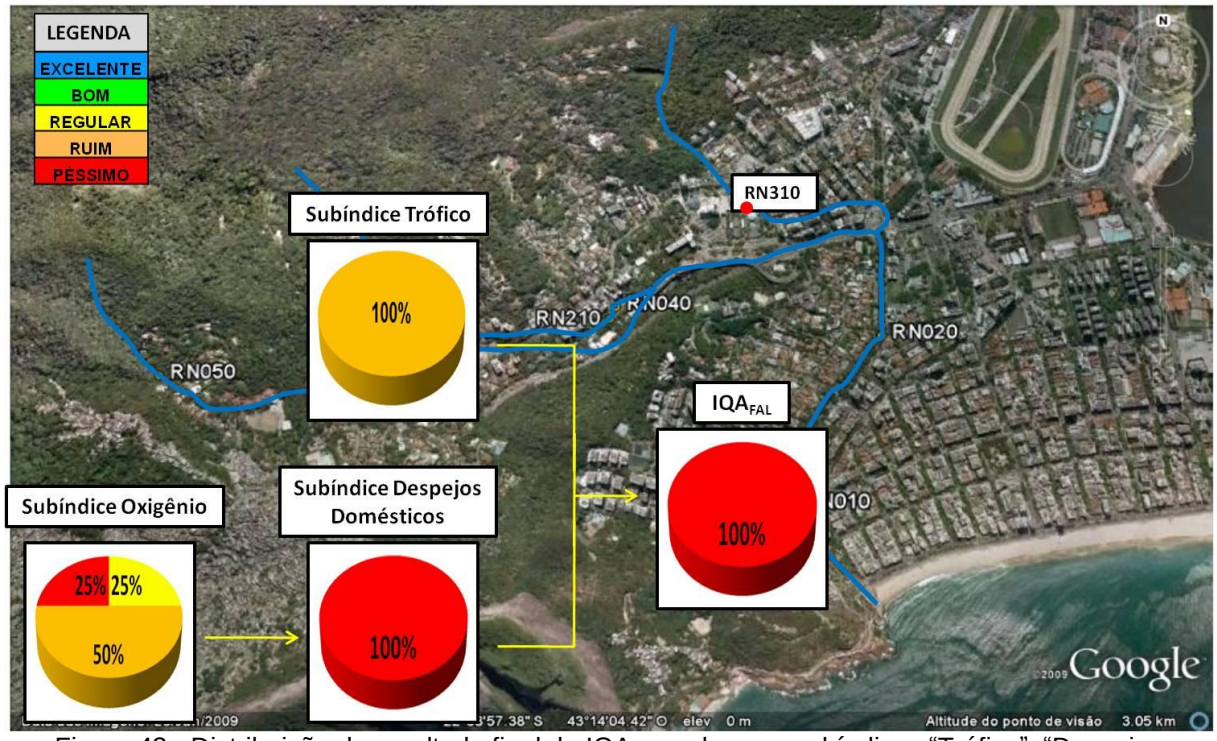

Figura 43 - Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices "Trófico", "Despejos Domésticos" e "Oxigênio" no ponto de coleta RN310 (rio Rainha)

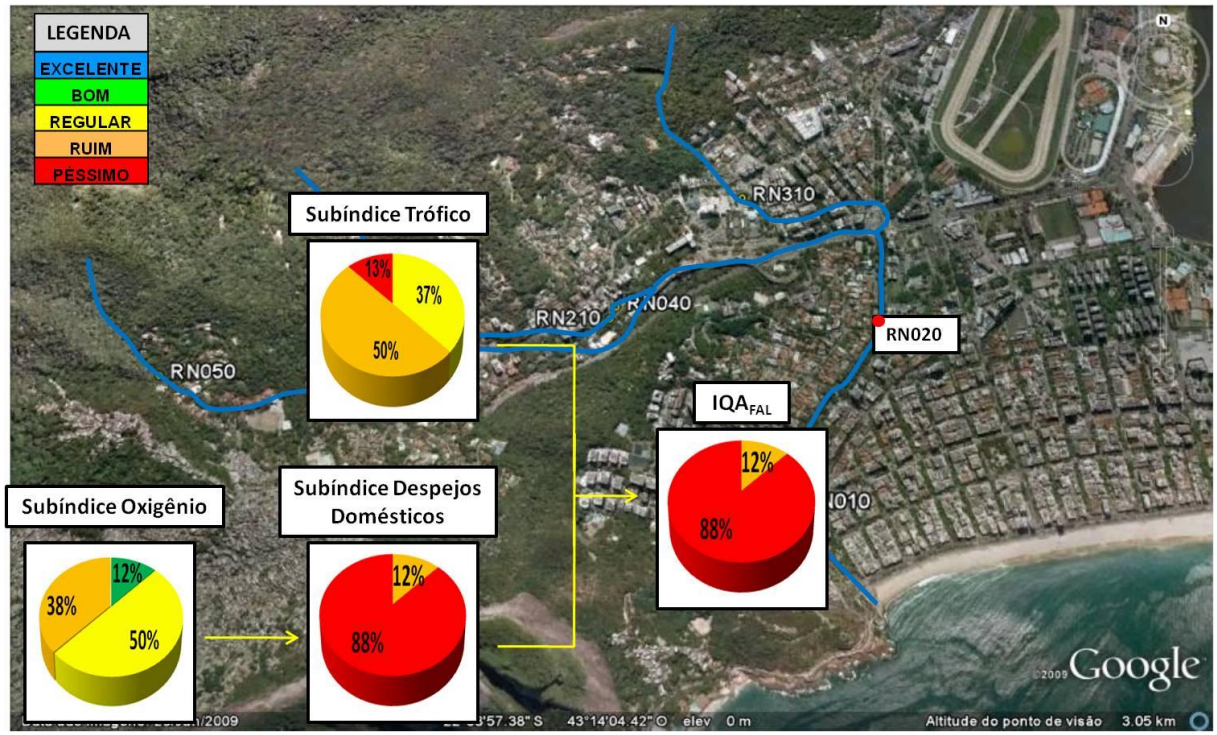

Figura 44 - Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices "Trófico", "Despejos Domésticos" e "Oxigênio" no ponto de coleta RN020 (rio Rainha)

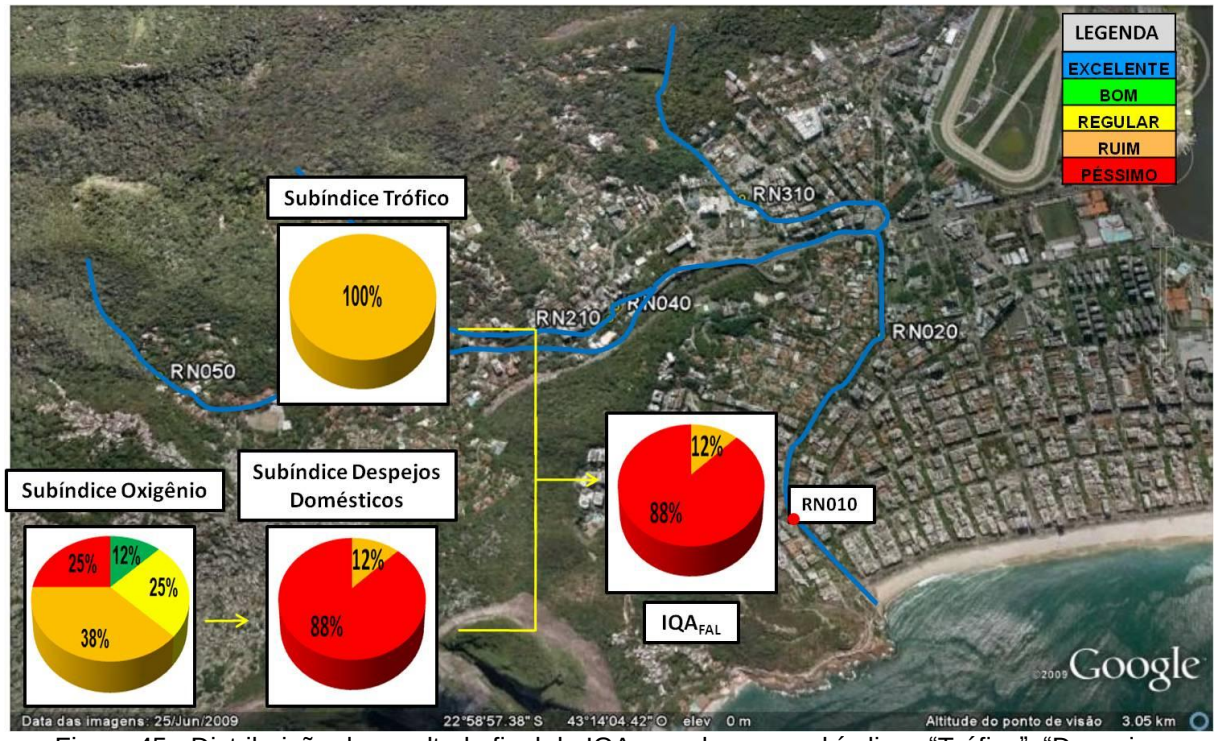

Figura 45 - Distribuição do resultado final do IQA$_{FAL}$ e de seus subíndices "Trófico", "Despejos Domésticos" e "Oxigênio" no ponto de coleta RN010 (rio Rainha)

Estes resultados são corroborados abaixo com as tabelas 35, 36 e 37 que mostram os dados das concentrações de OD, DBO e Coliformes Termotolerantes, variáveis que compõem o subíndice "Despejos Domésticos", os quais, na sua maioria, estão acima do padrão CONAMA 357/2005 para águas doces classe 2.

Tais resultados, mais uma vez, estão de acordo com os relatórios de qualidade de água da Gerência de Qualidade de Água do INEA, que indicam que os trechos finais do rio Rainha, pontos RN310, RN020 e RN010, apresentam problemas de ordem sanitária, característicos de um quadro de poluição doméstica através das sub-bacias e das galerias de drenagem pluvial.

Tabela 35 – Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L), Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) e Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL), no ponto de coleta RN310 (rio Rainha)

RN310			
Datas das Coletas / Parâmetros	**OD (mg/L) CONAMA 357/2005: Mínimo de 5,0 mg/L**	**DBO (mg/L) CONAMA 357/2005: Máximo de 5,0 mg/L**	**Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) CONAMA 357/2005: Máximo de 1000 NMP/100mL**
Junho/2007	1,0	60,0	1600000
Setembro/2007	5,4	9,4	30000
Abril/2008	4,8	10,5	160000
Julho/2008	5,2	2,2	240000
Novembro/2008	4,4	5,6	1600000
Março/2010	7,0	10,4	49000
julho/2010	4,0	13,0	220000
Setembro/2010	1,4	27,5	160000

Tabela 36 - Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L), Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) e Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) no ponto de coleta RN020 (rio Rainha)

RN020			
Datas das Coletas / Parâmetros	**OD (mg/L) CONAMA 357/2005: Mínimo de 5,0 mg/L**	**DBO (mg/L) CONAMA 357/2005: Máximo de 5,0 mg/L**	**Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) CONAMA 357/2005: Máximo de 1000 NMP/100mL**
Junho / 2007	3,8	8,8	500000
Setembro / 2007	4,0	8,0	1600000
Abril / 2008	5,6	2,0	500000
Julho / 2008	5,4	2,0	500000
Novembro / 2008	3,6	3,2	1600000
Março / 2010	6,2	4,8	1600000
Julho / 2010	8,4	2,0	79000
Setembro / 2010	4,4	24,0	4900

Tabela 37 - Concentração de Oxigênio Dissolvido (mg/L), Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) e Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) no ponto de coleta RN010 (rio Rainha)

RN010			
Datas das Coletas / Parâmetros	**OD (mg/L) CONAMA 357/2005: Mínimo de 5,0 mg/L**	**DBO (mg/L) CONAMA 357/2005: Máximo de 5,0 mg/L**	**Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) CONAMA 357/2005: Máximo de 1000 NMP/100mL**
Junho / 2007	3,8	5,6	50000
Setembro / 2007	0,8	4,0	1600000
Abril / 2008	5,4	2,0	300000
Julho / 2008	5,0	2,2	240000
Novembro / 2008	3,2	2,0	160000
Março / 2010	5,6	5,6	350000
Julho / 2010	7,8	2,0	540000
Setembro / 2010	3,0	19,0	92000

Observa-se que a metodologia IQA_{FAL}, através dos seus subíndices, permite a identificação de quais variáveis de qualidade de água são determinantes para o resultado final do Índice. Isto permite aos gestores e usuários de água uma visão rápida e sistêmica do conjunto de parâmetros que sejam semelhantes e complementares para diferentes aspectos da qualidade da água.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO: PARÂMETROS DO IQA_{FAL}

A Lagoa Rodrigo de Freitas é um dos cartões postais da cidade do Rio de Janeiro. Desde 2003, o Projeto de Revitalização da Vertente Sul da Serra da Carioca, uma parceria entre o INEA, a Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE) e a Fundação Rio-Águas - Prefeitura do Rio de Janeiro, tem como objetivo realizar medidas de melhoria nos rios dos Macacos, Cabeça e Rainha, que descem dos morros em volta e, em períodos de chuva intensa, vazam para a Lagoa. Como esses rios sofrem desvios irregulares e recebem despejos clandestinos de esgoto precisam ser recuperados para se ter uma solução efetiva na Lagoa.

As propostas de medidas de melhoria perfazem um conjunto de ações que contemplam, além da qualidade da água, atividades básicas de recuperação ambiental, com implicações e reflexos diretos também no entorno dos rios, como o restabelecimento de suas faixas marginais, restauração da mata ciliar nos trechos mais carentes e, em alguns trechos, a sua inserção novamente na paisagem local.

Neste capítulo é apresentado o comportamento dos setes parâmetros utilizados no cálculo do IQA_{FAL} no período de 2003 a 2010, em gráficos de colunas, pretendendo-se acompanhar a evolução espaço-temporal da qualidade desses corpos d'água.

5.1. Rio dos Macacos

Foi possível perceber flutuações espaço-temporais, de alguns parâmetros utilizados para o cálculo do IQA_{FAL} na bacia do rio dos Macacos, de acordo com os gráficos representados nas figuras 46 a 52.

Pelo padrão CONAMA 357/2005 de classe 2, o valor mínimo de oxigênio dissolvido (OD) para a vida aquática é de 5,0 mg/L. Os valores de OD (Figura 46) encontrados nas coletas, praticamente não apresentaram alterações significativas ao longo do rio nem ao longo do tempo amostral, indicando concentrações próximas aos níveis de supersaturação, considerando-se as condições de altitude, pressão e temperatura. Vale ressaltar que, no período amostral, não foram registrados valores abaixo do mínimo estabelecido pela legislação vigente.

Nos trechos iniciais, pontos MC085 e MC075, os valores de oxigênio dissolvido podem ser considerados elevados, podendo ser associados, em princípio, à aeração atmosférica natural deste corpo d'água, em função da declividade e do escoamento favoráveis. Nos trechos restantes, que correspondem ao canal da rua General Garzon, a alta concentração de OD possivelmente está relacionada à maior produção primária existente neste local. Cabe comentar que, neste ponto, as águas oriundas do trecho a montante perdem energia e, em virtude da comporta no final do canal, assumem uma característica mais lêntica do que lótica, o que contribui para um agravamento de processos de acúmulo de nutrientes.

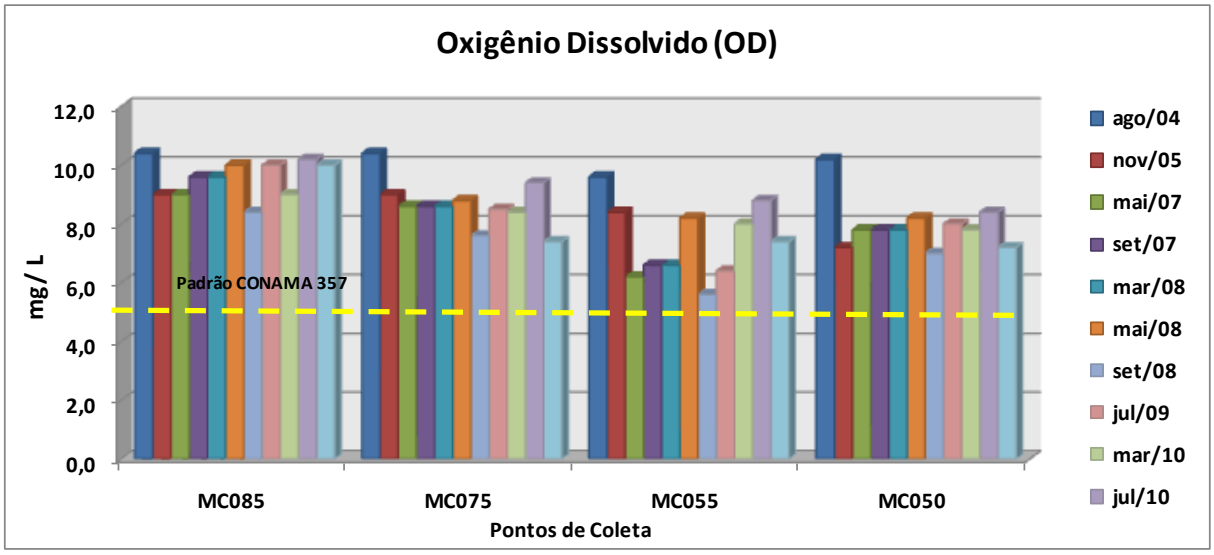

Figura 46 – Resultados de OD (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

De acordo com o padrão CONAMA 357/2005 para classe 2, o valor máximo de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é de 5,0 mg/L O_2.

A DBO não atingiu valores tão elevados quanto poderiam ser esperados, principalmente nos trechos finais da calha, pontos MC055 e MC050. De certa forma mostrando coerência com os valores de OD, já que quanto maior a concentração de DBO na água, haverá uma tendência de redução da concentração do oxigênio dissolvido na água.

Ao longo do tempo amostral, os resultados de DBO não demonstraram variação significativa. O ponto MC085 sempre ocorreu dentro do padrão da legislação vigente, com 2,0 mg/L. Entretanto, nos pontos MC055 e MC050 os resultados demonstraram oscilações, mas mantiveram-se no limite estabelecido para

a classe 2 da CONAMA 357/2005, exceto nos meses de setembro/2008 e julho/2010, respectivamente (Figura 47).

Os resultados da amostragem realizada no ponto MC075, em setembro de 2008, registraram uma alteração significativa no padrão até então observado, refletindo uma descarga de esgoto a montante, proveniente de entupimento da rede coletora que passa no interior do Jardim Botânico e detectado no instante da coleta.

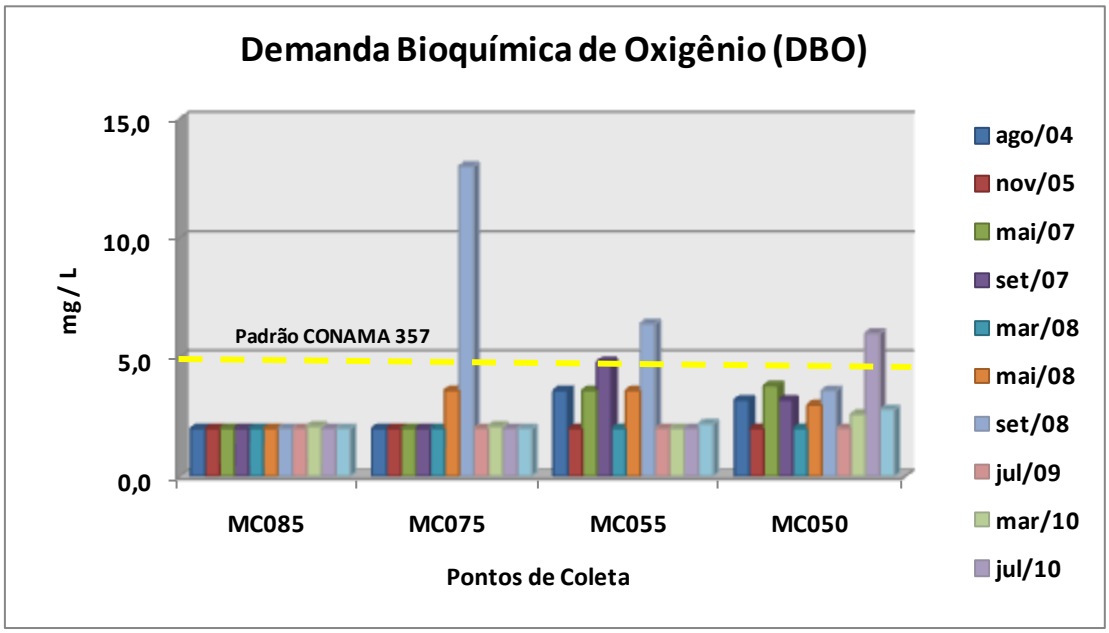

Figura 47 – Resultados de DBO (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

O fósforo e o nitrogênio são macronutrientes associados a importantes processos do metabolismo primário dos organismos vivos, e concentrações altas destas substâncias propiciam a eutrofização do corpo d'água, que se caracteriza por uma excessiva proliferação de algas (ESTEVES, 1998).

A elevação dos teores de nitrogênio amoniacal total (Figura 48) e de fósforo total (Figura 49) ao longo da calha revela um aumento gradual da carga orgânica, em consequência da urbanização das áreas mais baixas.

Tanto as concentrações de amônia quanto as de fósforo total registraram valores elevados na coleta de setembro de 2008, em função do acidente na rede coletora, já referido anteriormente. Entretanto, nas últimas coletas, as concentrações de amônia ficaram abaixo das concentrações das coletas iniciais, ao contrário das de fósforo que ficaram acima.

De acordo com o padrão CONAMA 357/2005 para as águas doces de classe 2, o valor máximo de Amônia é de 3,7 mg/L e o de Fósforo Total é de 0,050 mg/L.

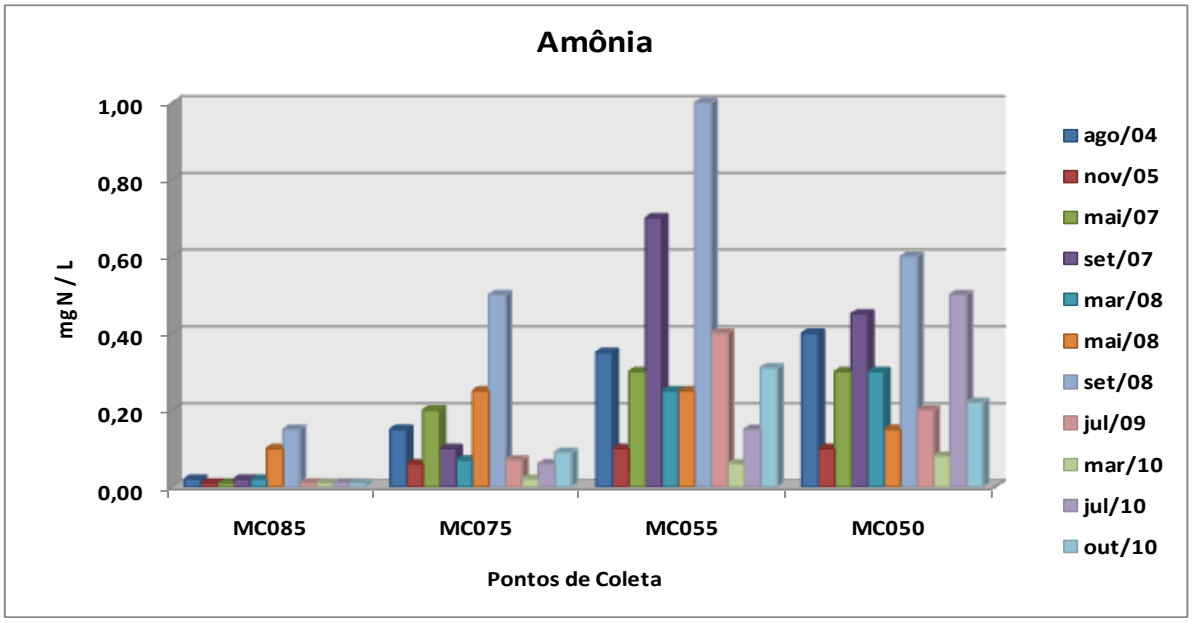

Figura 48 – Resultados de Nitrogênio Amoniacal Total (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

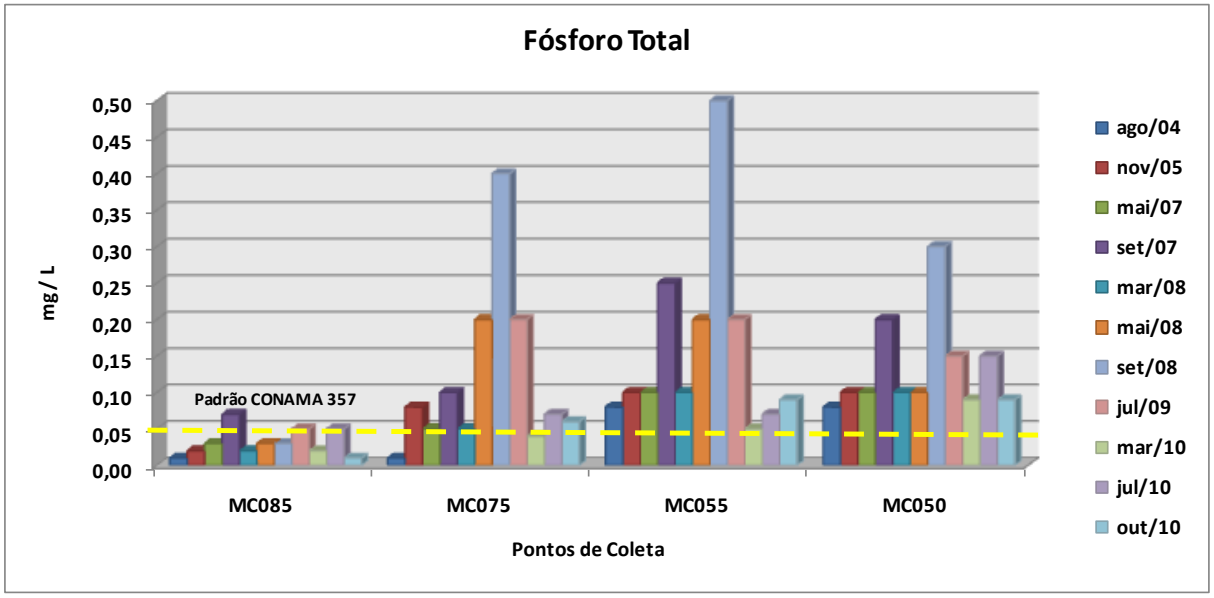

Figura 49 – Resultados de fósforo total (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

As bactérias do grupo Coliformes Termotolerantes são consideradas os principais indicadores de contaminação fecal, podendo estar associadas às fezes de animais de sangue quente.

O uso das bactérias Coliformes Termotolerantes para indicar poluição sanitária mostra-se mais significativo que o uso da bactéria coliforme "total", porque

as bactérias termotolerantes estão restritas ao trato intestinal de animais de sangue quente.

As maiores modificações com relação à atuação antrópica puderam ser observadas nos índices de coliformes termotolerantes, cujos valores revelaram forte alteração da qualidade da água já a partir do segundo ponto de coleta (MC075), indicando seu comprometimento com as contribuições de origem orgânica na maior parte do percurso desse corpo d'água (Figura 50). Com exceção do ponto situado mais próximo da nascente, MC085, os demais demonstraram valores elevados, acima dos padrões CONAMA 357/2005 para classe 2, que é de 1000 NMP / 100mL.

A observação de uma pequena tendência de queda verificada nas seis primeiras coletas não se sustentou, com elevação dos valores nos segmentos finais, onde são observadas as maiores fragilidades do sistema de esgotamento sanitário. Nesse aspecto, destaca-se o trecho mais baixo da Rua Pacheco Leão, onde são observados os maiores índices de acidentes na rede coletora.

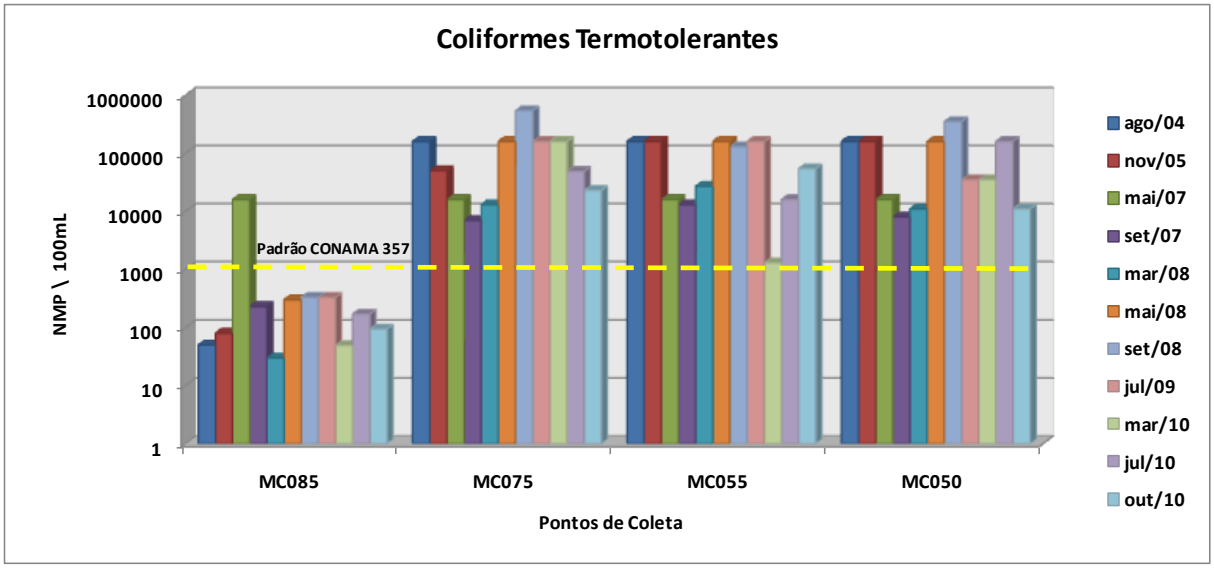

Figura 50 – Resultados de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

A comunidade das cianobactérias tem refletido com grande sensibilidade e rapidez às mudanças ambientais naturais ou antrópicas, pois apresentam um tempo de geração muito curto com expressiva contribuição à produtividade e atuam como base da cadeia trófica aquática (REYNOLDS, 2006). Desta forma, denota-se a importância da utilização desses micro-organismos como indicadores de qualidade

ambiental, sendo, estas espécies, excelentes sensores das propriedades do ambiente (BRANCO,1991).

De acordo com os resultados, a densidade das cianobactérias registrou elevados valores no curso final do rio, nos pontos MC075, MC055 e MC050, possivelmente associada à maior ocupação urbana dos últimos anos na região do estudo. Nos demais meses da série amostral, a densidade das cianobactérias foi muito pequena (Figura 51).

Observa-se que a densidade das cianobactérias é elevada em setembro de 2008 em função do acidente na rede coletora, já referido anteriormente, assim também como demonstrado pelo aumento dos valores de outros parâmetros.

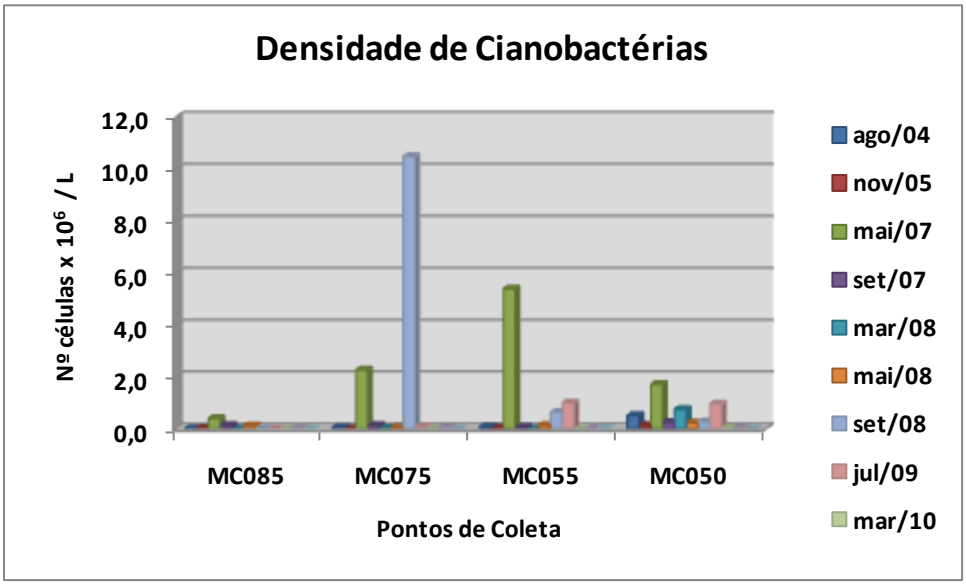

Figura 51 – Resultados da densidade de cianobactérias (nº células/L) nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

A diversidade específica (bits/indivíduo) foi avaliada a partir do Índice de Diversidade de Shannon-Weaver e revelou um gradiente ao longo do curso do rio (Figura 52). Atribui-se tal aumento à diminuição da declividade do leito do rio e, consequentemente, ao aumento do tempo de residência das águas, o que favorece a comunidade fitoplanctônica. Frequentemente, os ambientes lóticos apresentam menor densidade de fitoplâncton em relação aos ambientes lênticos. No entanto, ao longo do tempo em cada estação de amostragem, o Índice de Diversidade de Shannon-Weaver oscilou muito.

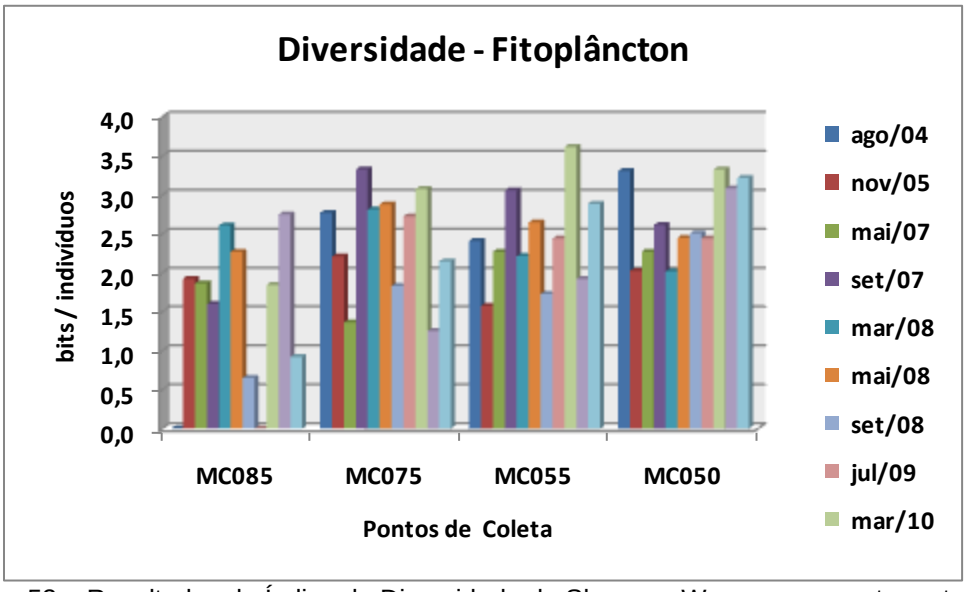

Figura 52 – Resultados do Índice de Diversidade de Shannon-Weaver nas quatro estações monitoradas do rio dos Macacos

5.2. Rio Cabeça

Assim como foi explicitado para o rio dos Macacos, perceberam-se também flutuações de alguns parâmetros utilizados para o cálculo do IQA_{FAL} depois das intervenções realizadas, para o rio Cabeça, de acordo com os gráficos abaixo.

Em relação às variáveis físico-químicas, o OD (Figura 53), de modo geral, apresentou concentrações próximas aos níveis de supersaturação, considerando altitude, pressão e temperatura. Em linhas gerais, pode-se atribuir tais concentrações ao terreno mais acidentado e de maior declividade, observado nos trechos iniciais, o que garante maior aeração da água. Nos trechos finais, os valores caem ligeiramente, mas ainda indicam níveis significativos, sugerindo que, possivelmente, a diminuição da energia do fluxo do rio nesses pontos possa contribuir para a maior atividade fotossintética da comunidade de produtores primários.

Destaque para os resultados de setembro 2007 nos pontos CB075 e CB070, onde se observa queda mais acentuada dos valores decorrente de vazamento do coletor de esgoto da Rua Jardim Botânico, registrado na hora da coleta. Contudo, na coleta posterior já se observa um padrão de recuperação nesses pontos, com os reparos realizados.

O oxigênio dissolvido é um dos mais importantes indicadores de qualidade de água, uma vez que sua concentração é determinante para a vida aquática aeróbia. Concentrações abaixo de 2,0 mg/L de oxigênio podem ocasionar mortandades de peixes. Altas concentrações de oxigênio dissolvido, além de benéficas para a vida aquática, favorecem a depuração da matéria orgânica lançada nos corpos hídricos (FEPAM, 2011).

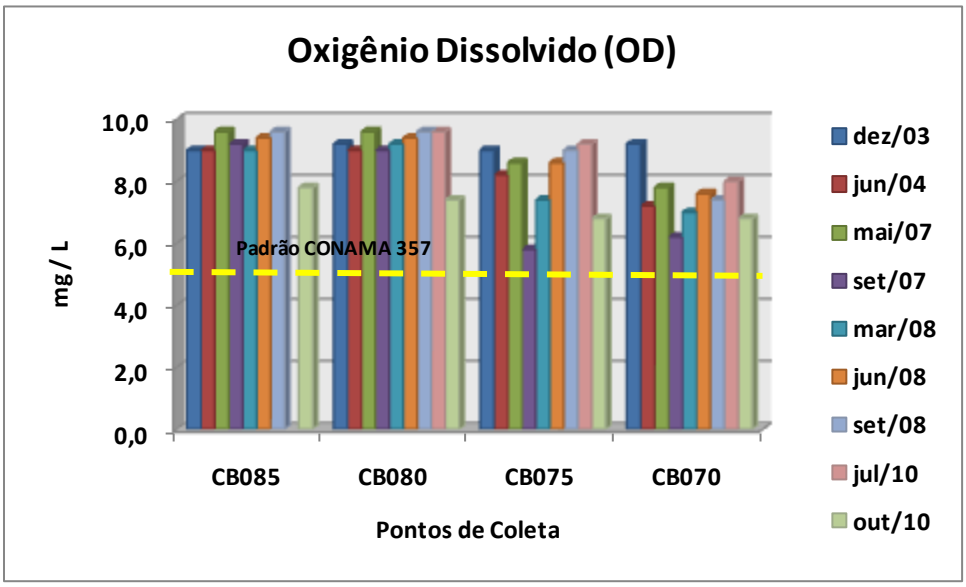

Figura 53 – Resultados de OD (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

Mais uma vez, a DBO não demonstrou valores tão elevados quanto poderiam ser esperados, principalmente nos trechos finais da calha, pontos CB075 e CB070. De certa forma, mostrando coerência com os valores de OD, já que quanto menor a concentração de DBO na água, haverá uma tendência de aumento na concentração do oxigênio dissolvido na água e vice-versa (Figura 54).

Ao longo do tempo, os resultados de DBO demonstraram pouca variação nos pontos CB085 e CB080, ocorrendo valores abaixo do padrão da legislação vigente, que é de 2,0mg/L.

O ponto CB075, com exceção da coleta de setembro de 2007, na qual a concentração de DBO foi de 15 mg/L em função do vazamento no coletor de esgoto da Rua Jardim Botânico, mostrou concentração de acordo com a legislação CONAMA 357/2005, para classe 2.

No ponto CB070 os resultados de DBO apresentaram oscilações, na maioria dos meses amostrados, que ultrapassaram o limite do padrão CONAMA, como observado nas coletas de maio e setembro de 2007, junho de 2008 e julho de 2010.

Provavelmente, essas oscilações são associadas à presença de matéria orgânica, que pode ter origem nos esgotos domésticos ou nos efluentes industriais, já que DBO significa a quantidade de oxigênio necessária para depurar a matéria orgânica biodegradável lançada na água.

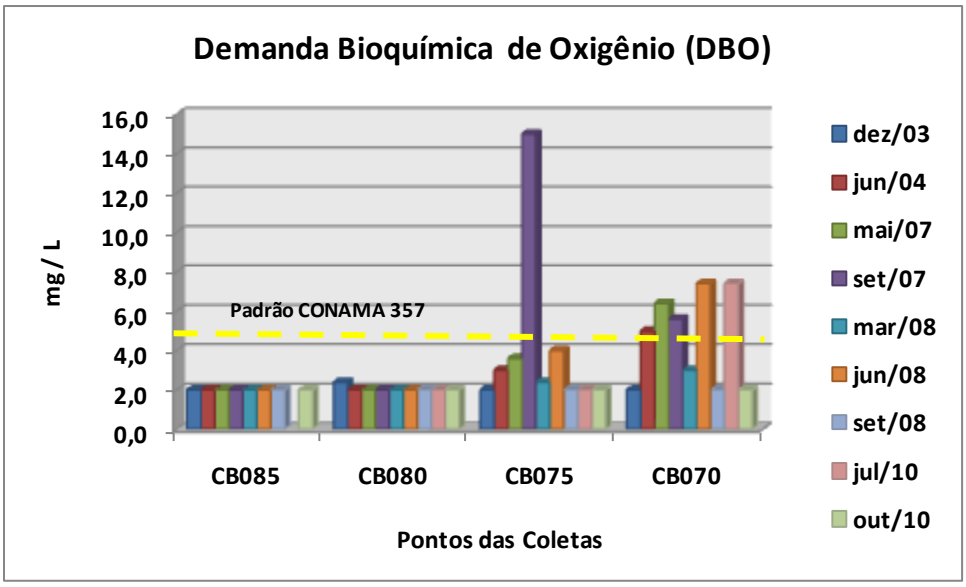

Figura 54 – Resultados de DBO (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

De acordo com o padrão CONAMA 357/2005 para as águas doces de classe 2, o valor máximo de Amônia é de 3,7 mg/L e o de Fósforo Total é de 0,050 mg/L.

Os resultados de nitrogênio amoniacal total (Figura 55) e de fósforo total (Figura 56) estão de acordo com o esperado, demonstrando um incremento em direção à estação final, CB070, na Avenida Lineu de Paula Machado. Os resultados demonstram, entretanto, com exceção dos valores obtidos em setembro de 2007 - em função de acidente na rede de esgoto da Rua Jardim Botânico - um gradiente decrescente ao longo do tempo, o que pode ser indicativo da redução da carga de nutrientes nas águas do rio Cabeça.

Cabe comentar que águas recentemente poluídas por esgotos contêm principalmente nitrogênio na forma orgânica e sob a forma de amônia. O gradiente quanto à concentração de nutrientes ao longo do curso do rio, ou seja, o maior enriquecimento no trecho final do curso d'água é resultante de atividades humanas nos trechos mais urbanizados. Dessa forma, tais atividades e os despejos que acarretam, terminam por contribuir para o processo de eutrofização, observado na Lagoa Rodrigo de Freitas.

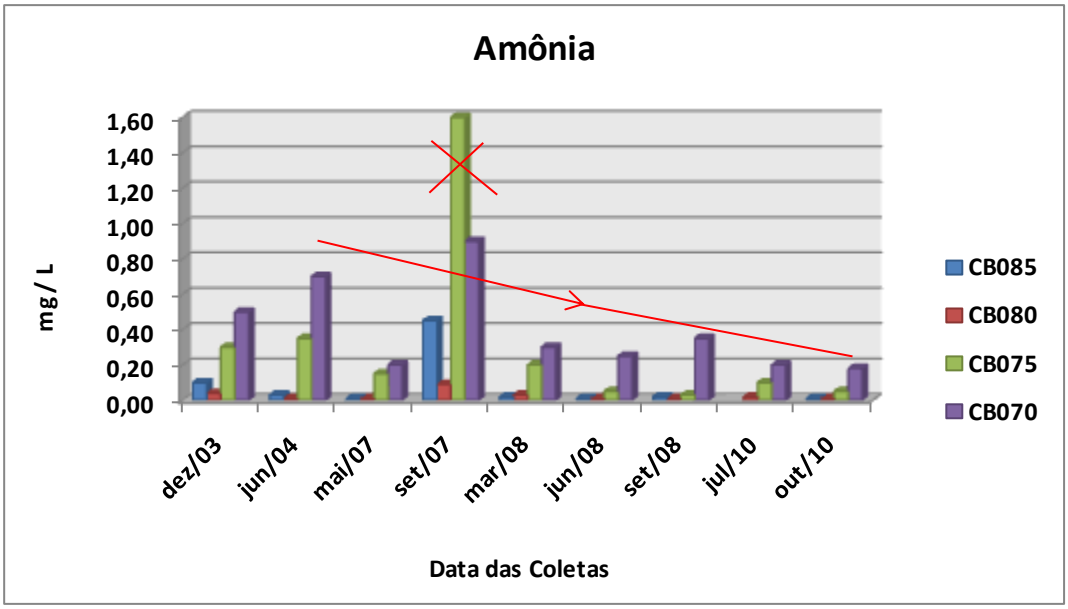

Figura 55 – Resultados de nitrogênio amoniacal total (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

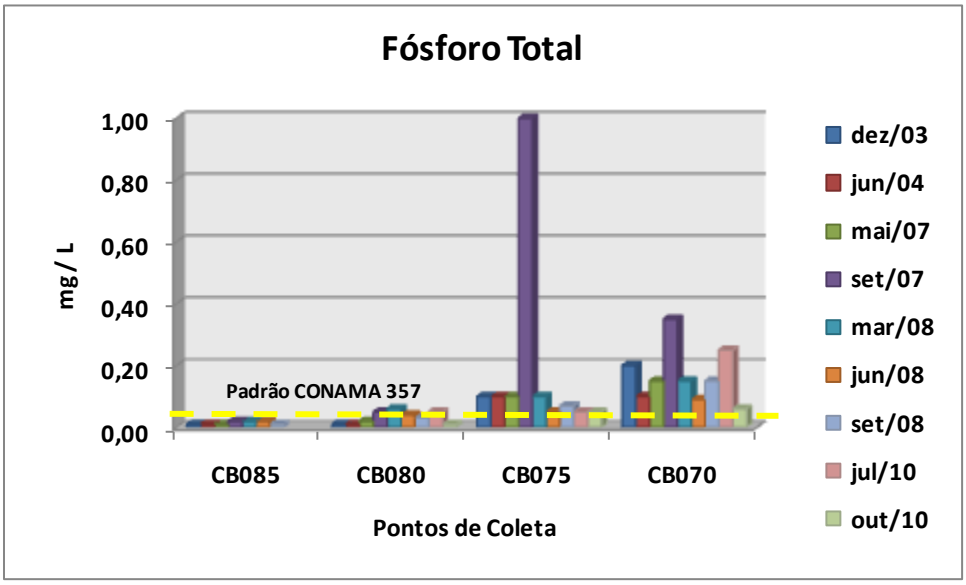

Figura 56 – Resultados de fósforo total (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

Os resultados bacteriológicos encontrados (Figura 57) no período demonstraram valores crescentes ao longo do curso deste corpo d'água, revelando, como previsto, o maior comprometimento sanitário no trecho inferior do rio, onde se concentra o maior número de contribuições de efluentes de origem doméstica, confirmando as observações levantadas durante as inspeções de campo. Observa-se, porém, a redução de valores no decorrer do tempo, expressando a melhoria das condições sanitárias do rio no período de estudo. Os resultados, entretanto, com

exceção do ponto mais próximo da nascente, encontram-se acima dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/05 para as águas doces de Classe 2.

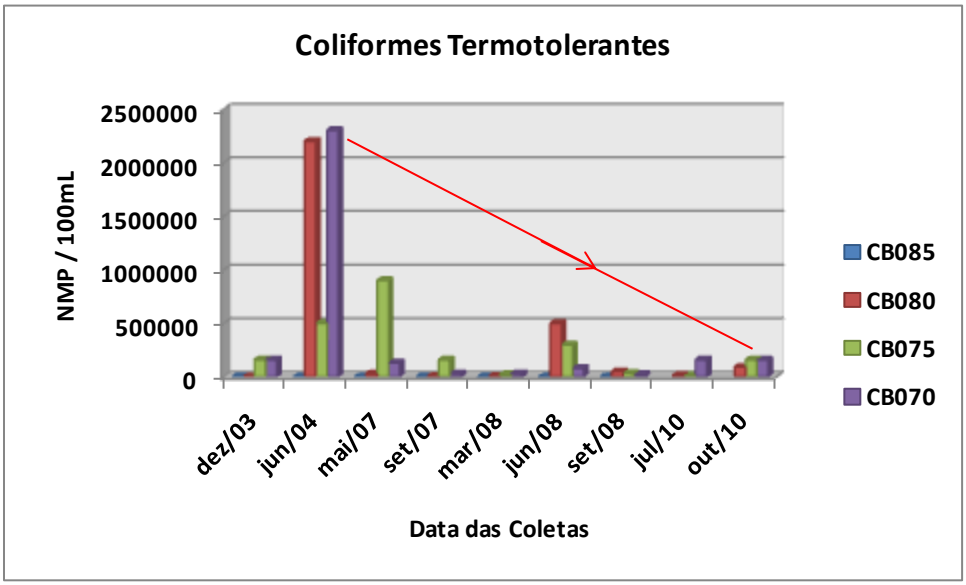

Figura 57 – Resultados de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

Elevadas concentrações de cianobactérias só foram registradas no curso final do rio Cabeça, provavelmente associadas ao aumento do nível de degradação do rio no trecho de ocupação urbana (Figura 58).

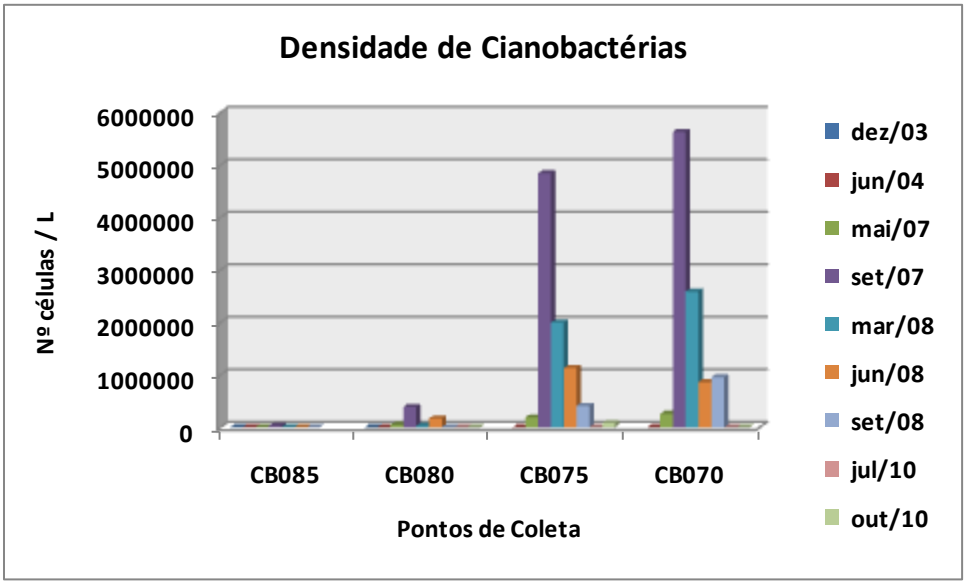

Figura 58 – Resultados da densidade de cianobactérias (nº células/L) nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

Os dados de diversidade de espécies (Figura 59) com a utilização do Índice de Diversidade de Shannon-Weaver, não revelaram um padrão espacialmente marcado, embora o menor valor tenha sido observado próximo à foz do rio, região sob influência de impacto antrópico.

Ainda assim, os resultados observados demonstraram aumento da diversidade na região de maior alteração do ambiente natural. A região do baixo curso do rio é uma região de alto adensamento demográfico, sendo este canalizado e submetido a lançamentos de origem doméstica, além dos originados a partir das atividades comerciais locais. Dessa forma, os resultados encontrados ao longo do curso do rio, estão em acordo com o esperado. Já ao longo do tempo, os dados flutuaram bastante, não revelando uma melhora ou piora nos dados de qualidade de água.

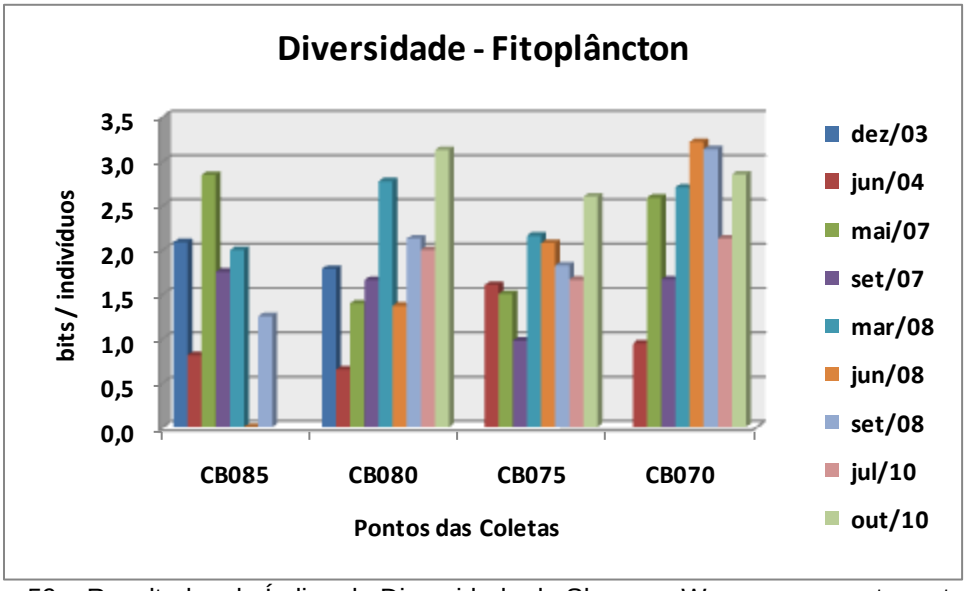

Figura 59 – Resultados do Índice de Diversidade de Shannon-Weaver nas quatro estações monitoradas do rio Cabeça

5.3. Rio Rainha

Abaixo são examinados os parâmetros físicos, químicos e biológicos que são utilizados no cálculo do IQA_{FAL} com a finalidade de tentar avaliar possíveis melhorias destes parâmetros ao longo do tempo. E ainda ao longo da calha do rio.

O oxigênio dissolvido (Figura 60) apresentou redução em direção a jusante. Os valores mais baixos foram registrados em RN310, RN020 e RN010, refletindo as

péssimas condições do braço referente ao Rainha 3 e ao Canal Visconde de Albuquerque, os trechos mais comprometidos da bacia do Rio Rainha, com grande incidência de efluentes de origem orgânica.

Cabe comentar que no ponto RN010, as águas oriundas do trecho a montante perdem energia e, em virtude da comporta no final do canal, assumem uma característica mais lêntica do que lótica, o que contribui para um agravamento de processos de acúmulo de matéria orgânica e consequente consumo de OD. Além disso, as concentrações de OD só se encontraram acima do limite mínimo exigido pela legislação de 5,0 mg/L nos pontos RN050, RN210 e RN040.

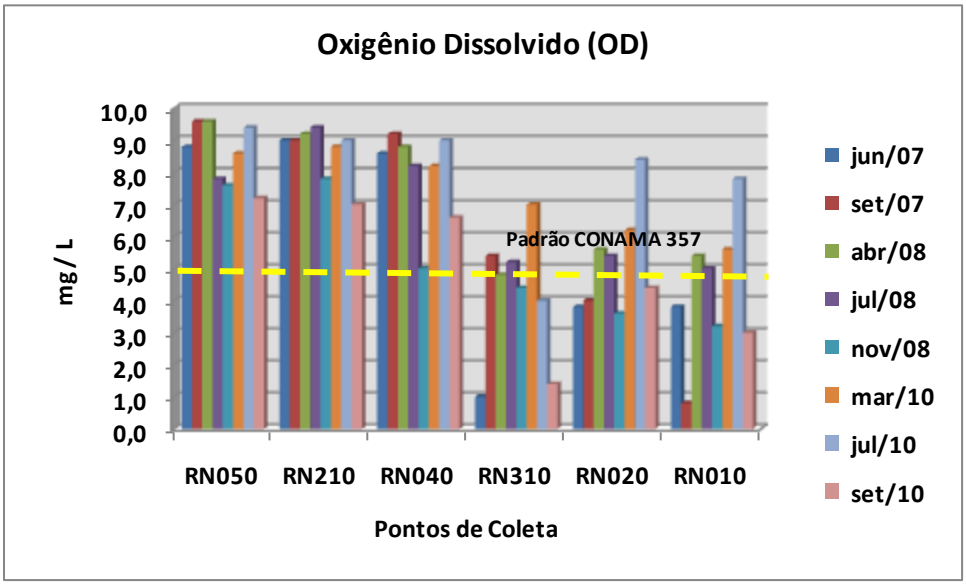

Figura 60 - Resultados de OD (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

Quanto à DBO (Figura 61), os resultados demonstraram variação a partir do trecho médio do rio, sendo possível observar a tendência de aumento desses valores em direção a jusante, principalmente influenciada pela contribuição do segundo tributário do rio Rainha (Rainha 3), ou seja, no ponto de coleta 310, que possui as maiores concentrações de DBO, muito acima do padrão CONAMA 357/2005, com destaque para setembro de 2010 (Tabela 38). Observa-se, também, que as concentrações ao longo do tempo aumentaram bastante.

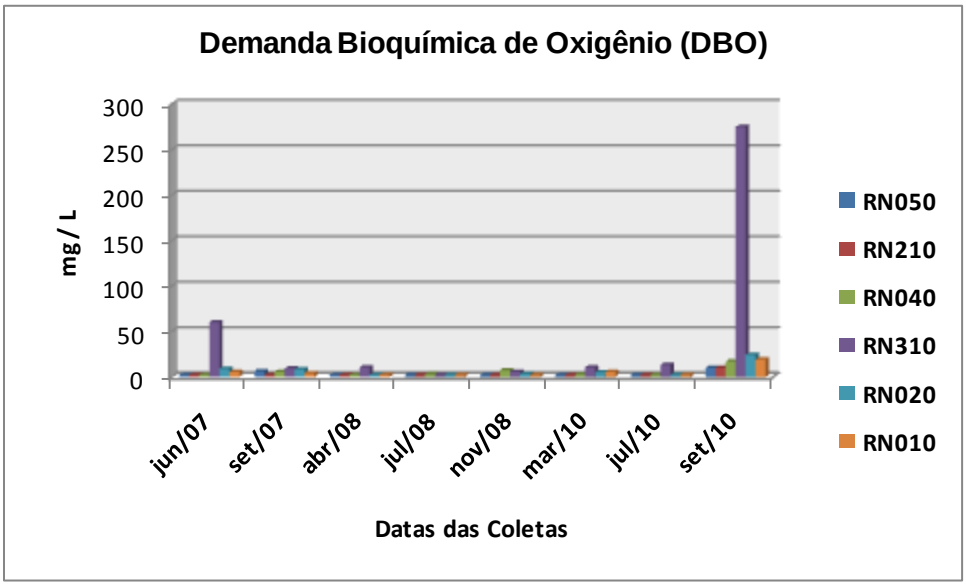

Figura 61 - Resultados de DBO (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

Tabela 38 – Valores da Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L) no ponto de coleta RN310 (rio Rainha)

Datas	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)
Junho/2007	60
Setembro/2007	9,4
Abril/2008	10,5
Julho/2008	2,2
Novembro/2008	5,6
Março/2010	10,4
Julho/2010	13
Setembro/2010	27,5

Tanto os teores de nitrogênio amoniacal total (Figura 62) quanto os de fósforo total (Figura 63) demonstraram um aumento da carga orgânica no sentido das áreas mais baixas em consequência da urbanização destas áreas. Em contrapartida, ao longo do tempo, as concentrações de amônia diminuíram, com exceção dos pontos RN040 e RN310, assim como as de fósforo total também diminuíram. Apesar dos teores de amônia terem permanecido abaixo do padrão CONAMA 357/2005 de 3,7 mg/L, a maioria dos índices de fósforo total ultrapassou este mesmo padrão de 0,05 mg/L, mostrando-se bastante elevados, indicativos de alto grau de enriquecimento da água por origem doméstica.

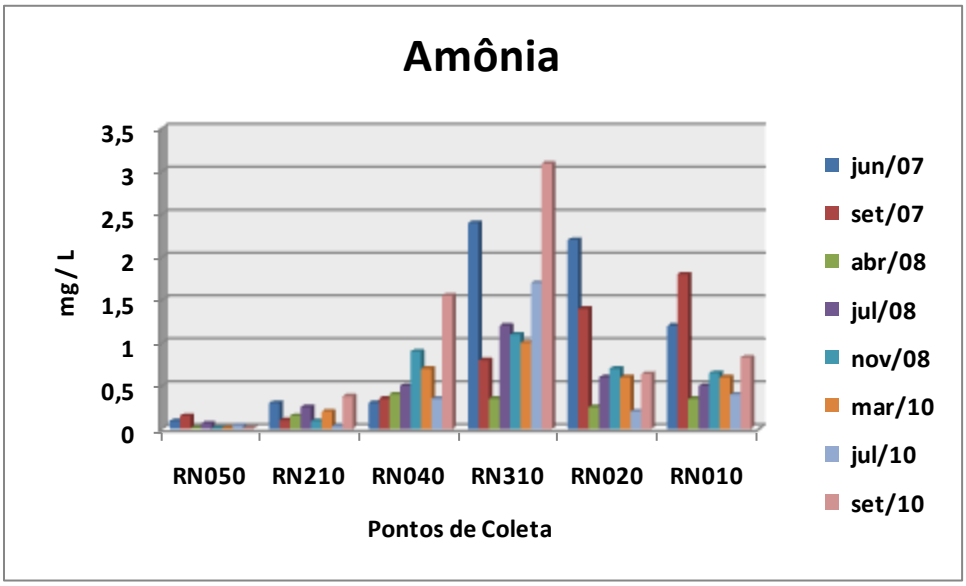

Figura 62 - Resultados de nitrogênio amoniacal total (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

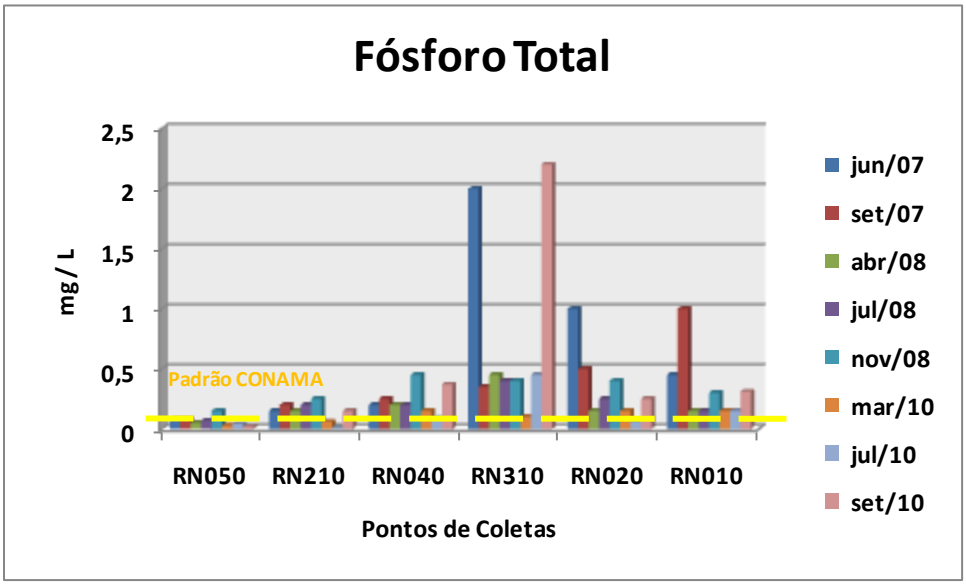

Figura 63 - Resultados de fósforo total (mg/L) nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

Com relação aos índices bacteriológicos, as concentrações de Coliformes Termotolerantes (Figura 64) também apresentaram resultados negativamente expressivos, suficientes para se constatar a contaminação dessas águas por esgoto ao longo do tempo e em todos os pontos monitorados. E, mais uma vez, estas concentrações aumentam muito nos pontos de coleta mais próximos da foz, devido à urbanização destas áreas.

A determinação da concentração dos coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de micro-organismos

patogênicos, responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como, febre tifóide, febre paratifóide, desinteria bacilar e cólera.

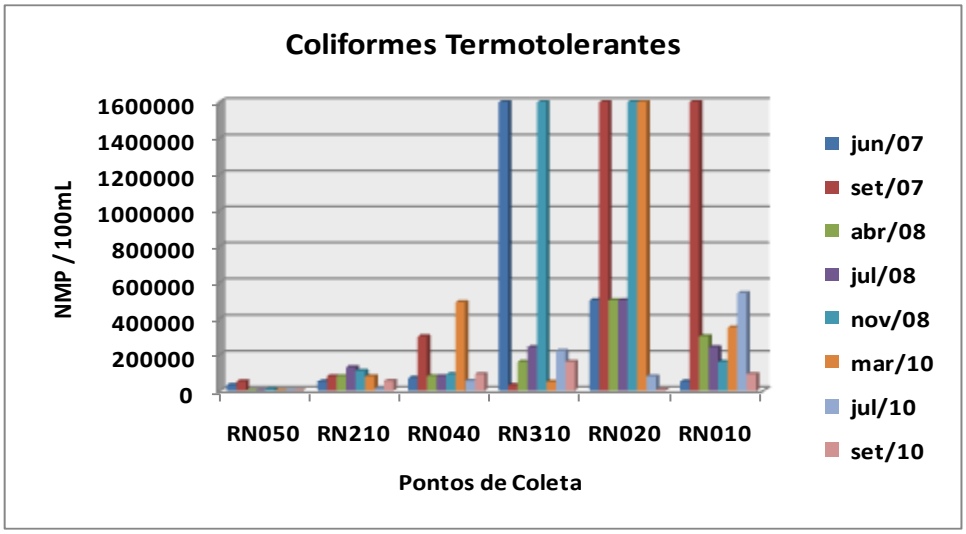

Figura 64 - Resultados de Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL) nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

As cianobactérias ao longo do gradiente longitudinal do rio Rainha se fazem mais presentes nos pontos mais baixos do rio, ou seja, mais próximos à foz, isto pode ser visto como uma indicação de alteração das condições da qualidade da água. Mesmo o curso próximo à nascente já apresenta influência antrópica originada de lançamentos da comunidade da Rocinha, que ocupa as áreas altas da nascente e o alto curso do rio. Entretanto, ao longo do tempo, a sua presença diminuiu, refletindo uma melhora neste indicador da qualidade da água do rio Rainha (Figura 65).

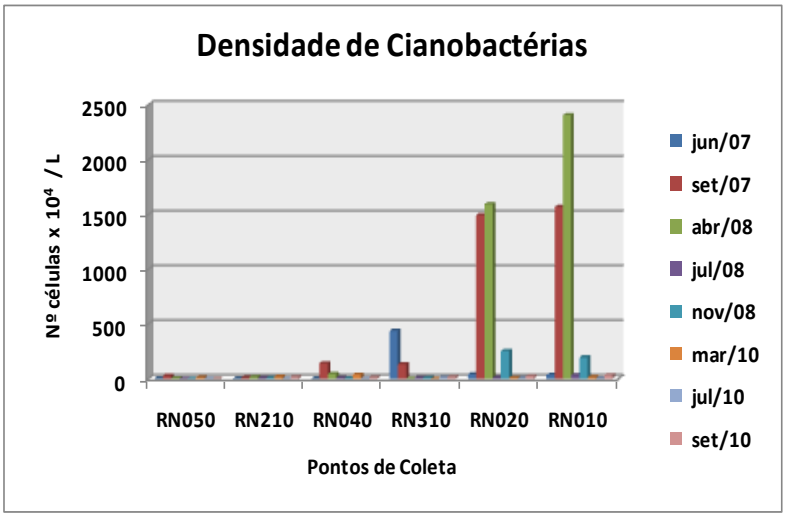

Figura 65 - Resultados da densidade de cianobactérias nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

A diversidade específica (bits/indivíduo) foi avaliada a partir do Índice de Shannon-Weaver e revelou um gradiente ao longo do curso do rio e tributários (Figura 66). Atribui-se tal aumento à diminuição da declividade do leito do rio e, consequentemente, ao aumento do tempo de residência das águas, o que favorece a comunidade fitoplanctônica. A exceção observada no ponto RN010, provavelmente se dá em função da influência marinha, cuja influência promove uma redução de espécies, selecionando as que toleram maior salinidade.

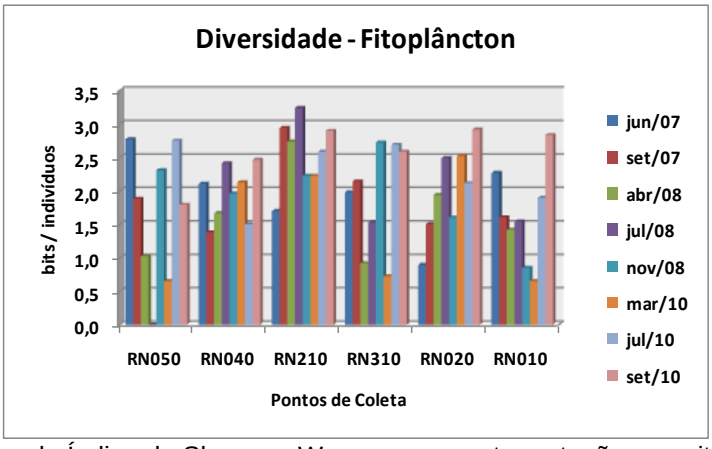

Figura 66 - Resultados do Índice de Shannon-Weaver nas quatro estações monitoradas do rio Rainha

5.4. Considerações finais

Com base nos resultados apresentados, observa-se que os principais problemas encontrados ao longo dos rios estudados, apesar dos progressos alcançados ao longo do Projeto de Revitalização, ainda continuam presentes e são, de modo geral, decorrentes de lançamentos de águas servidas, gerados em parte das suas bacias, e da prática irregular da ocupação das faixas marginais.

Cabe registrar, ainda, que o rio Rainha encontra-se mais degradado em relação ao rio dos Macacos e Cabeça em relação aos aspectos ambientais analisados.

De modo geral, os diagnósticos elaborados pelo INEA/GEAG evidenciam que os rios e canais investigados e monitorados apresentam problemas de ordem sanitária, principalmente nos trechos inferiores para onde são carreadas as contribuições mais significativas através de sub-bacias e das galerias de drenagem pluvial.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Destaca-se, em primeiro lugar, que os resultados obtidos através da aplicação do IQA_{FAL} aos dados da série histórica do INEA (2003 - 2010) para os rios dos Macacos, Cabeça e Rainha coincidem com os registros de especialistas em qualidade de água, em relatórios dessa instituição, acerca das condições físico-químicas e biológicas dos corpos d'água estudados (INEA, 2010).

O fato do IQA_{FAL} ter sido construído a partir de subíndices, que incluem grupos de parâmetros de qualidade de água com significados semelhantes e complementares, ajudou a identificar quais variáveis de qualidade de água estavam sendo mais determinantes no resultado final deste índice. A possibilidade de isolar grupos de algumas dessas variáveis em subíndices, com resultados independentes, descrevendo aspectos diferentes da qualidade da água, permitiu uma melhor análise e compreensão dos resultados obtidos e do raciocínio implícito do modelo.

De um lado, verificou-se que o conjunto dos rios analisados não apresenta condições críticas em termos de poluição orgânica, fato atribuído principalmente à capacidade de autodepuração desses rios. De fato, o subíndice "Oxigênio", formado pelas variáveis OD e DBO, apresentou o seu maior percentual na categoria "BOM", exceto nos trechos finais do rio Rainha (pontos RN310, RN020 e RN010), onde as concentrações de oxigênio foram muito baixas. Estes resultados são compatíveis com os registros do INEA (2010), em que os valores de OD e DBO estão, de modo geral, dentro dos padrões da Classe 2 do CONAMA 357/2005.

De outro lado, percebe-se que, através da análise separada dos seus subíndices, o IQA_{FAL} aponta que o parâmetro "Coliformes Termotolerantes" é o principal responsável pela categorização das águas dos rios como de qualidade "RUIM" e "PÉSSIMA". Registrou-se somente uma exceção na coleta de setembro de 2007 no ponto CB085 (cabeceira do rio cabeça), quando a variável determinante da qualidade "RUIM" e "PÉSSIMA" foram as cianobactérias. Tanto os Coliformes Termotolerantes quanto as cianobactérias são reveladores da poluição oriunda de despejos domésticos. Os Coliformes Termotolerantes, que são bactérias presentes nos tratos intestinais dos humanos, e as cianobactérias, que se proliferam em ambientes enriquecidos artificialmente por matéria orgânica ou nutrientes, como o

fósforo proveniente do uso de detergentes, mostraram-se indicadores sensíveis componentes do IQA_{FAL}.

Esta característica, evidenciada neste trabalho, revela resultados diferentes daqueles obtidos na aplicação do IQA_{FAL} na Bacia do rio Paraíba do Sul; naquela bacia, a única variável que determinou o IQA_{FAL} final eram os Coliformes Termotolerantes (Pessoa, 2010), ao contrário deste estudo, que também conseguiu detectar o parâmetro “cianobactérias” como determinante do IQA_{FAL} final na cabeceira do rio Cabeça.

Comparando-se os resultados do IQA_{FAL} com os do IQA_{CETESB}, observa-se que o IQA_{FAL} é, via de regra, mais sensível na detecção de alterações da qualidade da água, para o conjunto de dados utilizados.

De fato, doze (12) dos quatorzes (14) pontos de coleta dos três rios estudados, apresentaram, sempre, o maior percentual de resultados do IQA_{FAL} em categorias piores (“RUIM” e “PÉSSIMO”), quando comparados às categorias predominantes dos resultados do IQA_{CETESB} (“REGULAR”). As duas exceções ocorreram nos pontos MC085 e CB085 (nas cabeceiras dos rios Macacos e Cabeça, respectivamente), nos quais os resultados do IQA_{FAL} e IQA_{CETESB} apresentaram-se na faixa de valores da categoria “BOM”, mas com percentagens do IQA_{FAL} menores que as do IQA_{CETESB}, reafirmando assim a maior sensibilidade da primeira metodologia.

Este fenômeno, também observado por Pessoa (2010) no seu estudo da Bacia do rio Paraíba do Sul, pode ser explicado pelo denominado “efeito eclipse” de Silva e Jardim (2006): a metodologia utilizada na formulação do IQA_{CETESB}, obtido através de uma média ponderada de valores normalizados de parâmetros de qualidade de água, apesar de incorporar a subjetividade do conhecimento do especialista mediante atribuição de pesos diferenciados aos diversos parâmetros de entrada, não é capaz de evitar o efeito da atenuação da influência de valores muito ruins de um determinado parâmetro, frente ao comportamento equilibrado dos outros.

No desenvolvimento do $IQA_{FAL,}$ pelo INEA, ficou clara a necessidade de uma metodologia que fosse capaz de incorporar a percepção do especialista acerca de alguns parâmetros de qualidade de água; dependendo da faixa em que se encontram, é preciso determinar o resultado do índice de forma preponderante, independente dos valores dos outros parâmetros. Essa questão se justifica pelo fato

de alguns parâmetros, a partir de certos valores, serem determinantes para a avaliação da qualidade da água. Ou seja, não é mais possível deixar que os valores dos outros parâmetros atenuem o resultado final (Pessoa, 2010).

Uma ilustração pertinente deste pressuposto, neste trabalho, foi o parâmetro Coliformes Termotolerantes. Para os especialistas em qualidade de água envolvidos, o resultado do IQA_{FAL} em amostras cujos valores de Coliformes Termotolerantes se encontram acima de 2500 NMP/100ml, devem necessariamente ser baixos, mesmo que os resultados dos outros parâmetros utilizados no índice estejam em faixas de valores consideradas boas. Para esses especialistas, não tem sentido considerar “regular” a qualidade de água com altos níveis de contaminação por essas bactérias.

Neste sentido, pode-se dizer que a metodologia utilizada na modelagem do IQA_{FAL} se mostrou mais adequada para refletir a qualidade da água na série de dados utilizada nesse trabalho. Isso se verifica pelo maior percentual de resultados do IQA_{FAL} na categoria “RUIM” e “PÉSSIMO”, em quase todas as estações de amostragem, ao contrário do IQA_{CETESB}, cuja maioria dos resultados se encontra nas categorias “REGULAR” e “RUIM.

Vale, contudo, ressaltar que ambos os índices testados mostraram-se sensíveis para explicar a diferenciação das estações de coleta ao longo do gradiente longitudinal dos rios estudados. Isto é, os índices IQA_{FAL} e IQA_{CETESB} conseguiram detectar a qualidade superior dos trechos de rios mais próximos às nascentes, quando comparados aos pontos mais próximos à foz. Todavia, é importante relembrar que, embora os dois índices tenham sido capazes de detectar as diferenças espaciais na qualidade da água, os gradientes de variação foram distintos sendo sempre mais acentuados nos resultados do IQA_{FAL}.

Este resultado é totalmente coerente com as condições ambientais da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas, onde os pontos de coleta próximos à foz sofrem com a ocupação de suas margens de forma irregular, com os problemas relacionados à drenagem urbana e com o lançamento ilegal de efluentes domésticos e até comerciais.

Vale ressaltar que, comparando os resultados obtidos com os rios formadores da bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas – rios dos Macacos, Cabeça e Rainha –, este último é o que apresenta a pior qualidade, encontrando-se mais degradado em relação aos demais em todos os aspectos ambientais analisados. Nos rios dos

Macacos e Cabeça, a qualidade da água é considerada melhor porque suas cabeceiras se encontram em áreas protegidas por uma Unidade de Conservação, tendo, portanto, condições mais favoráveis à preservação da qualidade das águas nesse trecho. O contrário é observado no rio Rainha que, por localizar-se numa área muito mais ocupada, desde sua cabeceira até a foz, demonstra maior índice de degradação, que se verifica desde a região próxima à nascente, onde há intensa ocupação urbana, até a Vertente Gávea da Comunidade da Rocinha.

Em suma, a aplicação do IQA_{FAL} em uma bacia hidrográfica primordialmente urbanizada com rios de menor porte e volume do que o rio Paraíba do Sul, a partir do qual o IQA_{FAL} foi construído, também gerou resultados coerentes com os registros históricos disponíveis (INEA, 2010). Da mesma forma, este índice traduz melhor a percepção dos especialistas de qualidade de água do INEA acerca da qualidade real dos rios estudados.

Para análise futura, recomenda-se sobretudo a aplicação deste índice para outros ambientes lóticos, de modo a examinar a sua pertinência para outros rios do estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. A. B.; SCHWARZBOLD, A. **Avaliação sazonal da qualidade das águas do Arroio da Cria Montenegro, RS com aplicação de um índice de qualidade de água (IQA).** Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v.8, n.1, p.81–97. 2003.

ASSIS, J. C. **Água sob medida.** Agroanalysis. v.18, p.83-88. 1998.

AZEVEDO, S. M. F. O. **Toxinas de Cianobactérias:** Causas e conseqüências para a saúde pública. Med on line, Rio de Janeiro. v.01, p.1-16. 1998. Disponível em: < http://www.medonline.com.br/med_ed/med3/microcis.htm > Acesso em: 15 outubro 2010.

BALAS, C. E.; ERGIN, A.; WILLIAMS, A. T.; KOC, L. **Marine litter prediction by artificial intelligence**. Mar. Poll. Bull. v.48, p.449-457. 2004.

BAPTISTA, D. F.; SILVEIRA, M. P.; NESSIMIAN, J. L.; BUSS, D. F.; EGLER, M. **Perspectivas do uso do biomonitoramento para avaliação da saúde ambiental de ecossistemas aquáticos.** In: Workshop "Água, Meio Ambiente e Recursos Hídricos", Rio de Janeiro: Anais... Rio de Janeiro, UNIRIO. 2000.

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social . **Gestão de Recursos Hídricos**. Informes de infra-estrutura, n°5. 1996. Disponível em: www.bndes.gov.br Acesso em: 19 outubro 2010.

BOLLMANN, H. A. **Avaliação da qualidade das águas em bacias hidrográficas urbanas**. In: ANDREOLI, C. V. (Ed.). Mananciais de Abastecimento: planejamento e gestão. Estudo de Caso do Altíssimo Iguaçu. Curitiba: SANEPAR/FINEP. p.269-315. 2003.

BOLLMANN, H. A.; MARQUES, D. M. **Bases para a estruturação de indicadores de qualidade de água**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 5, n.1, p.37-60. 2000

BRANCO, C. W. C. **A comunidade planctônica e a qualidade da água no lago Paranoá, Brasília, DF, Brasil.** Dissertação de mestrado. Área de Ecologia. Universidade de Brasília, Distrito Federal. 334p. 1991

BRASIL. **Política Nacional de Recursos Hídricos.** Lei Federal 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. Brasília, Brasília: Diário Oficial da União, 9 jul. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria 518, de 25 de março de 2004.** Estabelece procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 26 de março de 2004.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA no 357 de 17 de março de 2005.** 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. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 18 de março de 2005.

BUBEL, A. N. M.; CALIJURI, M. C. **Relações hidrológicas na zona hiporrêica em pequenos cursos de água**. In: HENRY, R. (Org.). Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos. São Paulo: RiMa. p.301-312. 2004.

CAIRNS Jr, J.; McCORMICK, P. V.; NIEDERLEHNER, B. R. **A proposed framework for developing indicator of ecosystem health**. Hydrobiologia. v.263, p.1-44. 1993.

CAMPANILLI, M; RICARDO, B. **Almanaque Brasil Socioambiental**. Editora Instituto Socioambiental. 552p. 2007.

CETESB – Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo 2006.** São Paulo: CETESB, 2006.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. 2010.
Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/indice_iap_iqa.asp Acesso em: 25 agosto 2010.

CHAU, K. **A review on integration of artificial intelligence into water quality modelling**. Marine Pollution Bulletin. 52p. 2006.

CHORUS, I.; BARTRAM, J. (Eds.) **Toxic Cyanobacteria in Water:** A Guide to their Public Health Consequences, Monitoring and Management. London. 416p. 1999.

CNUMAD (Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento). **Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: Agenda 21.** Brasília: Senado Federal. 1992.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência. 574p. 1988.

ESTEVES, F. A. **Ecologia das lagoas costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 464p. 1998.

FEEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Apostila de avaliação da qualidade da água**. 90p, Rio de Janeiro, 2001.

FEEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Projeto de Revitalização da Vertente Sul da Serra da Carioca:** Bacia Contribuinte à Lagoa Rodrigo de Freitas - Diagnóstico Ambiental da Sub-bacia do Rio dos Macacos - VOLUME I. Rio de Janeiro, 2004a.

_____ - _____ - Diagnóstico Ambiental da Sub-bacia do Rio Cabeça - VOLUME II. Rio de Janeiro, 2004b.

FEEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Projeto de Revitalização da Vertente Sul da Serra da Carioca:** Bacia Contribuinte à Lagoa Rodrigo de Freitas - Diagnóstico Ambiental da Sub-bacia do Rio Rainha - VOLUME III. Rio de Janeiro, 2006.

FEEMA - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE. **Lagoa Rodrigo de Freitas e Rios Contribuintes:** Diagnóstico de Qualidade de água. Período 2006 a 2008, Rio de Janeiro, 2008.

FERNÁNDEZ, N.; RAMÍRES, A.; SOLANO, F. **Physico-Chemical Water Quality Indices -** A Comparative Review. Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas. Universidad de Panplona. Bucaramanga, Colombia, 2004. v.2, n.1. p.19-30.

HAASE, J.; KRIEGER, J. A.; POSSOLI, S. **Estudo da viabilidade do uso da técnica fatorial como um instrumento na interpretação de qualidade das águas da bacia hidrográfica do Guaiba, RS, Brasil.** Ciência e Cultura. v.41, p.576-582. 1989.

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. **Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA).** Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Estado do Meio 84 Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais - SEMAD. Unidade de Coordenação Estadual - UCEMG / PNMA II. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II. Subcomponente Monitoramento da Qualidade da Água. Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA), jun. 2005.

INEA – INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Projeto de revitalização da vertente sul da Serra da Carioca:** Sub-bacia da Lagoa Rodrigo de Freitas. Relatório de Acompanhamento do Projeto Consolidação dos Dados de Qualidade de Água - 2003 a 2010. Rio de Janeiro, 2010.

JONNALAGADDA, S. B.; MHERE, G. Water Quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe. Water Research. v.35, n.10, p.2371-2376. 2001.

KAIPPERT, E. **Metodologia para estudo da ressuspensão de sedimentos na Lagoa Rodrigo de Freitas**. 66f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Rio de Janeiro, 2004.

LEE, H. K.; OH, K. D.; PARK, D. H.; JUNG, J. H.; Yoon, S. J. **Fuzzy expert system to determine stream water quality classification from ecological information**. Water Sci. Technol. v.36, p.199-206. 1997.

LERMONTOV, A. **Novo Índice de Qualidade das Águas com uso da Lógica e Inferência Nebulosa**. Tese (Doutorado em Ciências) – UFRJ, EQ, Tecnologia dos Processos Químicos e Bioquímicos, 2009.

LIMA, W. P. **Relações hidrológicas em matas ciliares**. In: HENRY,R. (Org.). Ecótonos nas interfaces dos ecossistemas aquáticos. São Paulo: RiMa. p.293-300. 2003

GASTALDINI, M. C. C.; SOUZA, M. D. S. **Diagnóstico do Reservatório do Vacaí-Mirim através de índices de qualidade de água.** In: Seminário sobre qualidade de águas continentais no Mercosul. Porto Alegre: **Anais...** Porto Alegre. p.86-90. 1994.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: IBGE, 1978.

MEYBECK, M.; KIMSTACH, V.; HELMER, R. **Strategies for water quality assessment**. In CHAPMAN, D. (ed.). Water Quality assessment: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring. Cambridge: UNESCO/WHO/UNEP. 585p. 1992.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PROGRAMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – PNMA II. **Gestão Ambiental e Monitoramento da Qualidade de Água**, 2001a

_____-_____. **Índices e Indicadores de Qualidade da Água –** Revisão de Literatura. 2001b

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana.** São Paulo: Revista Saúde Pública. v.36, n.3, p.370-374. 2002.

MUÑOZ, H. R. (Org.). **Interfaces da Gestão de recursos Hídricos:** Desafios da Lei de Águas de 1997. 2ed. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos. 421p. 2000.

NASCIMENTO, W. M.; VILLAÇA, M. G. Bacias Hidrográficas: Planejamento Gerenciamento. Mato Grosso do Sul: Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros – Seção Três Lagoas. Três Lagoas, n.7, ano 5. 2008.

NSF – *WQI – Water Quality Index*. National Sanitation Foundation International. 2007. Disponível em: <http://www.nsf.org> Acesso em: 19 agosto 2010.

ONU. Organização das Nações Unidas**. World Water Development Report**: water for people, water for life. 2002.
Disponível em: <http.//www.unesco.org/water/wwap/wwdr/index.shtml.2003>. Acesso em: 22 janeiro 2011.

PADISÁK, J.; BORICS, G.; GRIGORZKY, I.; CZKI-PINTÉR, E. S. **Use of phytoplankton assemblages for monitoring ecological status of lakes within the Water Framework Directive:** the assemblage index. Hydrobiologia. v.553, p.1-14. 2006.

PERRY, J.; VANDERKLEIN, E. **Water quality**: management of a natural resource. USA: Blackwell Science. 639p. 1996.

PESSOA, M. A. R. **IQAFAL - Índice de Qualidade de Água para Ambiente Lótico**. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Computação – Área de Concentração: Geomática). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PINEDA, M. D. S.; SCHÄFER, A. **Adequação de critérios e métodos de avaliação de águas superficiais baseada no estudo ecológico do rio Gravataí, Rio Grande do Sul, Brasil.** Ciência e Cultura, v.39, n.2, p.198-255. 1987.

PORTO, M. F. A.; BRANCO, S. M.; LUCA, S. J. de. **Caracterização da qualidade da água**. In: PORTO, R. L. L. (Org.). Hidrologia ambiental. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo/Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p.27-66. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 3). 1991.

REBOUÇAS, A. C. **Água doce no mundo e no Brasil.** In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados, USP. p.1-37. 2002.

REYNOLDS, C. S. **Vegetation processes in the pelagic:** a model for ecosystem theory. Germany: Ecology Institute. 371p. 1997.

REYNOLDS, C. S. **The ecology of phytoplankton**. New York: Cambridge University Press. 535p. 2006.

RIGUETTI, A. L. **Avaliação espaço-temporal do grau de trofia em lagoas costeiras da cidade do Rio de Janeiro: Aplicação de Índices de Estado Trófico.** 2009. 116f. Dissertação (Mestrado em Química – Área de Concentração: Química Ambiental). Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

SANTOS, I. dos; FILL, H. D.; SUGAI, M. R. V. B; BUBA, H.; KISHI, R. T.; LAUTERT, L. F. **Hidrometria Aplicada**. LACTEC- Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Paraná: Curitiba. 372p. 2001.

SILVA, G. S.; JARDIM, W. F. **Um novo índice de qualidade das águas para proteção da vida aquática aplicado ao rio Atibaia, região de Campinas/Paulínia – SP**. Quim. Nova. v.29, n.4, p.689-694. 2006.

SILVERT, W. **Ecological impact classification with fuzzy sets**. Ecological Modeling. v.96, p.1–10. 1997.

_____ . **Fuzzy indices of environmental conditions**. Ecological Modeling. v.130, p.111-119. 2000.

SOARES, P. F. **Projeto e avaliação de desempenho de redes de monitoramento de qualidade da água utilizando o conceito de entropia.** São Paulo: 242p. Tese

(Doutorado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. 2001.

STRIEDER, M. N.; RONCHI, L. H.; STENERT, C.; SCHERER, R. T.; NEISS, U. G. **Medidas biológicas e índices de qualidade da água de uma microbacia com poluição urbana e de curtumes no sul do Brasil.** Acta Biologica Leopondensia, v.28, n.1, p.17-24. 2006.

TELLES, D. A. **Água na agricultura e pecuária**. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. Uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados, USP. p.305-337. 2002.

TOLEDO Jr., A. P.; TALARICO, N.; CHINEZ, S. J.; AGUDO, E. G. **A Aplicação de Modelos Simplificados para a Avaliação do Processo da Eutrofização em Lagos e Reservatórios Tropicais**; Anais do XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS, Santiago do Chile. 1984.

TOLEDO, L. G. de; NICOLELLA, G. **Índice de Qualidade de Água em Microbacia sob Uso Agrícola e Urbano**. São Paulo: Scientia Agricola. v.59, n.1, p.181-186. 2002.

TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia**: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4). 1997.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEITO, O. M. **Gestão da água no Brasil.** Brasília: UNESCO. 192 p. 2001.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados, USP. p.473-506. 2002.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI**: enfrentando a escassez. São Carlos: RiMa, IIE. 246p. 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Editora do Depto de Eng. Sanitária UFMG. 243p. 1995.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** DESA-UFMG. 1996

WETZEL, R. G. **Limnologia.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian. 919p. 1993.

WORKING WITH THE EARTH. 2001. Disponível em: <www.bioinformatics.vg/books/in/Environmental_Science_With_Infotrac_working_With_the_Earth/0534424082.html>. Acesso em: 15 janeiro 2011.

WREGE, M., **A ética da água.** InformANDES. v. 96, n.12. 2000.

ZADEH, L. A. **Fuzzy Sets, Information and Control.** n. 8, 15p. 1965.