



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE - UERN
FACULDADE DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - FANAT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS NATURAIS - PPGCN
MESTRADO ACADEMICO EM CIÊNCIAS NATURAIS - MCN**



ALRIBERTO GERMANO DA SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DO
CARMO**

**MOSSORÓ
2013**

ALRIBERTO GERMANO DA SILVA

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO DO
CARMO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Recursos Naturais

Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Souza

MOSSORÓ
2013

**Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.**

Silva, Alriberto Germano da.

Estudo da influência antrópica na qualidade da água do Rio do Carmo. /
Alriberto Germano da Silva. – Mossoró, RN, 2013.

100 f.

Orientador(a): Prof. Dr. Luiz Di Souza

Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais). Universidade do
Estado do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em
Ciências Naturais

1. Qualidade - Água - Dissertação. 2. Agrotóxicos - Dissertação. 3.
Rio do Carmo - Dissertação. I. Souza, Luiz Di. II. Universidade do Estado
do Rio Grande do Norte. III. Título.

UERN/BC

CDD 553.7

ALRIBERTO GERMANO DA SILVA

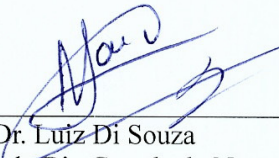
**ESTUDO DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA QUALIDADE DA ÁGUA DO
RIO DO CARMO – RN**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre. Área de concentração: Recursos Naturais

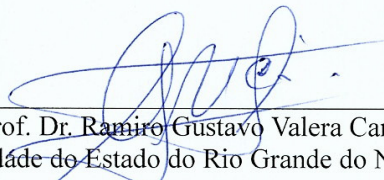
Dissertação Aprovada em 21/12/2012



Prof.^a Dr. Solange Aparecida Goularte Dombroski
Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA



Prof. Dr. Luiz Di Souza
Universidade Estadual do Rio Grande do Norte - UERN



Prof. Dr. Ramiro Gustavo Valera Camacho
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN

Primeiramente a Deus, por se fazer presente nas minhas viagens e nos momentos felizes e difíceis. Aos meus pais (José Germano e Maria Helena), que apesar de não dominarem o conhecimento científico, apoiaram-me e apoiam minha busca por conhecimento. A Etinaria Vieira (minha esposa) e Luigi Henrique (meu filho), pelo incentivo, fé, paciência e compreensão pelos dias e ou momentos que tive que ausentar-me do lar em busca de nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi resultado da união de muitas pessoas que acreditaram na minha capacidade e encorajaram-me para que pudesse seguir em frente, mesmo sabendo que a caminhada não seria fácil. São eles a que dedico meus agradecimentos:

À Deus, pois sem sua companhia não teria força para acreditar e lutar para superar os desafios das viagens, por proteger minha família quando viajava, por se fazer presente nos momentos mais difíceis.

À Luiz Di Souza, Professor e grande amigo, pela sua confiança em orientar-me mesmo sabendo da dificuldades imposto pela distância. Pela sua paciência em responder a meus e-mails, por ser fazer presente em todos os momentos, coletas e análises e por disponibilizar o laboratório que gerencia.

A Etinaria Vieira e Luigi Henrique, por compreenderem e por incentivar a não fraquejar nos momentos difíceis.

À José Germano, Maria Helena, Maria do Ceú, Conceição, Ana Paula, Paulo, Jose Roberto e Adalberto.

A André Jailson e a Leonardo Gomes, bem como os demais colegas de minha turma por estarem presente nos momentos difíceis e felizes, bem como nos momentos que precisei de suas ajudas.

Aos técnicos de biologia Kélia Duarte e Fabio, por ajudarem-me com as análises microbiológicas.

A Suelly de Souza, por disponibilizar o Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA).

A técnica Williane e a Crislania e demais bolsitas pela grande ajuda nas análises.

Aos bolsitas do laboratório do Laboratório de Catalise, Ambiente e Materiais (LACAM), pelas realização das análises.

Ao IFRN Campus Pau dos Ferros.

A Antonia Francimar e Amélia Cristina (Diretores do IFRN *Campus* Pau dos Ferros) por liberara-me e incentivar-me a fazer este mestrado.

A terra tem todo tempo do
mundo e nós não.

(Oren Lyons)

RESUMO

Informações sobre a qualidade da água superficial, bem como os possíveis fatores antrópicos que estão afetando essa qualidade são bastante relevantes nos dias atuais. Mesmo estando um pouco distante dos grandes centros urbanos, o Rio do Carmo, localizado na região Oeste do estado do Rio Grande do Norte, não está imune aos impactos das ações humanas. Ao longo do seu curso são desenvolvidas diversas atividades como aquicultura, salineira, petrolífera e agricultura, como o cultivo do melão, importante cultura do Brasil na atualidade e uma das mais importantes atividades agrícolas de Mossoró e região, além da existência de algumas cidades e diversos povoados. Diante do exposto, torna-se evidente a importância de investigar quais os impactos que estas fontes antrópicas geram na qualidade da água do Rio do Carmo, incluindo os danos causados pelo do pesticida imidacloprido. Este trabalho teve como objetivo investigar a influência antrópica nas propriedades físicas, químicas e microbiológicas da água e dos sedimentos deste rio, bem como a presença de resíduos do imidacloprido. Para tal, foram coletadas amostras de água e sedimentos em quatro pontos do Rio do Carmo localizados no seu curso a partir da sua parte perenizada, ou seja, da barragem de Umari. Em todos os pontos foram determinadas as propriedades necessárias para o cálculo dos índices de qualidade (IQA e IET) e determinado a concentração de resíduos do imidacloprido na água e nos sedimentos. Os resultados indicam que a qualidade da água ainda é boa no trecho analisado, mas a mesma diminui no percurso na direção da foz e já apresenta alguns parâmetros como a presença de coliformes e a condutividade elétrica com valores altos e fora dos padrões recomendados pela Resolução 357/2005 do CONAMA em todos os pontos. Os parâmetros oxigênio dissolvido e demanda bioquímica de oxigênio tiveram alguns resultados fora dos limites propostos pela Resolução 357/2005 do CONAMA, em função da espacialidade e sazonalidade. Todos os resultados são fortemente influenciados pela espacialidade e pela sazonalidade típica da região. As concentrações do imidacloprido encontradas na água e nos sedimentos variaram de 0,6 à 0,8 ppm na água e de 2,3 à 16,6 ppm no sedimento, indicando que este inseticida pode estar impactando a biodiversidade da região. Desta forma constata-se a necessidade de ações e projetos que visem mitigar as atividades que estão poluindo o Rio do Carmo, principalmente próximo a cidade de Upanema e nas atividades de fruticultura intensiva que utilizam fortemente inseticidas.

PALAVRAS – CHAVE: Rio do Carmo. Qualidade da água. Melão. Agrotóxicos.

ABSTRACT

Information on the quality of surface water, as well as the possible anthropogenic factors that are affecting the quality is very relevant today. Even being a little distant from large urban centers, the Carmo River, located in the western region of the state of Rio Grande do Norte, is not immune to the impacts of human actions. Along its course are developed several activities such as aquaculture, Salineira, oil and agriculture, as the cultivation of melons, important crop in Brazil today and one of the most important agricultural activities and Mossoró region, besides the existence of some cities and many villages. Given the above, it is evident the importance of investigating the impacts that these anthropogenic sources generate the water quality of the Rio do Carmo, including damage caused by the use of imidacloprido, insecticide used to combat white fly, a major pest this culture. This study aimed to investigate the anthropogenic influence on the physical, chemical and microbiological characteristics of water and sediment of the river, as well as the presence of residues of imidacloprido. To this end, we collected samples of water and sediments at four points in the Carmo River located in its course from its part with constant flow, in other words since dam Umari. At all points were determined the properties necessary for calculating the quality index (IQA and IET) and determined the concentration of residues of imidacloprido in water and sediments. The results indicate that water quality is still good in the region analyzed, but it decreases in the path toward the estuary and already includes some parameters such as the presence of coliforms and electrical conductivity with high and outside the recommended levels at all points. Other parameters show changes with values above those permitted by legislation in some points of agreement coma spatiality and seasonality analysis. All results are strongly influenced by space and the typical seasonality of the region. Imidacloprido values found in water and sediments are very high and indicate that this insecticide may be impacting the region's biodiversity. Thus it appears the need for actions and projects aimed at alleviating the activities that are polluting the Carmo River, especially near the city of Upanema and activities that use of intensive fruit growing strongly insecticides.

KEY - WORDS: Carmo River. Water Quality. Melon. Pesticides.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacia hidrográfica do Rio do Carmo	26
Figura 2 - Formula estrutural do imidacloprido.	30
Figura 3 - Pontos de coleta	33
Figura 4 - Montante da barragem de Umarí (ponto um), Upanema (RN), 2012.....	34
Figura 5 - Presença de crustáceos no ponto Montante da Barragem (faixa preta no chão), Upanema (RN), 2012.....	35
Figura 6 - Jusante da cidade de Upanema (ponto dois), Upanema (RN), 2012.	36
Figura 7 - Resíduos das atividades de lazer no ponto JU, representado pela presença de lixo no local (papel alumínio, restos de carvão e embalagens).	36
Figura 8 – Ponto localizado à uma Fazenda de melão (ponto três), Mossoró (RN), 2012.....	37
Figura 9 – Ponto localizado à Jusante da fazenda de melão (ponto quatro), Mossoró (RN), 2012.	38
Figura 10 - Ponto de captação de água no ponto JF (acesso vista no canto superior esquerdo da imagem).	38
Figura 11 - Restos de animais no ponto Jusante da Fazenda (ossos), Mossoró (RN), 2012...39	
Figura 12 - Restos de lixo (garrafas pet) e de plantas halófitas no ponto Jusante da Fazenda, Mossoró (RN), 2012.	39
Figura 13 - Draga coletora utilizada na coleta dos sedimentos	41
Figura 14 - Cromatograma do padrão imidacloprido, utilizado no procedimento analítico. ...	46
Figura 15 - Espectro de uma solução padrão de 20 ppm de imidacloprido.	47
Figura 16 - Espectro da variação da absorbância em função da concentração.	48
Figura 17 - Curva de calibração em 212 nm.	49
Figura 18 - Curva de calibração em 275 nm.	50
Figura 19 - Espectros da água deionizada, ponto JU 2ª coleta e ponto JU 2ª coleta após adição de solução padrão de imidacloprido de 4,6 ppm.	51
Figura 20 - Local de dessedentação de animais, destacando a presença de fezes, Upanema (RN), 2012.	53
Figura 21 - Presença de atividades humanas no ponto Montante da Barragem, Upanema (RN), 2012.	54
Figura 22 - IQA para os quatro pontos em todas as coletas	58
Figura 23 – Acumulado das precipitações pluviométricas dos anos 2011 e 2012 para estação meteorológica de Mossoró.....	59

Figura 24 - Resultados do IET para os quatro pontos e as três coletas	64
Figura 25 - Variação da areia fina, em função da época de coleta.	74
Figura 26 - Concentração do imidacloprido na água nas quatro coletas.....	78
Figura 27 - Concentração de imidacloprido nos sedimentos nas quatro coletas.....	79
Figura 28 - Variação da concentração de imidacloprido no sedimento em função da época de coleta.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Órgãos responsáveis pelas maiores redes de monitoramento da qualidade d'água	20
Tabela 2 - Qualidade da água de acordo com o valor do IQA	23
Tabela 3 - Grau de trofia em função do resultado do IET	25
Tabela 4 - Principais parâmetros climatológicos da Bacia do Rio Carmo.	27
Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do princípio ativo do imidacloprido.....	30
Tabela 6 - Localização dos pontos de coleta, suas coordenadas em UTM e função do ponto no estudo.....	34
Tabela 7 - Parâmetros, coletores, condições de preservação e tempos de armazenamento usados para coleta e análise das amostras.	40
Tabela 8 - Identificação e objetivo das amostras de água e sedimento coletadas.	41
Tabela 9 - Dados utilizados na confirmação da absorvância do imidacloprido em 275 nm. ..	50
Tabela 10 - Resultados obtidos o ponto MB.	54
Tabela 11 - Resultados obtidos o ponto JU	55
Tabela 12 - Resultados obtidos para o ponto AF.....	55
Tabela 13 - Resultados obtidos para o ponto JF.....	56
Tabela 14 – Perfil granulométrico dos sedimentos.....	74
Tabela 15 - Culturas e praga onde é autorizado o uso de produtos formulados com imidacloprido.....	76
Tabela 16 - Método de GOSS para avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais pelo sedimento	77
Tabela 17 -Método de GOSS para avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais pelo sedimento	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
ANA	Agência Nacional de Águas
BHRC	Bacia Hidrográfica do Rio do Carmo
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CCME	Canadian Water Quality Guidelines
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CF	Coliformers Fecais
CGEE	Centro de Gestão e Estudos Estratégicos
Cl <i>a</i>	Clorofila <i>a</i>
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente - Pernambuco
DBO _{5, 20°C}	Demanda Bioquímica de Oxigênio incubada por 5 dias à 20 °C
DOU	Diário Oficial da União
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental - Rio Grande do Sul
IA	Ingrediente Ativo
IAP	Instituto das Águas do Paraná
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente - Espírito Santo
IET	Índice de Estado Trófico
IETm	Índice de Estado Trófico Modificado
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas – Minas Gerais
IGARN	Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte
IMA	Instituto do Meio Ambiente – Alagoas
IMASUL	Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul
INEA	Instituto Estadual do Ambiente - Rio de Janeiro

INEMA	Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Bahia
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IQA – NSF	Índice de Qualidade da Água – National Sanitation Foundation
IQA	Índice de Qualidade da Água
LANCAM	Laboratório de Catálise, Ambiente e Materiais
LEQA	Laboratório de Eletroquímica e Química Analítica
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MS	Ministério da Saúde
N-NO ₃	Nitrogênio nitrato
NSF	National Sanitation Foundation
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PT	Fósforo Total
RC	Rio do Carmo
S	Transparência
SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins
SDT	Sólidos Totais
SEMA	Secretaria de Meio Ambiente - Mato Grosso
SEMARH	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos - Goiás
SEMARH	Secretária Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SERHID	Secretária de Estado dos Recursos Hídricos
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio ambiente - Paraíba
T	Temperatura
TSI	Trophic State Index
Tur	Turbidez
UERN	Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
UNFPA	Fundo de População das Nações Unidas
US EPA	United States Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	PANORAMA GERAL SOBRE A ÁGUA NO PLANETA	17
2.2	PROGRAMAS DE MONITORAMENTOS	18
2.2.1	Panorama brasileiro	19
2.3	QUALIDADE DA ÁGUA	21
2.3.1	Índice de Qualidade da Água – National Sanitation Foundation (IQA - NSF)	22
2.3.2	Índice de Estado Trófico (IET)	24
2.4	CARACTERIZANDO A ÁREA DE ESTUDO: BACIA RIO DO CARMO (BHRC).....	25
2.4.1	Melão	28
2.4.2	Imidacloprido	29
3	OBJETIVOS	32
3.1	GERAL	32
3.2	ESPECÍFICOS	32
4	METODOLOGIAS	33
4.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	33
4.2	COLETAS DAS AMOSTRAS	40
4.3	METODOLOGIAS USADAS NAS ANÁLISES	42
4.3.1	<i>In situ</i>	42
4.3.2	Laboratórias.....	42
4.3.3	Parâmetros microbiológicos e hidrobiológicos	44
4.3.4	Análise Granulométrica	45
4.3.5	Parâmetro orgânico – Imidacloprido	45
4.3.5.1	<i>Curva de Calibração</i>	45
4.3.5.2	<i>Tratamentos das amostras</i>	50
4.3.6	Índices de qualidade da água	52
4.3.6.1	<i>IQA-NSF</i>	52
4.3.6.2	<i>IET</i>	52
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
5.1	ASPECTOS LEGAIS.....	52
5.2	ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	56

5.2.1	<i>IQA - NSF</i>	56
5.2.1.1	<i>Influência da sazonalidade no IQA-NSF</i>	58
5.2.1.2	<i>Efeito da espacialidade no IQA – NSF</i>	60
5.2.2	IET	62
5.2.2.1	<i>Efeito da sazonalidade no índice de estado trófico – IET</i>	64
5.2.2.2	<i>Efeito da espacialidade no índice de estado trófico – IET</i>	65
5.3	PARÂMETROS INDIVIDUAIS: ASPECTOS LEGAIS	65
5.3.1	OD, DBO_(20°C, 5), e DQO	65
5.3.2	Turbidez	67
5.3.3	Sólidos Dissolvidos Totais	68
5.3.4	Condutividade	68
5.3.5	pH	69
5.3.6	Temperatura	69
5.3.7	Coliformes totais e <i>E.Coli</i>	70
5.3.8	Clorofila “a”	71
5.3.9	Fósforo total	71
5.3.10	Nitrato, nitrito, amônia e nitrogênio total	72
5.3.11	Cloreto	72
5.3.12	Cálcio, magnésio e dureza total	73
5.3.13	Perfil do sedimento	73
5.4	PARÂMETRO ORGÂNICO: IMIDACLOPRIDO	74
5.4.1	Resultados das análises	76
6	CONCLUSÕES	82
	REFERENCIAS	83
	APÊNDICE A	92

1 INTRODUÇÃO

É de nosso cotidiano escutar as denominações planeta água, e ou azul. Essas expressões apenas enfatizam uma afirmação sobre a constituição da superfície terrestre. Segundo Miller (2008), a superfície terrestre é formada por aproximadamente 71% de água. Esta afirmação a princípio até serve de consolo para a população mundial que cresce a cada dia e convive com a instabilidade de abastecimento de água potável. Ainda segundo este mesmo autor, deste percentual, apenas $0,08 \times 10^{-7}$ está acessível aos seres humanos através de rios e lagos. Esta pequena fração de quantidade d'água superficial disponível (quando comparado ao total de 71%), torna-se ainda menor quando trata-se a mesma em termos de potabilidade.

As águas superficiais são, constantemente, renovadas e purificadas através de seu ciclo hidrológico e do seu movimento constante nos rios e lagos, processos estes, que acabam diluindo e dispersando poluentes e contaminantes. Entretanto, este poder de depuração, está cada vez mais ameaçado em virtude da grande quantidade de carga poluidora que é lançada, constantemente, nestas fontes, provenientes principalmente de atividades agropecuárias intensivas, mineração, centros urbanos e industriais. Dentre estas fontes, as atividades agropecuárias e os efluentes urbanos e industriais destacam-se como os principais responsáveis pelo decréscimo da qualidade dos mananciais de águas superficiais. Juntos provocam um efeito deletério, através do desmatamento das matas ciliares; assoreamento dos rios; aumento de turbidez, na concentração de nutrientes, de organismos patogênicos, de metais e agroquímicos, alteração do equilíbrio iônico d'água; e o incremento no consumo de oxigênio dissolvido.

Uma forma eficiente e importante de investigar a influência antrópica nos recursos hídricos superficiais é utilizando-se dos programas de monitoramento ambiental. Estes programas são ferramentas utilizadas para conhecer o estado da qualidade da água, em função de características físicas, químicas e microbiológicas. Outro mecanismo muito utilizado como ferramenta de informação sobre qualidade d'água são os índices de qualidade da água (IQAs). Os IQAs são a junção de indicadores individuais pré-estabelecidos de qualidade da água em um número adimensional que varia de 0 a 100. Com base nessas informações é possível propor ações mitigadoras de controle a poluição, de gerenciamento ambiental, de informação a sociedade civil e aos dirigentes políticos. Segundo Guazzelli (1999 apud FERREIRA, IDE (2001), um IQA pode ser utilizado para diversos fins como, por exemplo, informar sobre a qualidade da água ao público e aos executivos da alta administração; acompanhar a qualidade

dos recursos hídricos superficiais; identificar problemas de qualidade da água que demandem estudos especiais em trechos de rios; avaliar o desempenho de programas de controle da poluição e fiscalização; servir de instrumentos para a gestão dos recursos hídricos. Dentre os principais IQAs utilizados atualmente, destaca-se o IQA desenvolvido pela National Sanitation Foundation (FSN), que para o Brasil foi adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB).

Assim como em boa parte do Brasil, em que as informações de qualidade d'água e os programas monitoramento dos rios são incipientes, para a Bacia Hidrográfica do Rio do Carmo (BHRC) esta realidade não é diferente. A BHRC localizada-se na região Oeste do Estado do Rio Grande do Norte e destacando-se como o principal tributário da Bacia do Rio Apodi/Mossoró.

Segundo a classificação Thornthwaite, a BHRC está inserida em uma região de clima semi-árido, com grande deficiência hídrica de julho a dezembro, megatérmico, apresentando pequena variação da evapotranspiração potencial, ao longo do ano (DdA'a') (RIO GRANDE DO NORTE, 2007). Ainda segundo este mesmo autor, o Rio do Carmo (RC) tem passado e vem passando, desde sua nascente até seu encontro com o Rio Apodi/Mossoró, por problemas de poluição de suas águas, desmatamento da mata ciliar e assoreamento, conforme constatado na viagem de reconhecimento da área de estudo. As origens destes problemas podem está ligada às fontes pontuais e difusas de poluição como cidades (Upanema) e comunidades (Suçuarana, Sítio Carmo, Melancias e Poço Verde), agricultura de subsistência e intensiva (fruticultura irrigada, com destaque para a cultura do melão), exploração de petróleo, aquicultura (piscicultura e carcinicultura) e atividade salineira em sua região estuarina.

Com base nestas informações e considerando a importância ambiental e econômica da BHRC para a região, este trabalho teve como objetivo avaliar os impactos das atividades humanas na qualidade da água do Rio do Carmo, destacando a importância de observar os efeitos da fruticultura irrigada, (através da avaliação de resíduos do inseticida imidacloprido na água e no sedimento) dos centros urbanos e povoados via determinação das suas características físico-químicas e comparação destas com a legislação pertinente, bem como via cálculos do Índice de Qualidade da Água (IQA) e do Índice de Estado Trófico (IET) para facilitar o entendimento e divulgação do resultado para a sociedade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PANORAMA GERAL SOBRE A ÁGUA NO PLANETA

A superfície terrestre é composta por aproximadamente 71% de água, daí vem sua designação de planeta azul ou planeta água. Desta porcentagem, apenas 2,6% é constituído por água doce e somente $1,4 \times 10^{-2}\%$ está acessível ao uso humano através de lagos ($7 \times 10^{-3}\%$), rios ($1 \times 10^{-4}\%$), biota ($1 \times 10^{-4}\%$), umidade do solo ($5 \times 10^{-3}\%$) e vapor de água atmosférico ($1 \times 10^{-3}\%$) (MILLER, 2008). Segundo Martins *et al.* (2009a), a água é um bem natural que já foi considerado inesgotável, porém hoje, é escassa em várias regiões do mundo e fator limitante para o desenvolvimento. Apesar de estar presente em grande quantidade no planeta e ser protegida por lei, em alguns países, o problema se agrava quando se trata da sua qualidade para consumo humano.

As águas superficiais são constantemente renovadas e purificadas através de seu ciclo hidrológico, bem como do seu movimento constante nos rios e lagos que acabam diluindo e dispersando poluentes e contaminantes. Entretanto, este efeito de depuração, está cada vez mais ameaçado, em virtude da grande quantidade de carga poluidora que é lançada, constantemente, nestas fontes, provenientes principalmente de atividades agrícolas intensivas, mineração, centros urbanos e industriais. Neste cenário as atividades agropecuárias e os efluentes urbanos (esgotos domésticos e industriais) se destacam como as principais fontes poluidoras.

O grande e crescente aumento demográfico mundial acaba, por conseguinte, intensificando a destruição de grandes áreas verdes para o cultivo de alimentos e produção de insumos para suprir esta população crescente. Este processo deixa para trás, um rastro de destruição e degradação dos ecossistemas e da biodiversidade, bem como dos recursos naturais presentes nestes locais. Segundo Merten e Minella (2002), os poluentes resultantes do deflúvio superficial agrícola são constituídos de sedimentos, nutrientes, agroquímicos e dejetos animais. Os agroquímicos ou pesticidas como inseticidas, herbicidas e acaricidas, quando presentes em água superficiais, trazem sérios problemas ambientais e de saúde pública. Segundo Silva *et al.* (2009), os agrotóxicos podem atingir as águas superficiais por drenagem, percolação lateral, escoamento superficial e subsuperficial, erosão, deriva e volatilização. Grande parte dos inseticidas utilizados na agricultura são orgânicos e não passíveis de degradação no meio, bem como dependendo de sua interação com o meio

ambiente, alguns podem gerar substâncias ainda mais tóxicas quando degradados ou ser bioacumuláveis nas cadeias tróficas (GONÇALVES, 2007).

É do conhecimento de todos, que o homem ao deixar a condição de nômade e começou a construir tribos e fixar residência, sempre procurou instalar-se próximo a ambientes onde existia abundância de água, como por exemplo, rios e lagos. Não era uma escolha ao acaso, mais sim uma forma de garantir mecanismos que possibilitasse melhor ocupação e uso do solo. Os recursos superficiais de água eram utilizados para suprir as necessidades humanas básicas (tomar banho, beber, cozinhar e outros), dessedentação de animais, pesca e, além disso, como canal escoadouro dos dejetos e lixo produzidos. Essa relação homem/recursos hídricos atualmente permanece a mesma, sendo que a diferença é que nos dias atuais são aproximadamente sete bilhões de pessoas que lançam direto ou indiretamente seus rejeitos nos cursos de águas superficiais. Este lançamento ocorre por lixiviação, percolação ou poluição difusa, além do agravante dos efluentes industriais e domésticos que são lançados, na maioria dos casos, sem nenhum tratamento nos cursos d'água (FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS - UNFPA, 2011). Segundo Riguetti (2009), os esgotos podem ser considerados como o maior fator de deterioração dos corpos d'água, pois contêm nitrogênio e fósforo, oriundos de fezes e urina, restos de alimentos, detergentes e de outros subprodutos das atividades humanas.

Nos cursos d'água superficiais, os poluentes sedimentáveis podem provocar assoreamento dos rios e o aumento da turbidez, implicando na diminuição da fotossíntese dos organismos aquáticos, pelo decréscimo da penetração da luz solar, e, conseqüentemente, na redução da quantidade de oxigênio dissolvido na água. Nutrientes como fósforo e nitrogênio utilizados na fertilização dos solos agrícolas ou em detergentes (fósforo) são carregados pelo deflúvio superficial para cursos d'água, onde presentes em quantidades excessivas tornam os ambientes aquáticos eutrofizados e empobrecidos em oxigênio disponível para a vida animal aquática, resultando em severos danos no ecossistema aquático.

2.2 PROGRAMAS DE MONITORAMENTOS

Além da importância de conhecer a quantidade, disponibilidade e suas limitações, é importante também saber como se encontra a qualidade das águas superficiais. Segundo Merten e Minella (2002), quando utiliza-se o termo "qualidade de água", é necessário compreender que esse não se refere, necessariamente, a um estado de pureza, mas

simplesmente às características químicas, físicas e biológicas, e que, conforme essas características, são estipuladas diferentes finalidades para a água.

Sabe-se que as atividades humanas, no seu ambiente doméstico e nos diversos processos de produção industrial e agrícola, são as principais fontes que causam alterações nas propriedades da água. Uma vez alterada sua qualidade, a água torna-se um sério problema ambiental, de saúde e político.

Para investigar o quanto a ação antrópica tem contribuído para este quadro, surgem os programas de monitoramento da qualidade da água. Estes programas fornecem informações fundamentais para a tomada de decisões seguras e responsáveis por parte das comunidades, dos usuários e do poder público (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS-IBAMA, 2006). Ainda, segundo Porto (2003), a informação sobre a qualidade da água é necessária para que se conheça a situação dos corpos hídricos com relação aos impactos antrópicos na bacia hidrográfica e é essencial para que se planeje sua ocupação e seja exercido o necessário controle dos impactos.

Atualmente, os países desenvolvidos estão na “segunda geração” em programas de avaliação da qualidade de suas águas. Eles já conhecem amplamente os impactos de seu desenvolvimento na qualidade de seus recursos hídricos, e para tal já começaram a implantar programas políticos eficientes de controle de despoluição e prevenção da poluição hídrica. Já os países em desenvolvimento, como o Brasil, começaram, mais tardiamente seus programas de avaliação da qualidade de suas águas, sem ainda superado os problemas da primeira geração. Segundo Sperling e Chernicharo (2002), as dificuldades que os países em desenvolvimento enfrentam na gestão da qualidade das águas têm várias origens, muitas advindas do fato de tentarem seguir as tendências dos países desenvolvidos. Estes fatos expressam a relevância dos programas de monitoramento da qualidade da água, bem como a observância de um aspecto importante: quase todas as nações do mundo, principalmente, as desenvolvidas ou em desenvolvimento, estão alertas para a importância de ações de gerenciamento de seus recursos hídricos.

2.2.1 Panorama brasileiro

O Brasil dispõe de 12% da disponibilidade de água doce superficial do mundo, sendo este um dos maiores patrimônios do país (BRASIL, 2012). Com a promulgação da Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997, deu-se o primeiro pontapé para o gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. Oito anos após a Lei 9.433/1997, foi aprovado Conselho Nacional de

Recursos Hídricos (CNRH) o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), com o objetivo assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos. (BRASIL, 2012).

Coube a Agência Nacional de Águas (ANA) em conjunto com entidades ambientais estaduais a responsabilidade em organizar, implantar, gerenciar e divulgar os resultados obtidos com o PNRH (IBAMA, 2006). Apesar de possuir órgãos responsáveis para gerir as informações sobre qualidade da água, pode-se dizer que hoje um dos maiores déficits do país na área de qualidade da água está na existência de lacunas a serem preenchidas em relação à distribuição dos pontos e à padronização do monitoramento da qualidade da água no Brasil (BRASIL, 2012). Ainda segundo este autor, 17 das 27 unidades da federação realizam o monitoramento de suas águas superficiais, totalizando 2.167 pontos de monitoramento ativos (tabela 1).

Tabela 1 - Órgãos responsáveis pelas maiores redes de monitoramento da qualidade d'água

UNIDADE DA FEDERAÇÃO	ENTIDADE	NÚMEROS DE ESTAÇÕES
Alagoas	IMA	18
Bahia	INEMA	294
Ceará	COGERH	396
Distrito Federal	ADASA/CAESB	81
Espírito Santo	IEMA	84
Goiás	SEMARH	57
Mato Grosso	SEMA	151
Mato Grosso do Sul	IMASUL	235
Minas Gerais	IGAM	531
Paraíba	SUDEMA	136
Paraná	IAP/AGUAS PARANÁ	314
Pernambuco	CPRH	133
Rio de Janeiro	INEA	120
Rio Grande do Norte	IGARN	211
Rio Grande do Sul	FEPAM	187
São Paulo	CETESB	408
Tocantins	SANEATINS	55
Brasil	ANA	1340
Total de pontos monitorados		4751

Fonte: Brasil (2012).

Dentre as entidades apresentadas nessa tabela, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB é a que tem maior tempo de operação contínua e, portanto, com

potencial de oferecer a maior quantidade de informações sobre a situação dos corpos hídricos que monitora.

Outro problema que dificulta a gestão integrada, completa e eficiente no Brasil, está ligado à falta de infraestrutura de laboratórios, recursos humanos qualificados e um sistema padrão de metodologia de análise de águas. Essa falta de recursos humanos qualificados e de um sistema padrão de metodologias confere aos programas de monitoramento uma barreira a mais para ser superada. Além disso a falta de programas de graduação e pós – graduações nesta área tornam escassos os profissionais para atuarem nestes programas, enquanto a não adoção de um sistema padronizado de metodologias tornam a integração e comparação dos dados obtidos difíceis ou mesmo impossíveis (IBAMA, 2006; BRASIL, 2012).

Diante do exposto, observa-se que o Brasil, um país com dimensões continentais e com grande disponibilidade hídrica, mesmo com algumas dificuldades vem aprimorando o monitoramento da qualidade de suas águas nos últimos anos.

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA

Sabe-se que um programa de monitoramento de água consiste no levantamento de informações de como se encontra este recurso em termos de indicadores físicos, químicos e microbiológicos da água. Além de importância vital para os seres vivos na Terra, pode-se considerar a água como um recurso natural complexo, finito e renovável. Para ter-se a sua caracterização completa em termos das propriedades físicas, químicas e microbiológicas é necessária uma longa lista de análises.

Em um programa de monitoramento a quantidade de informações geradas pelos parâmetros selecionados deve servir de base para tomadas de decisões importantes, como políticas de controle, preservação e despoluição (caso esteja poluído) deste meio, bem como para informar a sociedade sobre o estado atual em que se encontra a qualidade de suas águas. Da mesma forma que esses resultados servem de base para tomadas de decisões tão relevantes, eles também podem servir de indicadores de impedimento do uso desses recursos para determinados fins. Isso por que, indicadores de qualidade d'água como oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH), Turbidez (Tur), dentre outros, são informações que são usadas para definir os fins para uma determinada massa de água, como por exemplo, ser para consumo humano, balneabilidade e proteção da vida aquática. Infelizmente estes indicadores não estão presentes com tanta frequência na sociedade civil

como um todo, ficando mais restrito ao ambiente científico, sendo que a população pouco ou nada sabe sobre sua relação com a poluição das águas.

Com o intuito de contornar este problema, começaram pesquisas na tentativa de reunir vários parâmetros em uma única variável que fosse de fácil interpretação e divulgação de informações e resultados, surgindo desta forma os Índices de Qualidade da Água (IQA).

Data de 1948, as primeiras tentativas de sintetizar os dados de qualidade da água, quando na Alemanha tentou-se relacionar o nível de pureza da água e a poluição com a ocorrência de determinadas comunidades de organismos aquáticos. Em 1965, Horton (alemão) destacou-se como sendo o primeiro pesquisador que fez uma apresentação formal de um IQA na literatura. (DERISIO, 2007).

Segundo Guazzelli (1999 apud FERREIRA, IDE (2001), um IQA pode ser utilizado para diversos fins como, por exemplo, comunicar informação de qualidade de água ao público e aos executivos da alta administração; acompanhar a qualidade dos recursos hídricos superficiais; identificar problemas de qualidade de água que demandem estudos especiais em trechos de rios; avaliar o desempenho de programas de controle da poluição; servir de instrumentos para a gestão dos recursos hídricos. Para Ferreira *et al.* (2001), um índice de qualidade da água é um número adimensional, que varia de 0 a 100 e que exprime a qualidade da água para os diversos fins. Esse número é obtido da agregação de dados físico-químicos e bacteriológicos, por meio de metodologias específicas que variam de local para local.

Ao longo dos anos foram desenvolvidos vários IQAs em função dos diversos usos da água, dentre eles pode-se citar o índice de qualidade de água em geral, índice de qualidade de água para usos específicos, índice de qualidade de água para planejamento ambiental, entre outros. (DERISIO, 2007).

2.3.1 Índice de Qualidade da Água – *National Sanitation Foundation* (IQA - NSF)

Em 1970, com financiamento da *National Sanitation Foundation* (NSF), Brown, McClelland, Deininger e Tozer apresentaram o mais conhecido índice de qualidade da água. O mesmo foi desenvolvido através da opinião de 142 especialistas, tendo como base a técnica Delphi da Rand Corporation. (DERISIO, 2007). Ainda segundo este mesmo autor, os 142 especialistas receberam vários questionários, onde suas respostas foram tabuladas e retornadas a cada participante, para comparação de sua resposta com a dos demais participantes e finalmente os especialistas foram inquiridos, a fim de se chegar a um consenso. Ao final dos trabalhos, foram selecionados os parâmetros oxigênio dissolvido (OD), potencial

hidrogeniônico (pH), temperatura (T), turbidez (Tur), sólidos dissolvidos totais (SDT), nitrogênio-nitrato (N-NO₃), fósforo total (PT), coliformes Fecais (CF) e demanda bioquímica de oxigênio a 20 °C e durante 5 dias de incubação (DBO_{5, 20°C}) para o cálculo do referido índice. Além disso, à cada parâmetro foi atribuído um número (0 - 1) que corresponde sua importância em termos de indicador de qualidade d'água e um número (0-100) que corresponde a qualidade individual do parâmetro.

No Brasil no que diz respeito a índice de qualidade da água, destaca-se o IQA adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir do IQA-NSF. Para o IQA da CETESB a variável N-NO₃ e substituída pelo nitrogênio total (NT), devido à presença de outras formas de nitrogênio (orgânico e amoniacal) nas águas. Mas caso a concentração de N-NO₃ seja à forma predominante em um rio é possível aplicar a curva de NT sem problemas (SÃO PAULO, 2008; COSTA, 2008; PERNAMBUCO, 2006).

De acordo com SÃO PAULO (2008), para efetuar o cálculo do IQA realiza-se o produtório dos nove parâmetros que compõe o índice. Para tal, utiliza-se a equação 1:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (1)$$

onde:

IQA: Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

qi: qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade desse parâmetro”, em função de sua concentração ou medida; e **wi:** peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para o cálculo global de qualidade.

De acordo com o resultado do produtório a água é classificada segundo a tabela 2.

Tabela 2 - Qualidade da água de acordo com o valor do IQA

Qualidade d'água	Faixa do IQA
Ótima	80 – 100
Boa	52 – 79
Regular	37 – 51
Ruim	20 – 36
Péssima	0 – 19

Fonte: SÃO PAULO (2008).

No anexo A, são encontrados os pesos (W_i), as fórmulas para cálculo da qualidade de cada parâmetro (q_i) e os gráficos da variação de q_i em função da concentração do parâmetro.

2.3.2 Índice de Estado Trófico (IET)

Através dos ciclos biogeoquímicos, sabe-se que substâncias como água, oxigênio, nitrogênio e fósforo se movimentam entre compartimentos bióticos e abióticos da terra. A dinâmica que estas substâncias adquirem nos ciclos, permitem que as mesmas entrem em equilíbrio e evitem que as mesmas possam vir se acumular em algum momento no ciclo.

Com o advento da industrialização e desenvolvimento da química orgânica, começaram a serem produzidos e comercializados diversos produtos a base de nitrogênio e fósforo. O nitrogênio é utilizado principalmente na fabricação de fertilizantes que tem como destino final, na maioria das vezes, a agricultura. Já o fósforo, além de ser empregado na fabricação de fertilizantes, tem grande uso na produção de surfactantes, dentre eles os detergentes. Como destino final do ciclo dos produtos contendo estas substâncias tem-se o meio ambiente, mais especificamente os recursos hídricos. Em um rio, lago ou reservatório estes nutrientes e suas variáveis químicas e moleculares, provocam uma série de problemas, com destaque para a aceleração do processo de eutrofização, causado pelo do enriquecimento por nutrientes.

Quando associado à luz solar, estes nutrientes intensificam o processo natural de envelhecimento das massas de água dos lagos, lagoas e rios, que os transformam em pântanos e, em último caso, em campos ou florestas – eutrofização. (UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA, 1999). Segundo Pereira e Rodrigues (2006), são vários os efeitos causados quando em um recurso hídrico instala-se o processo de eutrofização, dentre eles tem-se o consumo de oxigênio pelo aumento desenfreado da população microbiana, que por sua vez causa um desequilíbrio na relação aeróbica – anaeróbica no meio.

Com o intuito de investigar o grau de trofia de um corpo d' água surgiram os índices de estado trófico. Segundo Pereira e Rodrigues (2006), o Índice de Estado Trófico (IET), é um meio adequado para mensurar a relação entre as alterações nos nutrientes (medidos pelo PT, NT e silte), as alterações na biomassa algal (medida pela clorofila-*a*), que por sua vez alteram a turbidez da água no ecossistema aquático (medida pela transparência).

Dentre os principais índices para ambientes lênticos tem-se o de Carlson (Trophic State Index-TSI) que se baseia na média aritmética das medidas de estado trófico da

transparência (S), clorofila *a* (Cl *a*) e fósforo total (PT) e o de Carlson modificado por Toledo e colaboradores (IETm), que difere do primeiro em virtude do mesmo ser aplicado em ambientes de clima tropical (Brasil) no qual foi incluído, além dos parâmetros já propostos por Carlson, o índice de estado trófico para ortofosfato dissolvido.(RIGUETTI, 2009).

Para ambientes lóticos (rios, por exemplo) Lamparelli (2004), propôs um índice de estado trófico com base na média aritmética dos índices de estado trófico para o PT (equação 2) e Cl *a* (equação 3) e na medida da transparência S. Na Tabela 3 consta o grau de trofia em função do resultado do IET.

$$\text{IET} = [\text{IET (PT)} + \text{IET (CL)}] / 2 \quad (2)$$

Onde:

$$\text{IET (CL)} = 10 \times (6 - ((-0,7 - 0,6 \times (\ln \text{CL})) / \ln 2)) \quad (3)$$

$$\text{IET (PT)} = 10 \times (6 - ((0,42 - 0,36 \times (\ln \text{PT})) / \ln 2)) \quad (4)$$

PT = concentração de fósforo total, em $\mu\text{g L}^{-1}$; e

CL = concentração de clorofila *a*, em $\mu\text{g L}^{-1}$

Tabela 3 - Grau de trofia em função do resultado do IET

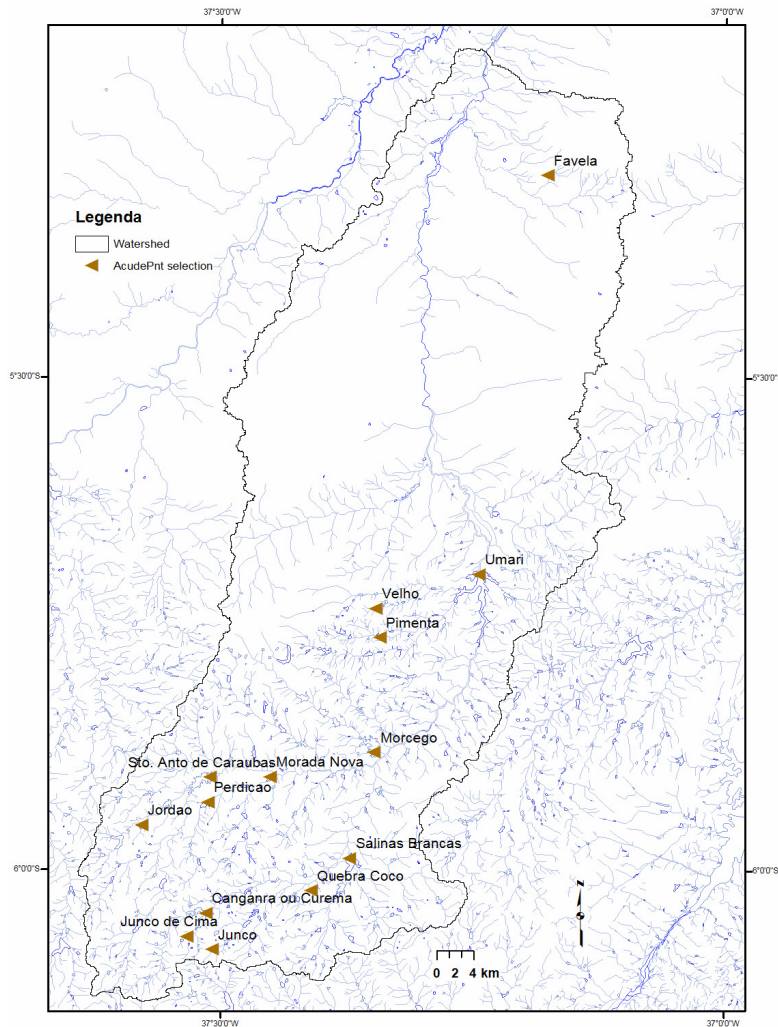
Nível Trófico	IET
Ultraoligotrófico	≤ 47
Oligotrófico	$47 < \text{IET} \leq 52$
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$
Hipereutrófico	> 67

Fonte: Lamparelli (2004).

2.4 CARACTERIZANDO A ÁREA DE ESTUDO: BACIA RIO DO CARMO (BHRC)

Localizada na região oeste do Rio Grande do Norte, a Bacia Hidrográfica do Rio do Carmo (BHRC) é o principal afluente da bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró. Nela encontra-se construídos reservatórios importantes, com destaque para a barragem Jessé Pinto Freire (barragem Umarí), terceira maior do estado em capacidade de reserva d'água (aproximadamente 292 milhões de m^3), que torna o Rio do Carmo (RC) perene a sua jusante, conforme ilustrado na Figura 1 (RIO GRANDE DO NORTE, 2013).

Figura 1- Bacia hidrográfica do Rio do Carmo



Fonte: Rio Grande do Norte, (2007).

Segundo a classificação de Thornthwaite e Mather (1955 apud Rio Grande do Norte (2007), esta bacia possui clima semiárido com grande deficiência hídrica de julho a dezembro, megatérmico, apresentando pequena variação da evapotranspiração potencial, ao longo do ano (DdA'a'). Os principais parâmetros climatológicos anuais estão listados na Tabela 5 (RIO GRANDE DO NORTE, 2007).

Tabela 4 - Principais parâmetros climatológicos da Bacia do Rio Carmo.

PARÂMETRO	RESULTADO
Pluviometria total média anual	765,8 mm
Evaporação média anual	2.658,6 mm
Evapotranspiração potencial média anual	1.777,2 mm
Insolação total média anual	2.780,1 horas
Umidade relativa média anual	68,5 %
Temperatura média anual: média das máximas	33,4°C
Temperatura média anual: média das médias.	27,2°C
Temperatura média anual: média das mínimas	22,7°C

Fonte – Rio Grande do Norte (2007).

Tem como período de maior precipitação pluviométrico o trimestre de fevereiro a maio, com precipitações que corresponde a 64% do total anual. Outro ponto importante sobre a pluviometria da bacia, diz respeito à tendência de decréscimo da precipitação anual de montante para jusante no curso principal do Rio do Carmo (RIO GRANDE DO NORTE, 2007).

A bacia do RC encontra-se inserida quase que completamente na Bacia Potiguar sobre solos de formação Jandaíra e Açú. Com exceção do alto curso do rio, onde pode-se encontrar caatinga arbórea, a bacia do Rio do Carmo possui uma vegetação predominante constituída de caatinga arbustiva com tendência ao crescimento antrópico (áreas de agricultura e desmatamento em geral) no sentido sul-norte (RIO GRANDE DO NORTE, 2007; ANGELIM *et al.*, 2007). Conforme observado na viagem de reconhecimento da área de estudo e nas coletas, o Rio do Carmo tem passado e vem passando, desde sua nascente até seu encontro com o Rio Mossoró, problemas de poluição de suas águas, desmatamento da mata ciliar e assoreamento do seu curso d'água. A origem destes problemas está ligada a fontes pontuais e difusas de poluição como cidades (Upanema) e comunidades (Suçuarana, Sítio Carmo, Melancias e Poço Verde), agricultura de subsistência e intensiva (fruticultura irrigada), exploração de petróleo, aquicultura (piscicultura e carcinicultura) e atividade salineira em sua região estuarina (RIO GRANDE DO NORTE, 2007).

Apesar do conhecimento do risco de degradação da qualidade d'água a que esta sujeita às águas do Rio do Carmo, advindos destas fontes, poucos são os trabalhos realizados e publicados sobre o estado em que se encontra a bacia do Rio do Carmo, com destaque à qualidade de suas águas (OLIVEIRA, 2001).

Sabe-se atualmente que um grande problema ambiental que o Rio do Carmo tem enfrentado diz respeito a elevada concentração de sal, no solo e na água, advindos das

atividades salineiras em seu trecho inferior. Impacto este decorrente da elevada concentração de indústrias salineiras na sua foz de encontro com Rio Apodi/Mossoró e o desastre ecológico ocorrido em 1997, quando um tanque da empresa CIMSAL se rompeu e liberou um grande volume de águas-mães, que foram empurradas para dentro do lagamar do rio pela maré alta (RIO GRANDE DO NORTE, 2007).

Outro problema que este rio pode estar enfrentando e que vem passando despercebido pela população e pelos órgãos de controle e fiscalização ambiental são os passivos ambientais advindos da agricultura, em especial a fruticultura irrigada do melão que é desenvolvida com as águas do Rio do Carmo. Em qualquer região em que está sendo praticada, a agricultura intensiva causa vários problemas ambientais que vão desde a poluição e contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por defensivos agrícolas e fertilizantes, até à destruição dos recursos vegetais e animais. No caso do Rio do Carmo um problema que merece destaque pode ser os resíduos do pesticida imidacloprido, na água e no sedimento, utilizados no combate a mosca branca, um dos principais problemas fitossanitários da cultura do melão (OLIVEIRA, 2008). Esta praga tem contribuído para favorecer o alto risco e o alto custo de produção, sendo motivo de preocupação constante para produtores e pesquisadores. Para controle destas pragas são utilizados quase que exclusivamente inseticidas, que tem como principal ingrediente ativo (IA) o imidacloprido. O uso deste inseticida, além de prejudicar o ambiente, pode tornar os frutos impróprios para a comercialização, devido ao elevado nível de resíduos tóxicos que podem permanecer neles (MENEZES *et al.*, 2000 apud OLIVEIRA, 2008).

Deve-se ressaltar ainda, que não encontrou-se na literatura, até o momento, trabalhos que fizeram a determinação dos resíduos deste inseticida nas águas ou sedimentos do Rio do Carmo, embora existam trabalhos que mostrem o seu grande uso. Por outro lado, trabalhos indicam que o consumo e os preços destes inseticidas vêm aumentando o que pode tornar inviável a cultura na região tanto economicamente, como ambientalmente, já que tem aumentado às preocupações ambientais dos países compradores (ALMEIDA, 2001; BEZERRA, 2001).

2.4.1 Melão

O melão (*Cucumis melo* L.) é uma das espécies olerícolas de maior expressão econômica no Brasil, em especial na região Nordeste. A introdução desta cultura no país ocorreu no Rio Grande do Sul, na década de 1960, e a partir da década seguinte, expandiu

para o estado de São Paulo e, posteriormente, para o Nordeste, nos estados da Bahia e Pernambuco (OLIVEIRA, 2008). Segundo o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA), o Brasil colheu 402.959 toneladas de melão no ano de 2009, rendendo 269.379 mil reais com vendas no mercado externo e interno, destacando os estados do Rio Grande do Norte (201.259 toneladas), Ceará (124.157 toneladas), Bahia (32.337 toneladas), Rio Grande do Sul (18.016 toneladas) e Pernambuco (15.970 toneladas) como os maiores produtores (SIDRA, 2011).

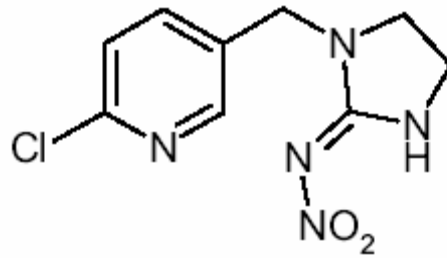
Os principais fatores que contribuem para esta produção significativa, com destaque para o Nordeste brasileiro, que coloca o Brasil como um dos maiores produtores mundiais, estão associados às condições climáticas, especialmente, temperaturas elevadas, alta luminosidade e baixa umidade do solo.

No que se refere aos principais tipos de melão cultivados na região Nordeste tem-se *Cucumis melo Cantaloupensis* que tem como principal característica, o cheiro acentuado, com polpa mais adocicada, de coloração salmão ou alaranjada, sendo também chamados de melões nobres sendo, atualmente, os preferidos pelo mercado externo. Destes, os principais tipos estão: Cantaloupe, Gália, Charentais e Orange Flesh. O outro tipo é o *Cucumis melo Inodorus*, que compreende os melões não aromáticos, no qual se destacam os melões amarelos, mais resistentes ao transporte, devido à casca ser espessa e firme, bem como, possuem maior durabilidade pós-colheita (OLIVEIRA, 2008).

2.4.2 Imidacloprido

O imidacloprido é o ingrediente ativo utilizado na fabricação de inseticidas empregados na agricultura para o controle de insetos sugadores, como pulgões, cigarrinhas, tripés, mosca branca e besouros, bem como no controle de pragas domésticas, como pulgas e baratas. É um inseticida sistêmico utilizado principalmente no controle de pragas associadas às culturas de arroz, cereais, milho, beterraba, melão, algodão e outros. Pertencendo ao grupo químico dos neonicotinóides. Ele funciona bloqueando seletivamente os nicotínicos do sistema nervoso de insetos, que são mais susceptíveis à sua ação que animais de sangue quente (CASTRO, 2007; CANADIAN WATER QUALITY GUIDELINES – CCME, 2007).

Seu nome químico, segundo a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC) é 1-(6-cloro-3-piridilmetil)-N-nitroimidazolidina-2-ilideneamina, e ele apresenta, segundo Krohn e Hellpointner, (2002, apud CCME (2007) a fórmula estrutural apresentada na Figura 2:

Figura 2 - Formula estrutural do imidacloprido.

Fonte: CCME (2007).

Outras informações sobre as propriedades físico-químicas do imidacloprido são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Propriedades físico-químicas do princípio ativo do imidacloprido

PROPRIEDADE FÍSICO-QUÍMICA	IMIDACLOPRIDO
Coeficiente de adsorção à matéria orgânica	225 mL/g
Tempo de meia vida no Solo	80 – 730 dias
Peso molar	255,7 g/mol
Solubilidade em água, 20 °C	0,510 g/L – 0,61 g/L
Ponto de fusão	143,8 °C – 144° C
Pressão de vapor, 25 °C	9×10^{-10} Pa
Constante da lei de Henry (H), 20 °C	$1,0025 \times 10^{-7}$ Pa m ³ mol ⁻¹ 2×10^{-10} Pa m ³ mol ⁻¹
Coeficiente de partição (K _{wo}), 21°C	log P = 0,57
Coeficiente de adsorção no solo	210 – 262
Picos de máximo de absorção no Ultravioleta	1 – 211 nm, 2 – 269 nm

Fonte: CCME (2007); MILHONE, (2009).

O imidacloprido é pouco volátil (possui baixa pressão de vapor); tem alta persistência no solo, tempo de meia vida variando de 80 dias a 2 anos para CCME, (2007) e de 191 dias para Milhone *et al*, (2009), este tempo é influenciado pela matéria orgânica, temperatura e manejos do solo; tem baixa lixiviação no solo e elevado potencial de escoamento, atribuído a sua alta solubilidade em água. Em ambientes aquáticos a persistência do imidacloprido é variável e influenciada pela luz, temperatura, pH, atividade microbiana, taxa de aplicação na lavoura e estado físico do produto formulado com este princípio ativo (CCME, 2007).

No que diz respeito a sua toxicidade para ambientes aquáticos, ele tem baixo potencial de bioacumulação em organismos aquáticos (exceto os de pequeno porte); têm

efeito deletério em peixes na fase juvenil, em organismos invertebrados, plantas e algas (CCME, 2007).

Com respeito a periculosidade e quantidade consumida no Brasil foi publicado no 19 de julho de 2012 no Diário Oficial da União (DOU), um comunicado do IBAMA que dá início formal ao processo de reavaliação de agrotóxicos associados a efeitos nocivos às abelhas. Quatro ingredientes ativos que compõem esses agrotóxicos serão reavaliados: Imidacloprido, Tiametoxam, Clotianidina e Fipronil. O primeiro a passar pelo processo de reavaliação será o imidacloprido, que é a mais comercializada destas quatro substâncias. Só em 2010, as empresas declararam ao IBAMA a comercialização de 1.934 toneladas de imidacloprido, cerca de 60% do total comercializado destes quatro ingredientes. Esta medida foi tomada por que estudos científicos recentes indicam que o uso destas substâncias é prejudicial para insetos polinizadores, em especial para as abelhas, podendo causar a morte ou alterações no comportamento destes insetos.

As abelhas são consideradas os principais polinizadores em ambientes naturais e agrícolas, elas contribuem para o aumento da produtividade agrícola, além de serem diretamente responsáveis pela produção de mel. Assim como medida preventiva, o IBAMA proibiu provisoriamente a aplicação por aviões de agrotóxicos à base de imidacloprido, Tiametoxam, Clotianidina e Fipronil em qualquer tipo de cultura, já que o uso de inseticidas que contem esses ingredientes ativos, por meio de aplicação aérea, tem sido associado a morte de abelhas em diferentes regiões do país, o que motivou a proibição. A norma publicada prevê ainda que no prazo de três meses as empresas produtoras de agrotóxicos devem incluir uma frase de alerta para o consumidor nas bulas e embalagens de produtos que contenham um ou mais dos compostos químicos destacados na portaria. A mensagem padrão informará que a aplicação aérea não é mais permitida e que o produto é tóxico para abelhas. Além disso, constará da mensagem que o uso é proibido em épocas de floração ou quando observada a visitação de abelhas na lavoura. Nos últimos anos a redução, desaparecimento e morte de espécies de abelhas na América do Norte, Reino Unido e na Grécia, levaram pesquisadores a investigar as causas desse fenômeno. Concluiu-se ao final dos estudos, que o imidacloprido era o principal responsável por esse problema. Segundo Whitehorn *et al* (2012), o imidacloprido desorienta os insetos ao ponto de ficarem incapazes de regressar à colmeia, reduzindo assim o tamanho das colmeias e fazendo desaparecer as rainhas. Ainda segundo estes mesmos autores, em um experimento conduzido em laboratório, onde colônias de abelhas tiveram contato imidacloprido, houve uma taxa de crescimento significativamente reduzido e sofreu uma redução de 85% na produção de novas rainhas em comparação com as

colônias de controle. Granato et al. (2010) também concluiu a relação entre o declínio populacional entre colmeias com o imidacloprido. Ao analisar abelhas na região do Peloponeso (Grécia), eles encontraram concentrações de imidacloprido, nas abelhas, na ordem de 14 ng/g à 39 ng.

Não existem registros oficiais do consumo de imidacloprido em Mossoró e região. Mas conforme levantamento junto aos estabelecimentos que vendem agroquímicos em Mossoró sabe-se que a procura e o consumo por esse IA é, sendo (segundo os comerciantes) ele é um dos mais vendidos na cidade. Necessariamente, torna-se importante investigar quais os efeitos do uso exagerado deste IA, uma vez que já temos trabalhos publicados que relacionam o uso descontrolado do imidacloprido, com a redução de insetos polinizadores, em especial as abelhas africanas. (ALMEIDA, 2001; BEZERRA, 2001). Além disso tem-se encontrado o este IA em amostras de água próximas a perímetros de irrigação (CARNEIRO *et al.* 2012).

3 OBJETIVOS

3.1 GERAL

Avaliar a qualidade da água do Rio do Carmo via cálculo do IQA e IET, bem como determinar a concentração de resíduos do princípio ativo imidacloprido.

3.2 ESPECÍFICOS

- Determinar as propriedades físico-químicas que permitam avaliar e calcular a qualidade da água usando a metodologia dos índices de qualidade.
- Verificar se os resultados dos parâmetros analisados estão dentro dos padrões permitidos pela Resolução CONAMA nº 357 de 2005.
- Avaliar a influência da cidade de Upanema na qualidade da água.
- Avaliar a influência da cultura do melão na qualidade da água.
- Determinar a presença de resíduos do inseticida imidacloprido na água e no sedimento.
- Correlacionar os resultados com as características típicas da região e o uso do solo adotado.

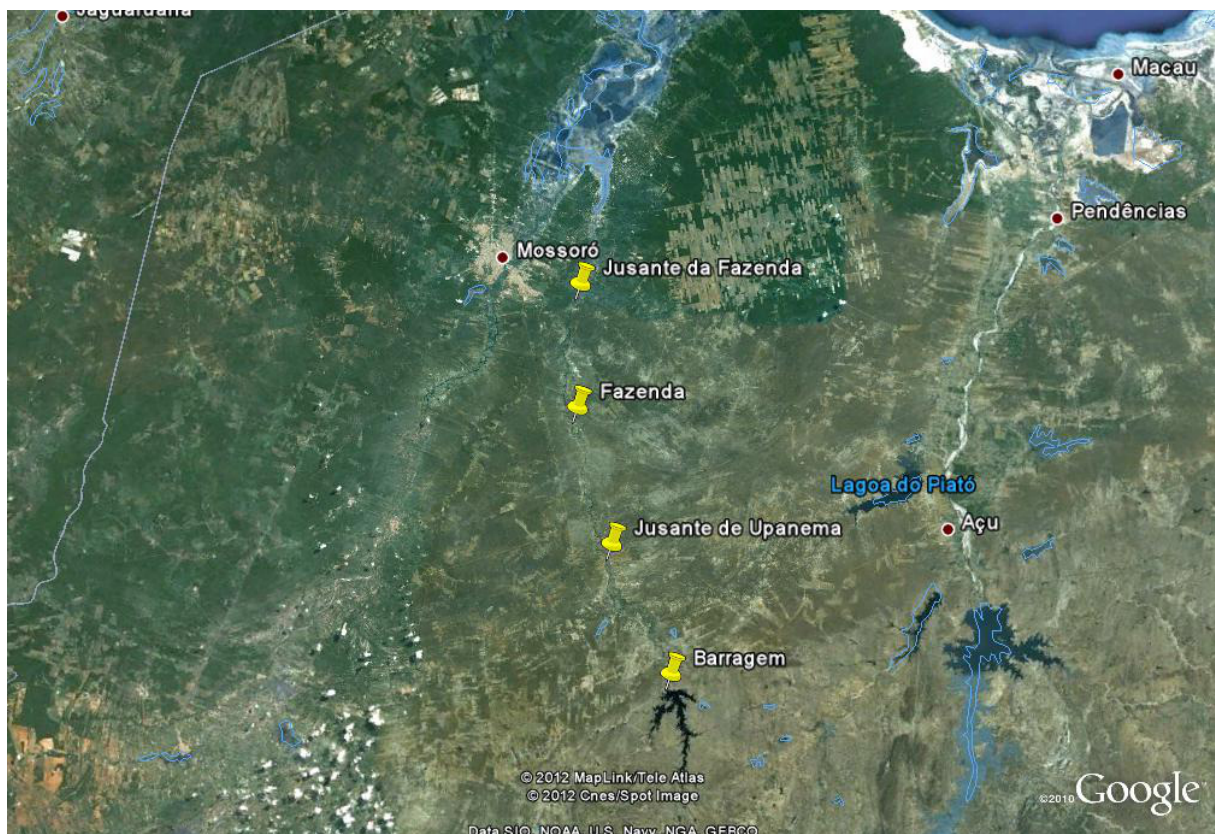
- Propor, caso necessário, medidas mitigadoras da degradação do ambiente em função dos impactos ambientais encontrados.

4 METODOLOGIAS

4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os pontos de coleta (Figura 3) foram estrategicamente escolhidos para fornecerem um ponto que fosse considerado como padrão, e três pontos que permitam verificar a influência da cidade de Upanema e de uma grande plantação de melão na qualidade da água. Eles foram demarcados ao longo do curso Rio do Carmo utilizando GPS, com as coordenadas geográficas adquiridas em UTM, conforme mostrado na Tabela 6.

Figura 3 - Pontos de coleta



Fonte: Google (2011).

Tabela 6 - Localização dos pontos de coleta, suas coordenadas em UTM e função do ponto no estudo.

PONTO	COORDENADAS (UTM)		FUNÇÃO
	Leste	Norte	
Montante Barragem (MB)	693.554	9.770.174	Padrão de comparação para as modificações detectadas na qualidade da água.
Jusante de Upanema (JU)	689.301	9.387.253	Avaliar o efeito da cidade de Upanema nos resultados por comparação da modificação causada nos resultados do ponto padrão.
Na área da fazenda (AF).	687.827	9.407.006	Ver a influência da fazenda por comparação da modificação causada no ponto anterior, neste ponto e no próximo ponto.
Jusante da fazenda (JF).	691.499	9.419.539	Servir de base para verificar a influência da fazenda de melão.

O ponto um (figuras 4 e 5) é caracterizado por água visualmente limpa e transparente, livre de atividades agrícolas e presença de crustáceos – caramujo. Foi observado a presença de pescadores e animais nas margens, com a consequente presença de suas fezes. O volume de água na barragem diminuiu sensivelmente da primeira para a quarta coleta.

Figura 4 - Montante da barragem de Umarí (ponto um), Upanema (RN), 2012.



Fonte: Alirberto Germano da Silva

Figura 5 - Presença de crustáceos no ponto Montante da Barragem (faixa preta no chão), Upanema (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

O ponto dois (Figuras 6 e 7), que fica a jusante da cidade de Upanema/RN, é caracterizado por águas escuras, mal cheirosas e pela grande presença de plantas aquáticas (principalmente aguapés). O local é área de dessedentação de animais, lavagem de carros, ponto de coleta de água por caminhões pipa e usado pela população como ponto de banho e recreação. Essas atividades deixam no local, óleo, lixo (sacos e garrafas plásticas, restos de material usado para preparar churrasco como carvão, sal e restos de comida e de fezes, tanto de animais como de humanos).

Figura 6 - Jusante da cidade de Upanema (ponto dois), Upanema (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 7 - Resíduos das atividades de lazer no ponto JU, representado pela presença de lixo no local (papel alumínio, restos de carvão e embalagens).



Fonte: Alriberto Germano da Silva

O ponto três, (Figura 8) está localizado na propriedade de uma fazenda de melão. É uma área bastante sombreada, marcada pela presença de aguapés, e com leito aparentemente arenoso. Nas margens é forte a presença de animais, principalmente caprinos,conseqüentemente, sendo observado a presença de suas fezes. Existem indícios de

que o local é usado como ponto de caça e pesca (rastos de pessoas, material de pesca estragado (anzol) e restos de alimentos como garrafas de água e latas de refrigerante).

Figura 8 – Ponto localizado à uma Fazenda de melão (ponto três), Mossoró (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

O ponto quatro (figuras de 9 à 12) é um ponto visivelmente impactado por ações antrópicas, sendo identificado como área de banho e recreação, ponto de coleta d'água e local de travessia do rio por veículos automotores e carroças devido a baixa profundidade. A água é clara e transparente e o solo do fundo barrento. Nas margens e nas proximidades do local foi identificado lixo, fezes e restos das atividades de recreação. O leito do rio se encontra fortemente assoreado é visível a presença de plantas aquáticas e de plantas resistentes a alta salinidade (halófitas) indicando que este ponto já é influenciado pela região estuarina próxima do mesmo.

Figura 9 – Ponto localizado à Jusante da fazenda de melão (ponto quatro), Mossoró (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 10 - Ponto de captação de água no ponto JF (acesso vista no canto superior esquerdo da imagem).



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 11 - Restos de animais no ponto Jusante da Fazenda (ossos), Mossoró (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 12 - Restos de lixo (garrafas pet) e de plantas halófitas no ponto Jusante da Fazenda, Mossoró (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

4.2 COLETAS DAS AMOSTRAS

Foram realizadas quatro coletas, sendo uma realizada no dia 21 de novembro de 2011 e as outras nos dias 26 de janeiro, 11 de maio e 13 de julho de 2012.

Conforme orientações prescritas na NBR 9897(ABNT, 1987) (Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores), NBR 9898 (ABNT, 1987) (Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores) e no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), formulou-se a ficha de coleta e a tabela com as observações a serem seguidas de acordo com cada parâmetro que seria analisado, bem como as informações necessárias para a limpeza e conservação dos frascos de coleta conforme descrito na Tabela 7.

Tabela 7 - Parâmetros, coletores, condições de preservação e tempos de armazenamento usados para coleta e análise das amostras.

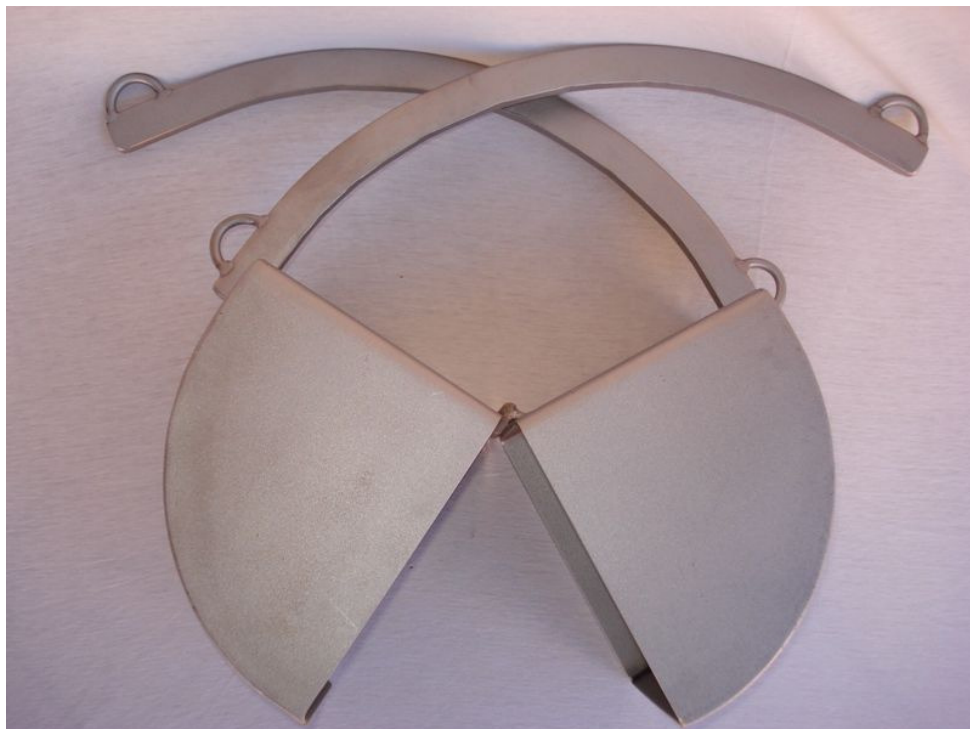
INDICADOR	RECIPIENTE	PRESERVAÇÃO	TEMPO DE ARMAZENAMENTO
Oxigênio Dissolvido, pH, Condutividade e Temperatura	<i>In situ</i>	<i>In situ</i>	<i>In situ</i>
Coliformes fecais	Vidro, Plástico. Esterilizado à 105°C; 1 atm, durante um hora.	Refrigerar a 4°C	24 horas
DBO	Vidro, Plástico	Refrigerar a 4°C	6 horas
DQO	Vidro, Plástico	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	6 horas
Nitrogênio total	Vidro, Plástico	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	28 dias
Fósforo total	Vidro, Plástico	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2. Refrigerar a 4°C	28 dias
Turbidez	Vidro, Plástico	Refrigerar 4°C e manter ao abrigo da luz	24 horas
Sólidos Totais	Vidro, plástico	Refrigerar 4°C	7 dias
Clorofila <i>a</i>	Vidro Âmbar	Refrigerar a 4°C	24 horas
Amônia, Nitrito e Nitrato.	Vidro	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2 e Refrigeração 4° C	28 dias
Cloreto, Cálcio e Magnésio.	Vidro	Refrigeração 4°C	6 meses
Dureza total	Vidro	H ₂ SO ₄ conc. até pH < 2 e Refrigerar 4°C	6 meses

Para cada ponto foram coletadas duas amostras, uma de água e outra de sedimento como descritos na Tabela 8.

Tabela 8 - Identificação e objetivo das amostras de água e sedimento coletadas.

Pontos	Sedimento e água 1	Água 2	Água 3	Água 4
Todos os pontos	Imidacloprido	CT e CF	Cl <i>a</i>	NT, PT, Tur., SDT, N-NH ₃ , N-NO ₂ , N-NO ₃ , Cl ⁻ , Ca, Mg, DT, DQO e DBO.

Durante as amostragens, procurou-se coletar sempre no mesmo horário, para tanto, sempre saiu-se para campo às cinco da manhã. O itinerário de coleta começava no ponto Montante da barragem e terminava na jusante da fazenda, seguindo o curso do rio em direção a fóz. Após coletadas, as amostras de água devidamente identificadas, foram acondicionadas em caixas de isopor com gelo e ao final da coleta foram levadas para Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), onde foram distribuídos entre os laboratórios de físico-química, microbiologia e eletroquímica e química analítica da UERN para realização das análises. Os sedimentos foram coletados utilizando draga do tipo Van Veen (figura e os mesmos foram acondicionados em potes plásticos adequados. No laboratório, os mesmos foram secos a temperatura ambiente, limpos, homogêneos e guardados em potes até o momento das análises.

Figura 13 - Draga coletora utilizada na coleta dos sedimentos

Fonte: LIMNOTECH, (2013).

4.3 METODOLOGIAS USADAS NAS ANÁLISES

4.3.1 *In situ*.

A determinação das variáveis pH, T, condutividade, % O e OD foi feita *in situ*, utilizando um medidor multiparamétrico portátil Orion* 5-Star da Thermo Scientific. O mesmo foi calibrado com um dia de antecedência, conforme manual de instruções do equipamento.

4.3.2 Laboratoriais

As propriedades físico-químicas foram determinadas nos laboratório de Catálise, Ambiente e Materiais (LACAM) e de Eletroquímica e Química Analítica (LEQA) da UERN, utilizando metodologias padrões prescrita no Standart Methods (APHA, 2005). Para facilidade de entendimento do trabalho, sínteses rápidas desses métodos são descritos a seguir. Todas as análises foram feitas com reagentes PA e água destilada, sendo que antes das análises, dependendo do parâmetro que iria ser analisado, as amostras passaram por um tratamento prévio (filtragem, precipitação de resíduos e limpeza, secagem e homogeneização no caso dos sedimentos) de acordo com a análise feita. Os equipamentos usados foram: espectrofotômetro UV-visível Cary 60 Agilent e UV-visível fibra óptica modelo 50 CONC previamente calibrados com curva padrão apropriada e estufa microprocessada de secagem Quimis Q317M

a- Nitrogênio Total: Foi determinado por espectroscopia no UV- Visível. Para tanto na amostra foi adicionado uma solução oxidante de persulfato de potássio e levado à autoclave por 1 hora, a 1 atm e 120 °C de temperatura para que todas as formas de nitrogênio fossem oxidada a nitrogênio nitrato. Sendo em seguida lido a concentração de NT em ppm em 220 nm no espectrofotômetro.

b- Fósforo Total: Foi determinado por espectroscopia no UV- Visível. Para tanto na amostra foi adicionado uma solução oxidante de persulfato de potássio e levado à autoclave por 1 hora, a 1 atm e 120 °C de temperatura para que todas as formas de fósforo fossem oxidadas a fosfato, Sendo em seguida lido a concentração em ppm em 880 nm no espectrofotômetro.

- b. *Turbidez*: Foi determinada por leitura direta da amostra utilizando o espectrofotômetro UV-visível e leitura em 580 nm. O aparelho foi previamente calibrado e dotado da curva padrão necessária.
- c. *Sólidos Totais*: Foi determinado gravimetricamente utilizando estufa microprocessada de secagem Quimis Q317M na temperatura de 105 C.
- d. *Amônia*: Foi determinado usando o método do indofenol e o espectrofotômetro previamente calibrado e leitura direta da concentração em ppm em 640 nm. Para tanto, à 25 ml de amostra foi adicionado um solução oxidante composta de citrato alcalino com hipoclorito de sódio (preparada no momento do procedimento), nitroprussiato de sódio (0,5%) e solução de fenol. Em seguida a mistura foi posta para reagir ao abrigo da luz por uma hora.
- e. *Nitrito*: Para determinação do nitrito utilizou-se o método proposto Bendschneider e Robinson no ano 1952. Este método basea-se na reação entre o nitrito, em meio ácido, com a sulfanilamida, formando um intermediário que posteriormente reage com o bicloridrato de (1-naftil) etilenodiamina, formando um composto nitrogenado altamente colorido que absorve energia em 543 nm. Na quantificação do mesmo foi utilizado o espectrofotômetro previamente calibrado e leitura em 543 nm.
- f. *Nitrato*: Foi determinado por leitura direta da amostra após precipitação da matéria orgânica com solução de hidróxido de alumínio, utilizando o espectrofotômetro previamente calibrado e leitura em 220nm.
- g. *Cloreto*: Para determinação do cloreto, foi feita a titulação da amostra usando o método de Mhor.
- h. *Salinidade*: Foi determinado multiplicando o valor de cloreto por 1,643.
- i. *Dureza Total*: Foi utilizada titulação complexométrica com EDTA em meio básico.
- j. *Cálcio*: Foi utilizada titulação complexométrica com EDTA em meio básico.
- k. *Magnésio*: Foi determinado volumetricamente pela diferença entre o volume gasto de EDTA na determinação da dureza total pelo volume gasto de EDTA na determinação do cálcio.
- l. *Demanda Bioquímica de Oxigênio*: Respeitando o prazo previsto para realização do procedimento, a $DBO_{5, 20^{\circ}C}$ foi determinado conforme metodologia 5210 B do Standard Methods. Nesta metodologia, utilizando frascos para DBO, são preparadas duas amostras para cada ponto (adição de 20 ml de amostra em cada frasco). Em uma ($DBO_{inicial}$) é adicionado KI e $MnSO_4 \cdot H_2O$ (fixadores de oxigênio), ácido sulfúrico, amido (indicador) e em seguida titula-se contra uma solução tiosulfato padronizado. Na amostra dois (DBO_5) é adicionada água de diluição e encubada por cinco dias em uma temperatura constante de $20^{\circ}C$.

Transcorridos o tempo de incubação, repete-se o processo de titulação que foi utilizado para determinação da DBO inicial. O resultado da DBO_{5,20°C} para cada ponto foi obtido pela diferença entre a DBO final e DBO₅.

m. *Demanda Química de Oxigênio:* Foi determinado conforme metodologia 5220 D do Standard Methods. O procedimento de DQO é realizado em duas etapas. Na etapa um, utilizando tubos Hach e bloco digestor Hach para determinação de DQO, adicionou-se à 2,5 mL de amostra solução de AgSO₄ em H₂SO₄ e solução de digestão (dicromato de potássio e sulfato de mercúrio), sendo em seguida realizado a digestão na temperatura de 150°C por duas horas. Ao final do processo de digestão, esperaram-se as amostras esfriarem em temperatura ambiente e realizou-se a leitura em 600 nm no espectrofotômetro UV-visível modelo 50 CONC previamente calibrado com curva padrão apropriada.

4.3.3 Parâmetros microbiológicos e hidrobiológicos

a. *Coliformes:* Para a coleta de água foram utilizados frascos próprios, devidamente limpos e esterilizados. Para determinação e quantificação de coliformes fecais e totais foi utilizado a método do substrato cromogênico prescrito no Standard Methods. As análises foram feitas no laboratório de Biologia II da UERN.

b. *Clorofila "a":*

Foi utilizando um sistema de filtração Millipore e membrana de nitrato de celulose, filtrou-se a amostra até a saturação completa da membrana e anotou-se o volume filtrado da amostra. Para proteger a clorofila contra a luz, a membrana foi envolvida em papel alumínio e armazenada na geladeira.

Adicionou-se 2 mL de acetona P.A. em um tubo de ensaio envolvido em papel alumínio. Colocou a membrana dentro do tubo de ensaio, e empurrou-a com bastão de vidro até a membrana tocar à acetona e dissolver-se por completa. Adicionou-se mais 4 mL de acetona P.A. ao tubo de ensaio lavando o bastão de vidro para obter um maior rendimento. Deixou-se os tubos, contendo às amostras, em repouso dentro da geladeira por um período de 18 à 24 horas.

Centrifugaram-se as amostras a 3000 RPM por 10 minutos e em seguida realizou-se, na amostra, uma leitura em 664 nm e outra em 750 nm utilizando um espectrofotômetro UV-visível modelo 50 CONC. Terminadas todas as amostras, adicionou-se 0,2 mL da solução de

HCl 0,1 mol L e efetuou-se uma nova leitura nos mesmos comprimentos de onda e utilizando os mesmo aparelho.

De posse dos valores das leituras, realizadas nos dois comprimentos de onda e após acidificação, calculou-se o resultado da clorofila utilizando a equação 6.

$$Cl \text{ "a"} (\text{mg}/\text{m}^3) = 27,7 \cdot \frac{\{(A_{664} - A_{750}) - (A_{665}_{\text{acidificada}} - A_{750}_{\text{acidificada}})\} \cdot v}{V \cdot L} \quad (6)$$

Onde:

v = volume de acetona em litros usado na extração;

V = volume filtrado da amostra em m³; e

L = Passo óptico da cubeta, que neste caso é 1 cm.

4.3.4 Análise Granulométrica

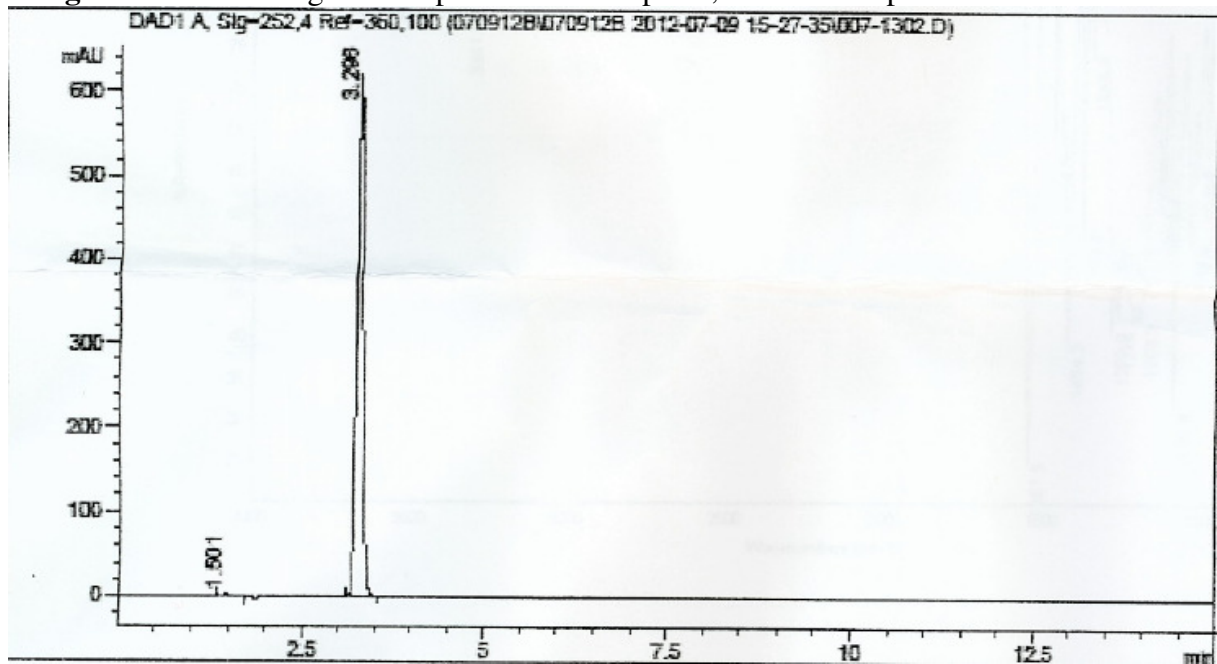
Utilizou-se do peneiramento manual para traçar o perfil do sedimento. Para tal, utilizou-se um jogo de peneiras com tampa e fundo de aço inox ASTM 140 - MESH/TYLER 150 com abertura de 0,106 mm e ASTM 18 - MESH/TYLER 16 de abertura de 1mm. Ao final do ensaio o sedimento foi classificado em duas categorias: granulometria grossa, composta por areia grossa e média e granulometria fina, composta por areia fina, silte e argila.

4.3.5 Parâmetro orgânico – Imidacloprido

4.3.5.1 Curva de Calibração

Determinou-se o imidacloprido utilizando a metodologia prescrita e validada por Castro (2007). Para tal, utilizou-se a espectroscopia de absorção molecular como método de quantificação do imidacloprido em amostras aquosas. Nas análises utilizou-se o espectrofotômetro UV-visível Cary 60 da Agilent, previamente calibrado com reagente padrão de imidacloprido da marca Chem Service. O padrão foi usado como recebido, tendo 99,5% de pureza conforme certificado de segurança recebido e comprovado na figura 13.

Figura 14 - Cromatograma do padrão imidacloprido, utilizado no procedimento analítico.

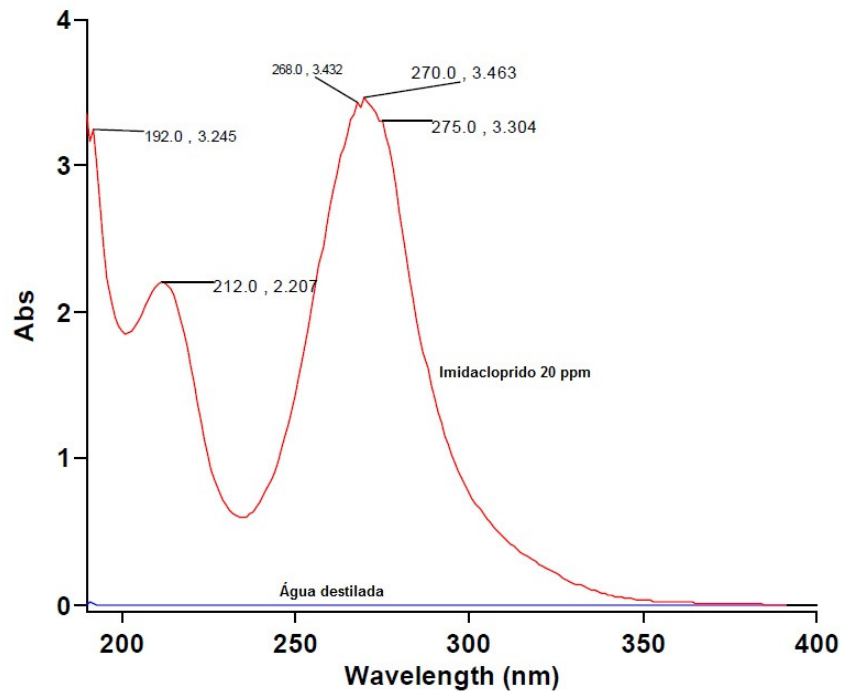


Fonte: Interprise USA Corp.

Na construção da curva padrão preparou-se uma solução estoque de 200 ppm utilizando água deionizada com pH corrigido para 7,0, para evitar problemas de degradação do imidacloprido. Isso por que segundo a CCME (2007), o imidacloprido é estável em soluções aquosa na faixa de pH 5,0 à 7,0. Partindo-se da solução estoque preparou-se os padrões com concentrações 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 ppm, sendo a água deionizada usada como concentração zero.

Antes de proceder com a curva de calibração, realizou-se um espectro de uma solução padrão de imidacloprido de 20 ppm de concentração (vide figura 14).

Figura 15 - Espectro de uma solução padrão de 20 ppm de imidacloprido.

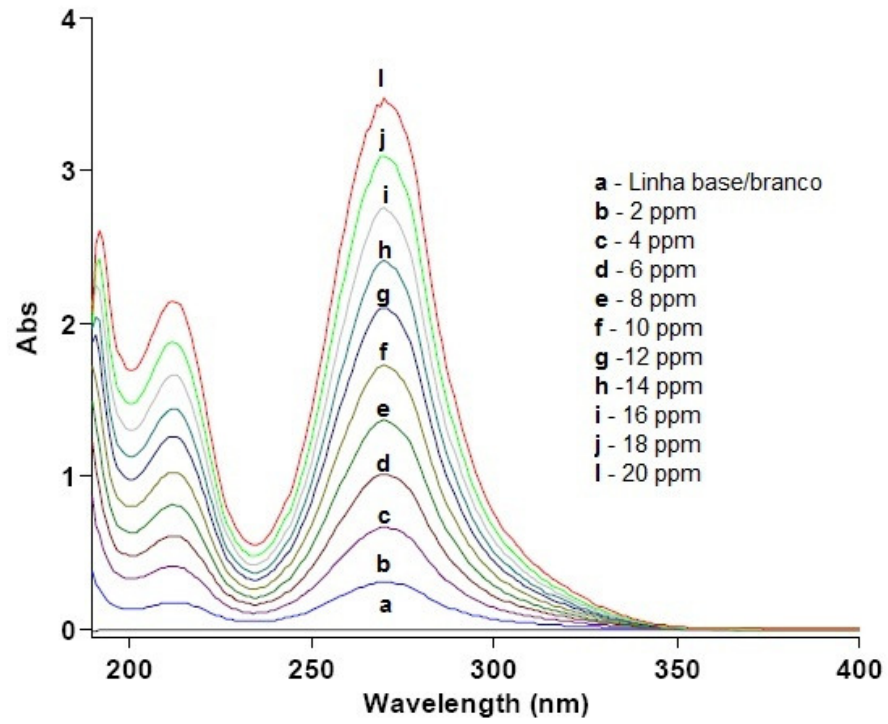


Fonte: Alriberto Germano da Silva

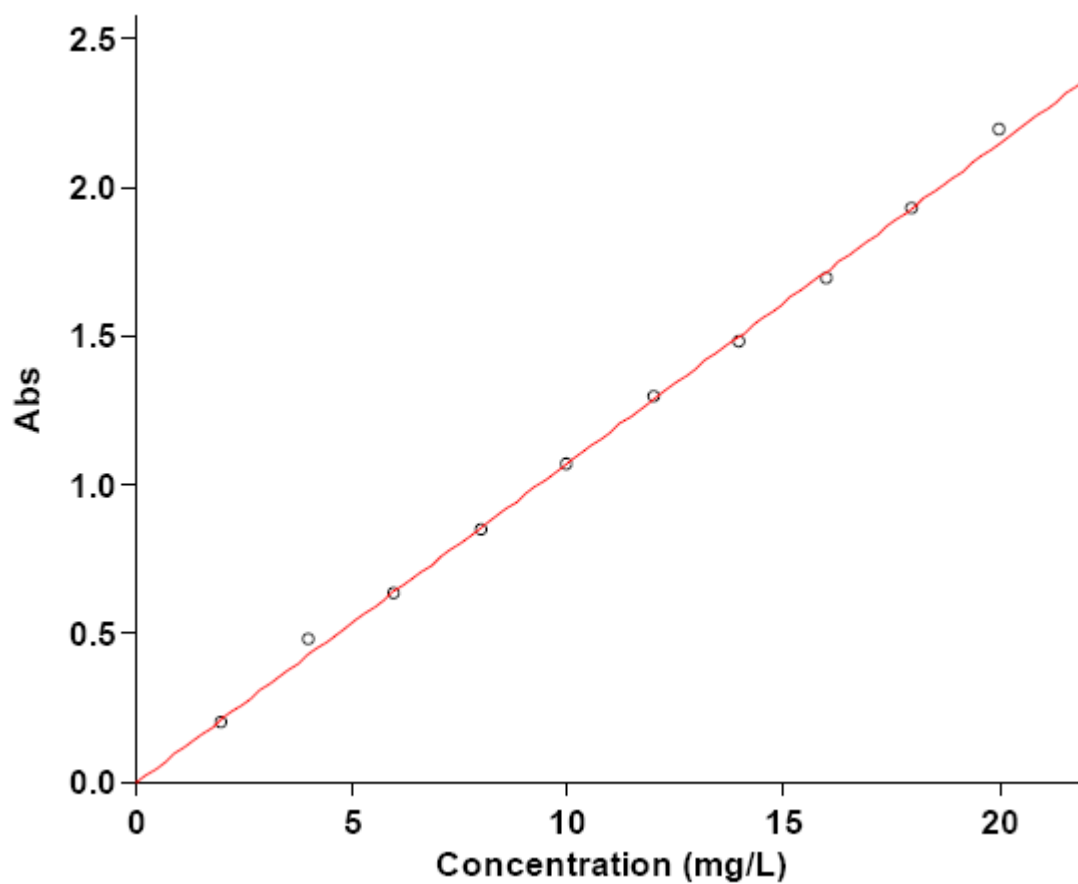
Este espectro é praticamente igual ao encontrado na literatura e observando o mesmo, podem-se ver três picos de absorção bem definidos (CASTRO, 2007; FERNANDEZ-ALBA, 1996). No entanto, selecionou-se à princípio os picos que absorveram em 212 e 275. Isso por que o pico a 192 nm se encontra próximo ao limite inferior do aparelho, que é de 190 nm de comprimento de onda e por que segundo a literatura é mais suscetível de ter sua absorbância contaminada pela absorção de outros compostos orgânicos.

Conforme as curvas de calibração e espectros das soluções padrões (figuras 15, 16 e 17), observa-se que ambos os comprimentos de onda (212 e 275 nm) podem ser usados para quantificação do imidacloprido em amostras aquosas, uma vez que nos dois comprimentos de onda a curva segue a lei de Beer, ou seja, à medida que aumenta-se a concentração, aumenta-se proporcionalmente a absorbância. Confirma-se este resultado quando se observa os coeficientes de correlação linear (r), onde para os dois picos, nos comprimentos de onda de 275 nm e de 212 nm os resultados foram de 0,99980 e 0,99885 respectivamente.

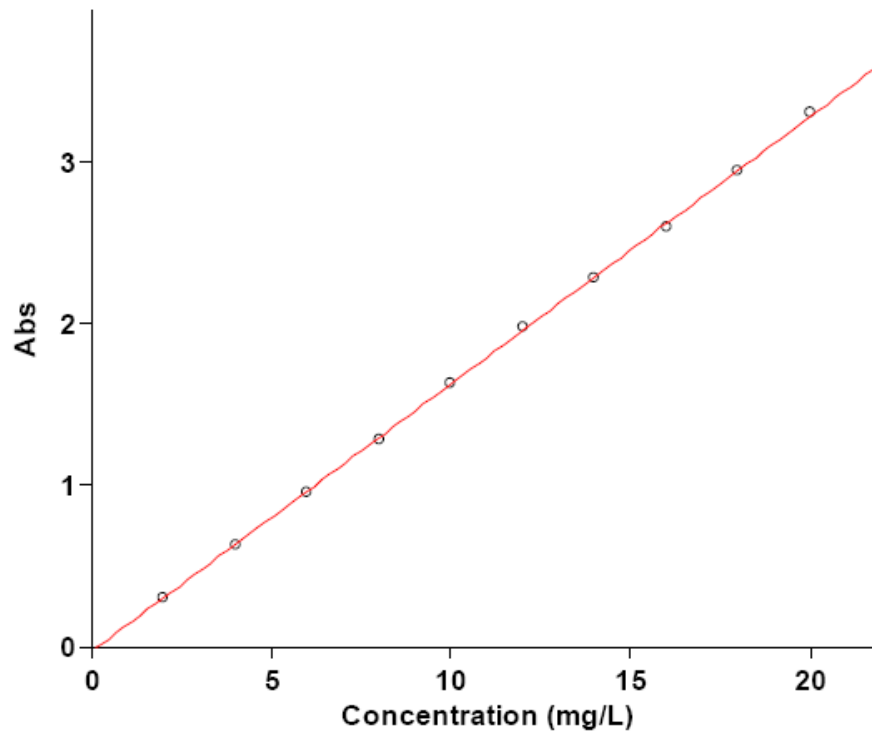
Figura 16- Espectro da variação da absorvância em função da concentração.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 17 - Curva de calibração em 212 nm.

Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 18 - Curva de calibração em 275 nm.

Fonte: Alriberto Germano da Silva

4.3.5.2 Tratamentos das amostras

Para a realização das leituras das concentrações de resíduos na amostra, utilizou-se a curva com comprimento de onda de 275 nm, uma vez que apresentou um melhor coeficiente, bem como está em uma região mais livre de interferência. Filtrou-se previamente a amostra de água e em seguida realizou-se a leitura (FERNANDEZ-ALBA, 1996).

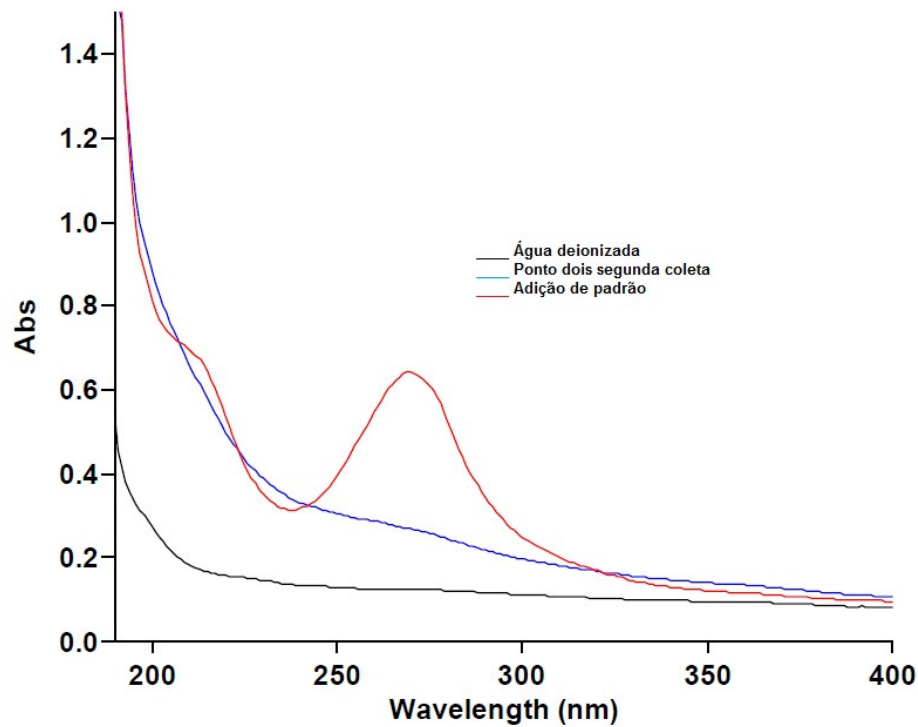
Com o intuito de observar se a absorbância em 275 nm corresponde ao imidacloprido, efetuou-se, conforme Tabela 9 e figura 18, uma adição de padrão. Assim sendo, adicionou-se 5 ml solução padrão de 4,9 ppm de imidacloprido e avolumou-se, em balão volumétrico de 10 ml, com amostra de água do ponto JU segunda coleta.

Tabela 9 - Dados utilizados na confirmação da absorbância do imidacloprido em 275 nm.

AMOSTRA	C _{inicial}	C _{final}
Ponto JU	0,9 ppm	0,45 ppm
Padrão 4,9 ppm	4,9 ppm	2,6 ppm
Padrão 4,9 ppm + ponto JU	5,8 ppm	3,05 ppm

Conforme esperado, tanto a concentração como os espectros corresponderam a adição do padrão, uma vez que o valor teórico, com base na equação química de mistura, e de 3,05 e o valor de concentração encontrado foi de 3,1 ppm.

Figura 19 - Espectros da água deionizada, ponto JU 2^a coleta e ponto JU 2^a coleta após adição de solução padrão de imidacloprido de 4,6 ppm.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Para quantificação do imidacloprido no sedimento, o mesmo foi extraído desta matriz adicionado 50 ml de água deionizada em 25 g de sedimento, previamente seco a temperatura ambiente, e levando-se esta mistura a banho ultrassônico por 15 minutos. Para extrair o máximo possível, este procedimento foi repetido duas vezes. Em seguida, a mistura foi filtrada, e os filtrados foram transferidos para um balão volumétrico de 250 ml e avolumados com água deionizada. Terminada as etapas de extração, filtração e avolumação, aplicou-se o mesmo procedimento usado nas leituras das amostras de água. (VILCHEZ *et al.*, 1996).

4.3.6 Índices de qualidade da água

4.3.6.1 IQA-NSF

Para a determinação do IQA do Rio do Carmo, foi utilizada a equação¹ desenvolvida e adaptado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir do IQA desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* dos Estados Unidos.

4.3.6.2 IET

O Índice do Estado Trófico foi determinado a partir da média aritmética simples do Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET (PT) e do Índice do Estado Trófico para a clorofila *a* – IET (CL) de acordo com a equação 2, segundo o Índice de Carlson, modificado por Lamparelli (2004), sendo o resultado comparado de acordo com a Tabela 3.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.

5.1 ASPECTOS LEGAIS

De acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, os recursos hídricos superficiais são classificadas em águas doces (salinidade $\leq 0,5\text{‰}$), salobras ($0,5 \text{‰} < \text{salinidade} < 30 \text{‰}$) e salgadas ($30\text{‰} \geq \text{salinidade}$). Eles são também classificados em treze classes conforme os usos e destinos da água. Assim de acordo com a resolução, que classifica as águas superficiais em função da salinidade, das informações obtidas em campo de cada ponto, e dos resultados obtidos os quatro pontos monitorados neste trabalho podem ser enquadrados na classe de águas doces do tipo III.

Levando em consideração que o resultado de CT engloba os resultados de CF e que este trabalho baseou-se em 20 parâmetros de qualidade da água, dos quais 13 parâmetros (65% do total) são padrões de qualidade da água previstos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 (vede tabelas 10 a 13). Assim como critério de simplificação, neste tópico serão discutidos apenas os parâmetros previstos pela resolução 357/2005, sendo os demais discutidos na seção 5.3.

De maneira geral apenas alguns resultados de DBO (18,75 % de todos os dados de DBO); OD (6,25% de todos os dados de OD) e todos os resultados de CT (valores em destaque nas tabelas). Para conclusão dos resultados de CF tomou-se parcialmente como referência a Resolução CONAMA nº 274/2000, isso por que os resultados não atende os requisitos de 80% ou mais de um conjunto de amostras obtidas em cada uma das cinco semanas anteriores, colhidas no mesmo local. Uma vez que se constatou que em todos os pontos de coleta, as águas são de contato primário (área de banho), dessedentação de animais e consumo humano. Com base nestes resultados, podemos inferir que no geral os pontos monitorados apresentam bons resultados de qualidade da água quando comparados com a resolução 357/2005, sendo os resultados de CT o parâmetro que merece maior atenção. Isso por que 100% dos resultados estão acima de 1.000 NMP/100 ml, conforme preconiza a resolução 274/2000. Como correlação direta para os resultados de CT, temos a presença de fontes antrópicas de poluição em toda a extensão do RC. E forte a presença de fezes de animais e atividades humanas nos pontos monitorados (vide figuras 19 e 20).

Figura 20 - Local de dessedentação de animais, destacando a presença de fezes, Upanema (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 21 - Presença de atividades humanas no ponto Montante da Barragem, Upanema (RN), 2012.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Tabela 10 - Resultados obtidos o ponto MB.

Parâmetro	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª coleta	R. nº 357/2005
DBO (mg/L)	6,22	4,89	11,05	7,64	≤ 10
OD (mg/L)	13,83	12,71	5,76	6,39	≥ 4
DQO (mg/L)	17,25	7,75	58,50	27,33	
Tur.(UNT)	2,28	11,62	7,66	11,72	≤ 100
SDT (mg/L)	47,00	143,00	102,00	56,00	≤ 500
Cde. (uS/cm)	180,00	176,20	145,20	187,7	≤ 100 (CETESB)
pH	8,09	6,81	6,93	7,33	6,0 – 9,0
T (°C)	28,90	29,20	28,20	28,00	≤ 40
CT (NMP/100 mL)	≥1600	≥1600	≥1600	≥1600	R. nº 274/2000
CF (NMP/100mL)	2,00	22,00	8,00	17,00	
Cl _a (ug/L)	0,97	1,38	1,52	1,52	≤ 60
PT (mg/L)	0,01	0,00	0,07	0,03	≤ 0,15
NT (mg/L)	6,94	3,00	4,64	3,41	
N-NO ³⁻ (mg/L)	5,22	2,70	1,32	3,05	≤ 10
N-NO ²⁻ (mg/L)	0,00	0,00	0,32	0,00	≤ 1
N-NH ₃ (mg/L)	0,00	0,00	0,04	0,08	≤ 1, para pH > 8,5
Cl ⁻ (mg/L)	28,00	42,00	28,00	28,00	≤ 250
Sde. (mg/L)	46,14	69,22	48,14	46,15	
Mg ²⁺ (mg/L)	9,60	19,20	9,60	9,60	
Ca ²⁺ (mg/L)	16,00	16,00	16,00	16,00	
DT (mg/L)	80,00	120,00	80,00	9,60	

Tabela 11 - Resultados obtidos o ponto JU

Parâmetro	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª coleta	R. nº 357/2005
DBO (mg/L)	3,73	6,32	1,24	7,18	≤ 10
OD (mg/L)	7,21	6,91	3,93	4,27	≥ 4
DQO (mg/L)	6,75	15,50	24,50	68,00	
Tur.(UNT)	21,43	19,69	14,04	29,61	≤ 100
SDT (mg/L)	41,00	123,00	108,00	56,00	≤ 500
Cde. (uS/cm)	194,20	181,10	203,20	195,50	≤ 100 (CETESB)
pH	7,56	7,30	6,97	7,18	6,0 – 9,0
T (°C)	28,60	29,10	29,00	28,1	≤ 40
CT (NMP/100 mL)	≥1600	≥1600	≥1600	≥1600	R. nº 274/2000
CF (NMP/100mL)	≥1600	30,00	130,00	17,00	
Cl a (ug/L)	0,99	1,60	2,31	2,31	≤ 60
PT (mg/L)	0,04	0,03	0,16	0,06	≤ 0,15
NT (mg/L)	6,94	5,00	4,67	4,86	
N-NO ³⁻ (mg/L)	5,56	3,55	2,18	2,54	≤ 10
N-NO ²⁻ (mg/L)	0,01	0,01	0,31	0,00	≤ 1
N-NH ₃ (mg/L)	0,01	0,02	0,04	0,08	≤ 1, para pH > 8,5
Cl ⁻ (mg/L)	28,00	42,00	28,00	28,00	≤ 250
Sde. (mg/L)	46,14	69,22	48,18	46,15	
Mg ²⁺ (mg/L)	9,60	19,20	9,60	9,60	
Ca ²⁺ (mg/L)	16,00	32,00	16,00	16,00	
DT (mg/L)	80,00	160,00	80,00	80,00	

Tabela 12 - Resultados obtidos para o ponto AF.

Parâmetro	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª coleta	R. nº 357/2005
DBO (mg/L)	6,22	8,00	12,60	8,98	≤ 10
OD (mg/L)	10,19	12,29	4,77	5,58	≥ 4
DQO (mg/L)	13,00	22,75	76,50	24,33	
Tur.(UNT)	34,10	13,15	6,50	12,72	≤ 100
SDT (mg/L)	104,00	143,00	126,00	41,00	≤ 500
Cde. (uS/cm)	433,00	300,00	284,70	248,9	≤ 100 (CETESB)
pH	8,33	8,18	7,27	7,24	6,0 – 9,0
T (°C)	30,00	28,80	28,80	27,70	≤ 40
CT (NMP/100 mL)	≥1600	≥1600	≥1600	≥1600	R. nº 274/2000
CF (NMP/100mL)	33,00	23,00	26,00	2,00	
Cl a (ug/L)	0,19	0,72	2,68	2,68	≤ 60
PT (mg/L)	0,03	0,01	0,09	0,02	≤ 0,15
NT (mg/L)	6,95	6,13	4,66	6,32	
N-NO ³⁻ (mg/L)	4,01	2,78	2,24	2,14	≤ 10
N-NO ²⁻ (mg/L)	0,00	0,00	0,32	0,00	≤ 1
N-NH ₃ (mg/L)				0,08	≤ 1, para pH > 8,5
	0,01	0,04	0,04	0,08	
Cl ⁻ (mg/L)	56,00	70,00	42,00	42,00	≤ 250
Sde. (mg/L)	92,28	115,36	69,26	69,22	
Mg ²⁺ (mg/L)	9,60	19,20	9,60	9,60	
Ca ²⁺ (mg/L)	48,00	64,00	16,00	32,00	
DT (mg/L)	160,00	240,00	80,00	120,00	

Tabela 13 - Resultados obtidos para o ponto JF.

Parâmetro	1ª Coleta	2ª Coleta	3ª Coleta	4ª coleta	R. nº 357/2005
DBO (mg/L)	12,25	8,09	6,33	6,96	≤ 10
OD (mg/L)	10,99	13,17	6,90	7,98	≥ 4
DQO (mg/L)	19,75	12,50	44,00	19,33	
Tur.(UNT)	12,78	1,96	3,55	11,30	≤ 100
SDT (mg/L)	159,00	129,00	174,00	94,00	≤ 500
Cde. (uS/cm)	593,00	351,00	361,50	318,00	≤ 100 (CETESB)
pH	8,30	7,91	8,46	7,36	6,0 – 9,0
T (°C)	29,80	29,00	29,50	27,80	≤ 40
CT (NMP/100 mL)	≥1600	≥1600	≥1600	≥1600	R. nº 274/2000
CF (NMP/100mL)	33,00	8,00	21,00	17,00	
Cl _a (ug/L)	1,16	1,65	1,60	1,60	≤ 60
PT (mg/L)	0,02	0,00	0,11	0,02	≤ 0,15
NT (mg/L)	6,94	4,84	4,69	4,59	
N-NO ³⁻ (mg/L)	3,70	3,88	3,67	2,35	≤ 10
N-NO ²⁻ (mg/L)	0,01	0,00	0,32	nd	≤ 1
N-NH ₃ (mg/L)					≤ 1, para pH > 8,5
	nd	0,00	0,04	0,08	
Cl ⁻ (mg/L)	112,00	42,00	56,00	42,00	≤ 250
Sde. (mg/L)	184,57	69,22	92,28	69,22	
Mg ²⁺ (mg/L)	19,20	19,20	9,60	9,60	
Ca ²⁺ (mg/L)	48,00	48,00	32,00	32,00	
DT (mg/L)	200,00	200,00	120,00	120,00	

5.2 ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA.

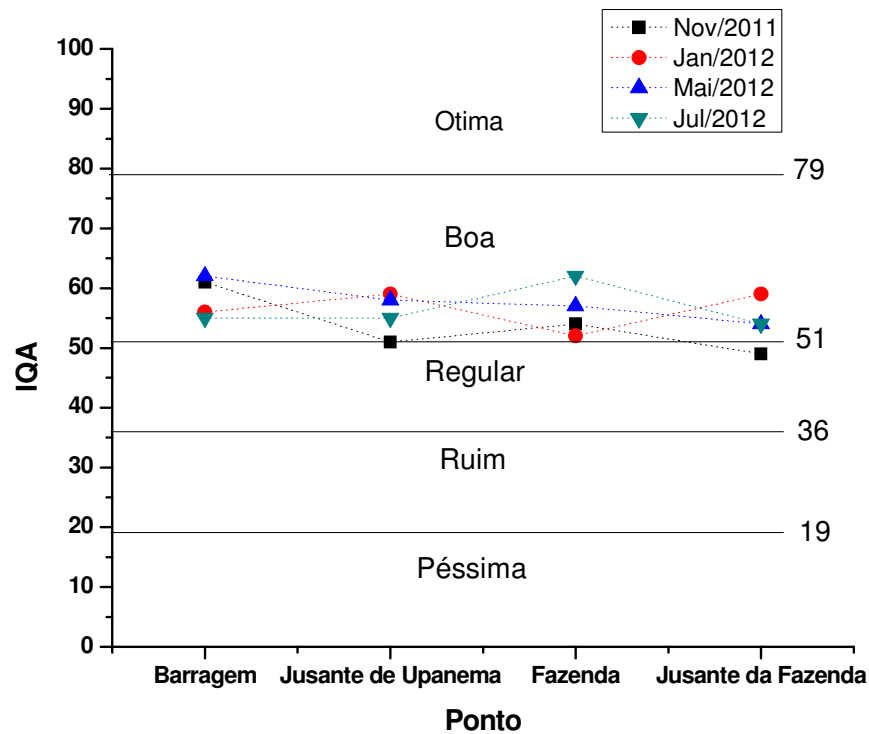
5.2.1 IQA - NSF

O IQA é uma fonte de informação importantíssima sobre o estado de qualidade d'água de um manancial. Para o seu cálculo são usados os parâmetros OD, pH, T, Tur, DBO₅, ST, NT, PT e CF. Uma vez determinado, ele serve de referência no gerenciamento ambiental, meio de divulgação da qualidade da água a sociedade civil e um mecanismo de reunião de parâmetros em uma única variável. Esta última característica é sua principal desvantagem, uma vez que com a junção destes parâmetros perde-se informações relevantes que apenas o parâmetro individual pode fornecer. Neste caso, em um programa de monitoramento as informações individuais de cada parâmetro também são importantes.

A BHRC esta inserida em um contexto na qual deterioração do Rio do Carmo (principal rio da bacia) é eminente. Como discutido anteriormente, atividades agrícolas, cidades e povoados, extração de petróleo, pecuária, extração de sal marinho e piscicultura são importantes fontes antrópicas que podem contribuir para o decréscimo da qualidade da água do Rio do Carmo.

Conforme os resultados apresentados na figura 22, observa-se que no geral a qualidade da água do Rio do Carmo nos pontos monitorados está boa (exceto no ponto JF, na 1ª coleta que apresentou qualidade regular), apresentando uma diminuição da qualidade da água de ponto a ponto no sentido nascente-foz. Estes resultados tem relação direta com a descarga de esgotos advindos da cidade de Upanema bem como de pequenos povoados instalados em toda extensão do rio, com atividades antrópicas e condições naturais. Resultados semelhantes foram encontrados por Araújo *et al* (2007); Souza *et al.* (2009, 2012); Martins *et al.*(2008a, 2008b) e Morais *et al.*(2008), ao estudarem o rio da região, o rio Apodi/Mossoró. Segundo esses autores, a qualidade da água diminui a medida que se aproxima do centro de Mossoró e que este resultado tem relação direta com o lançamento de esgotos domésticos e industriais sem o devido tratamento. Morais *et al* (2008), também chegaram a esta conclusão ao verificar que a turbidez aumenta quando o Rio Apodi/Mossoró aproxima-se das cidades de Pau dos Ferros e Mossoró. Outro contribuinte da redução da qualidade da água no sentido nascente-foz as atividades agropecuárias intensivas (fruticultura irrigada) e tradicionais (criação de bovinos e caprinos). Com maior intensidade no período de maior precipitação pluviométrica, poluentes como nutrientes, sedimentos e matéria orgânica acabam chegando ao leito do rio, onde modificam vários equilíbrios químicos e microbiológicos deste ecossistema. Estas constatações evidenciam que em todos os pontos as influências externas, juntas, corroboram para o decréscimo da qualidade da água no sentido da barragem para a foz do rio (parte perenizada do rio). A cidade de Upanema e a atividades agropecuárias em torno do RC, alteram a qualidade da água de ponto para ponto de acordo com o que é realizado no local, resultando em índices diferentes e provocando comportamentos diferenciados em alguns pontos, que ao final acabam-se diferenciando do comportamento geral.

Figura 22 - IQA para os quatro pontos em todas as coletas

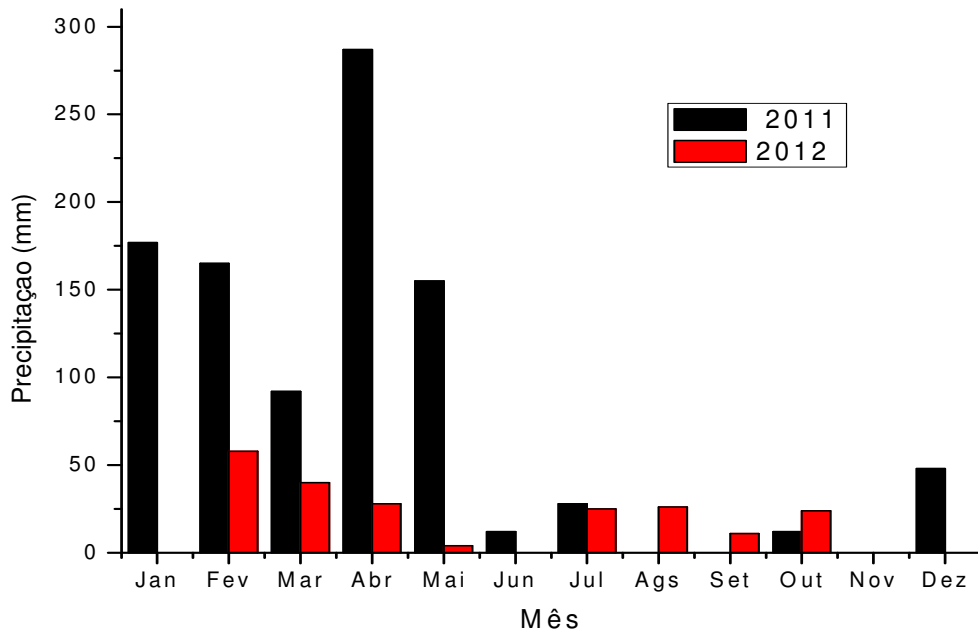


Fonte: Alriberto Germano da Silva

5.2.1.1 Influência da sazonalidade no IQA-NFS.

Com o início das chuvas tem-se o efeito sazonal de alterar os parâmetros estudados e os índices calculados de acordo com a sua intensidade, quantidade e qualidade do material carregado para o leito do rio. De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para esta região, o período chuvoso do ano está compreendido entre os meses de janeiro a junho e que o período seco compreende os meses de julho a dezembro. Observa-se que a primeira coleta foi realizada na época seca e as três últimas no período chuvoso (Figura 21).

Figura 23 – Acumulado das precipitações pluviométricas dos anos 2011 e 2012 para estação meteorológica de Mossoró



Fonte: INMET (2012).

Conferindo-se essa figura pode-se observar que o índice pluviométrico do período chuvoso no ano de 2012 foi muito aquém do ano 2011 que é o considerado normal na região. Já quanto aos efeitos pluviométrico nos resultados (figura 22), ele se traduz num forte agente (sazonal), conseqüentemente as águas provenientes das chuvas acabam melhorando muito o índice de qualidade da água no período chuvoso, como mostra a comparação dos resultados da primeira coleta (seca) com os resultados da segunda e terceira coleta (chuva). No período chuvoso o aumento da vazão do rio acaba diluindo e dispersando os parâmetros que no cálculo do IQA, baixando suas concentrações e conseqüentemente melhorando a melhora na qualidade da água. Carvalho *et al* (2000), também este mesmo resultado ao estudar relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. Com relação ao comportamento semelhante entre as coletas, ou seja, um decréscimo da qualidade da água do ponto MB para o ponto JF ocorre por que, apesar do aumento do volume d'água do rio aumentar no inverno as fontes de poluição no geral não mudam.

Já o comportamento diferenciado dos IQAs dos pontos na segunda coleta também tem relação com as chuvas que caíram na região, mas diferentemente das demais coletas nesta, as chuvas ainda não eram suficientes para alterar o resultado totalmente e o que percebe-se é um

efeito das chuvas fortemente relacionado com o local da coleta e, possivelmente, com precipitações localizadas nos locais dos pontos de coleta que não aparecem na figura 23 de pluviometria que foi medido a cerca de 70 km de Upanema.

Assim quando se observa os efeitos da sazonalidade nos resultados da segunda coleta, os pontos MB e AF apresentaram os piores índices de qualidade da água. Para o ponto MB o menor valor de IQA esta vinculada ao nível populacional de CF (22 NMP/100 mL) para esta coleta. Apesar de estar na época da seca, ocorreram chuvas antes desta coleta, como resultado, houve o escoamento superficial de sólidos dissolvidos e matéria orgânica para o leito do rio. Como foi visto a presença de fezes in loco durante as coletas, o seu carreamento pelas chuvas provocou o aumento no número de coliformes no meio. Resultados semelhantes foram encontrados por Sperling *et al.* (2006), quando o mesmo estudou a qualidade de água em bacias de retenção urbanas e por Lopes (2009) em estudos semelhantes.

Ainda observando a segunda coleta, o ponto JF foi o que apresentou o melhor valor de IQA quando comparado com os outros resultados. Como explicação deste resultado tem-se os baixos valores para os parâmetros PT (0,0027 mg/L), Turbidez (1,9593 UNT) e CF (8 NMP/100 mL) que juntos contribuíram positivamente para a elevação do IQA neste ponto e coleta. A melhoria da qualidade destes parâmetros pode ser explicada pela precipitação localizada de chuvas na região deste ponto, o que diluiria a concentração dos poluentes ou pela contribuição significativa de algum afluente que tem água de melhor qualidade que o rio do Carmo (vide figuras 17 e 1) bacia hidrográfica e localização dos pontos.

No ponto JU não se observou alteração significativa no resultado, indicando que a precipitação ocorrida não foi suficiente para causar mudança neste local, provavelmente também, por este ponto ser fortemente influenciado pelas águas cinzas provenientes da cidade de Upanema.

5.2.1.2 Efeito da espacialidade no IQA – NSF.

Observando o ponto MB, observa-se que apenas o IQA da segunda e da quarta coleta apresentaram os menores valores IQA. Estes resultados são influenciados pelos valores de CF que para este ponto na segunda coleta foi de 22 e na quarta de 17 NMP/100 mL, sendo estes aumentos relacionados, provavelmente, com a ocorrência de chuvas localizadas. Com as chuvas, as águas superficiais carregam para o leito d'água fezes humanas e de animais, acarretando o incremento nos valores de CF. Sendo um reservatório, como era esperado, este foi o ponto que apresentou melhores valores de IQA no Rio do Carmo. Morais *et al* (2009),

também obteve os mesma conclusão ao observa que a montante da barragem de Santa Cruz apresentou um melhor IQA, em função da mesma não manter um contato direto com a zona urbana, possuir uma quantidade de água significativa e não tem forte influência antrópica, devido aos baixos índices demográficos ao seu entorno. Outro fator que contribui para este resultado, diz respeito ao poder dispersivo e depurante que este ponto tem sobre todos parâmetros utilizados no cálculo do IQA.

Em relação ao ponto JU, observa-se para as coleta jan/2012 e mai/2012 praticamente foram encontrados os mesmo resultados de IQA. Já o IQA na coleta Nov/2011 apresentou um valor abaixo dos demais, situando-se no limite regular – bom. Este decréscimo na qualidade da água, esta relacionado ao elevado resultado para o parâmetro coliforme fecal que nesta coleta chegou a 1600 NMP/100 mL. Na quarta coleta a qualidade da água diminuiu em relação aas coletas de jan/2012 e mai/2012, comportamento explicado pelo grande aumento de DQO observado neste ponto, o qual deve ser função das águas cinzas da cidade em função da pronunciada estiagem tornar este volume de afluente muito importante nesta coleta. Quando relacionamos o ponto JU com ponto MB, verificou-se os efeitos da cidade de Upanema (maior cidade banhada pela bacia) nos resultados do IQA e percebe-se no geral um decréscimo na qualidade da água do ponto um (MB) para o ponto dois (JU). Morais *et al* (2009), também observou que a qualidade da água tende a diminuir nas regiões de alta influência da zona urbana. Isso ocorre, possivelmente, pelo escoamento dos esgotos sem tratamento da cidade de Upanema para leito do rio e está diretamente relacionado às precipitações pluviométricas (Figuras 21 e Figura 22) que precipitaram na região, antes das coletas e contribuíram para o aumento de poluentes na água pelo escoamento superficial.

Quando se observa os resultados do ponto AF e compara-se com o ponto MB e com o ponto JU, observa-se novamente o efeito do decréscimo da qualidade da água do Rio do Carmo. Assim com Carvalho *et al* (2000), os resultados sugerem que as atividades agrícolas na fazenda de melão, também, contribuem para a redução da qualidade da água do Rio do Carmo. Quando se observa os efeitos cumulativos dos pontos JU e AF, os mesmos causam uma redução ainda maior na qualidade da água do Rio do Carmo no ponto JF. Isso indica que, apesar das poucas precipitações pluviométricas ocorridas na região, em períodos antes de cada coleta, estas foram suficientes para carrear poluentes dos locais próximos aos pontos de coleta para o leito do rio por escoamento superficial, mas não foram suficientes para diminuir a concentração destes pelo efeito da diluição.

Assim, observa-se a tendência geral de redução da qualidade da água do Rio do Carmo, em comparação com o ponto MB, na medida em que se percorre o rio em direção a

sua foz no Rio Mossoró. Este fato pode ser explicado pelo o aumento e junção de fontes antrópicas, como comunidades, sítios, extração de petróleo, agricultura, criação de animais, à medida que se percorreu o Rio do Carmo no sentido da nascente para a foz.

Semelhanças à parte, vê-se que para a primeira coleta, o IQA calculado classificou a água deste ponto como regular. Este resultado está associado aos valores elevados do parâmetro CF. A presença de coliformes.esta associada à presença de fezes de humanas e de animais. Próximo a este ponto observou-se criação de gado e cabras, área de banho e ponto de captação de água.

5.2.2 IET

O processo de eutrofização em um corpo d'água pode ser definido como o processo de enriquecimento de nutrientes (fósforo, nitrogênio e sílica), que conseqüentemente aumenta a produtividade primária do meio (capacidade de manter e promover a vida). Apesar de ser um mecanismo natural de transformação de um manancial em floresta (escala geológica), o processo de eutrofização passou a ser um problema ambiental e de saúde, quando seu mecanismo passou a ser influenciado por atividades antrópicas. Segundo Oenema e Roesti, (1998, apud Rigueti (2009) os condicionantes do processo de eutrofização são os lançamentos de efluentes domésticos e industriais enriquecido de nutrientes, decorrentes do processo desordenado de urbanização das cidades e a inadequada cobertura de coleta e tratamento desses efluentes; características das regiões onde se encontram os mananciais, por muitas vezes solos ricos em micro e macronutrientes e o uso indiscriminado de fertilizantes ou de defensivos agrícolas, que terminam sendo carregados para o corpo d'água.

Apesar de seus efeitos serem mais acentuados em lagunas, lagos e reservatórios, o processo de eutrofização pode ser instalado também em rios. Segundo Van Sperlling (1996, apud Rigueti (2009), em rios este processo é atenuado devido às condições ambientais serem mais desfavoráveis para o crescimento de algas e outras plantas, como turbidez e velocidades elevadas.

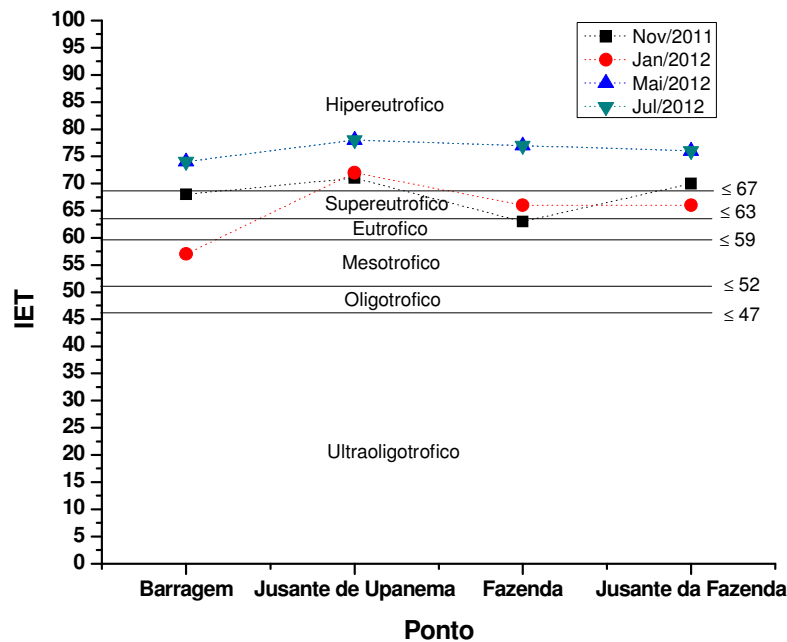
Em mananciais onde encontra-se instalado o processo de eutrofização, os usos da água são prejudicados pelo decréscimo da sua qualidade. Como exemplos têm-se o aparecimento de microalgas e cianobactérias que possuem em seu interior toxinas, que podem ser tóxicas para os seres humanos; diminuição do oxigênio dissolvido, com predominância das condições anaeróbicas, morte de peixe e toxicidade aumentada devido a uma elevação da concentração de

amônia e desaparecimento do lago devido ao acúmulo de material e vegetação em seu fundo. (VON SPERLING, 1996 apud RIGUETTI 2009; RIGUETTI 2009).

Uma forma de estudar o grau de trofia de um corpo d'água é utilizando o IET. Na literatura existem várias formas e modelos de cálculos de índice, mais independente de cada um, todos eles correlacionam os nutrientes com a biomassa algal. Para ambientes lênticos tem-se, principalmente, o índice de Carlson e o índice de Carlson modificado por Toledo e colaboradores, e para ambientes lóticos, temos o índice desenvolvido por Lamparelle, o qual baseia-se na medida da média do estado trófico para a clorofila *a* e do fósforo total (RIGUETTI, 2009; LAMPARELLI, 2004).

De forma geral, para o Rio do Carmo o estado trófico para os pontos estudados, conforme figura 24, variaram do limite eutrófico-supereutrófico à hipereutrófico, com exceção do ponto MB segunda coleta, que foi classificado como mesotrófico em função da baixa concentração de PT (0,0001 mg/L) nesta coleta, resultado que está fortemente ligado a seca registrada no período, já a principal fonte de fósforo neste ponto é o carreamento de fontes agrícolas. Para os demais pontos os resultados revelam que as águas deste rio são fortemente impactadas por atividades antrópicas e pela sazonalidade, apresentando índices que indicam no geral alta produtividade primária quando comparadas com o nível natural, com valores absolutos diferentes em função da época e local em que foram coletadas as amostras.

Figura 24 - Resultados do IET para os quatro pontos e as três coletas



Fonte: Alriberto Germano da Silva

5.2.2.1 Efeito da sazonalidade no índice de estado trófico – IET

Assim como no IQA, o efeito geral do início das chuvas (sazonalidade) proporcionou alteração no IET piorando a qualidade da água com relação a este índice. As exceções a este comportamento geral são resultados de atividades realizadas nos locais de coleta. Assim no ponto MB na segunda coleta ocorre uma melhora na qualidade, cuja explicação é a diluição das águas da barragem causada pelas primeiras chuvas e no ponto JF na primeira coleta ocorre um piora na qualidade, o qual está relacionado com as atividades de produção de melão na fazenda. Nesta época ocorre a coleta do melão que é lavado antes de ser colocado nas caixas. As atividades de coleta e lavagem aumentam a quantidade de matéria orgânica e nutrientes que são carreados para o rio o que acaba contribuindo para a piora na qualidade da água. Assim nota-se uma inversão no comportamento geral de ter a qualidade da água melhorada a partir JU e indo em direção à foz observada nas outras coletas.

5.2.2.2 Efeito da espacialidade no índice de estado trófico – IET

Em geral quando correlaciona-se o ponto JU com o de referência MB, para estudar o efeito da cidade de Upanema na qualidade da água do Rio do Carmo, observa-se que a mesma tem uma influência negativa. Em todas as coletas houve um aumento no valor do índice para o ponto JU, sendo este aumento ligado, possivelmente, a escoamento de efluentes domésticos, sem tratamento e ricos em nutrientes para o leito do rio.

Quando compara-se o ponto AF com o ponto MB, nota-se uma perceptível melhora na qualidade da água em todas as coletas. Na primeira e segunda coleta este ponto é classificado como supereutrófico. Isso permite inferir que da JU até a área da fazenda de melão as atividades da região não geram tanta influência na qualidade da água do Rio do Carmo, em termos de IET e esta melhora na qualidade da água esta associada à autodepuração e ao poder dispersivo, ao longo do rio até chegar neste ponto.

Com exceção da segunda coleta, IET diminuiu ligeiramente ou permaneceu igual no ponto JF, exceto para a primeira coleta onde observou-se um aumento no grau de trofia. Quando compara-se este ponto com o ponto AF nota-se a influência da fazenda de melão e o incremento causado pelos pequenos povoados (Suçuarana, Sítio Carmo, Melancias e Poço Verde) que assim como a cidade de Upanema têm seus efluentes lançados no leito do rio, além do desenvolvimento de atividades econômicas (agricultura, pecuária, piscicultura, extração sal e petróleo) que juntas aumentam o descarte de nutrientes na região em volta deste ponto.

5.3 PARÂMETROS INDIVIDUAIS: ASPECTOS LEGAIS

Neste item compararam-se os resultados individuais de cada parâmetro com os padrões de qualidade da água, prescrito pelos principais órgãos reguladores e fiscalizadores.

5.3.1 OD, DBO_(20°C, 5), e DQO.

Sabe-se que uma questão fundamental no processo de despoluição e ou autodepuração de ambientes aquáticos, é a oxidação química das substâncias potencialmente nocivas, em elementos não prejudiciais ao meio e aos seres de quem dele depende. Dentre os elementos oxidantes naturais mais importantes temos o oxigênio molecular dissolvido (O₂) (BAIRD, 2011).

O O_2 molecular dissolve em águas superficiais, principalmente, por processos mecânicos (quedas d'água) e biológicos (fotossíntese), sendo um elemento influenciado pela temperatura e pressão. Ainda segundo este mesmo autor, a quantidade deste elemento em águas naturais é pequena, variando de 14,7 mgO_2/L na temperatura de 0 °C e pressão de 1 atm a 7,0 mgO_2/L na temperatura de 35 °C e pressão de 1 atm, portanto, deficiente do ponto de vista ecológico. Sendo um elemento essencial na manutenção da vida aquática, sua concentração em valores muito baixos causa sérios problemas que vão desde a mortandade dos organismos aquáticos (asfixia) até a transformação em um ecossistema totalmente anaeróbico (BAIRD, 2011).

O oxigênio dissolvido na água atua principalmente na oxidação da matéria orgânica de origem biológica, tal como aquela encontrada em plantas mortas e restos de animais e em segundo lugar na oxidação de íons e moléculas, como amônia, amônio e nitrito. O equilíbrio do OD na água é influenciado principalmente pela concentração da matéria orgânica. Em mananciais com elevada carga orgânica, o consumo de OD, também, é elevado, acentuando o decréscimo da concentração de oxigênio na água. A capacidade da matéria orgânica e biológica em consumir o oxigênio em águas naturais, em um processo catalisado por bactérias, é chamada de demanda bioquímica de oxigênio (DBO). A DBO é igual à quantidade de oxigênio consumido como resultado da oxidação da matéria orgânica consumida na amostra. Outra maneira importante de quantificar a carga orgânica na água é utilizando um oxidante químico forte, mais especificamente o íon dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$). Este procedimento é denominado demanda bioquímica de oxigênio - DBO (BAIRD, 2011).

Segundo resolução CONAMA 357 (2005), em águas doces de classe III, a concentração de DBO não deve ser superior a 10 mg/L e a OD não deve ser inferior a 4 mg/L . De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 10 a 13 em todos os pontos a DBO encontra-se dentro dos limites permitidos pela resolução, com exceção dos pontos MB e AF na terceira coleta e do JF na primeira coleta. Já em relação ao OD em todos os pontos e coletas observou-se que os resultados estão de acordo com limite mínimo especificado na resolução CONAMA, exceto o ponto 2 da terceira coleta.

Com relação à DQO, a resolução CONAMA não estabelece valores máximos e ou mínimos para este parâmetro, isso porque em condições naturais, tem-se apenas o oxigênio dissolvido como oxidante principal da matéria orgânica. Outro ponto interessante é que em condições naturais não existe excedente de substâncias, isso porque em ambientes livres da ação humana tudo que é produzido e “descartado” pela natureza é passível de decomposição.

A UNESCO/WHO/UNEP estabeleceu os seguintes valores limites de DQO para água

superficial em função das características desse meio. Para águas superficiais livres de ação antrópica o valor limite de DQO é de 20 mg/L, para ambientes que recebem descarga de efluentes a DQO não pode ultrapassar o valor limite de 200 mg/L e para efluentes industriais o valor da DQO deve variar de 100 a 60.000 mg/L. Apesar de não estar prescrita na resolução CONAMA, ele não deixa de ser um parâmetro importante da demanda de oxigênio dissolvido na água, uma vez que, através da DQO em associação com a DBO pode-se inferir a quantidade de carga orgânica não biodegradável.

Para todos os pontos e em todas as coletas, os resultados estão dentro dos limites estabelecidos para mananciais que recebem efluentes diversos, ou seja, DQO abaixo de 200 mg/L. Este resultado era esperado, uma vez que as influências antrópicas sobre o Rio do Carmo não são tão severas, o que acaba contribuindo para uma melhor DQO. Resultado este, diferente do encontrado por Silva *et al.* (2009), ao estudarem o rio Apodi/Mossoró.

5.3.2 Turbidez

A turbidez de uma amostra de água em Unidade Nefelométrica de Turbidez (UNT) mede o grau de atenuação da intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. Esta diminuição do feixe de luz em águas superficiais decorre da presença de componentes orgânicos e inorgânicos como areia, sílta, argila, algas, bactérias, plâncton em geral, bem como de esgotos domésticos e industriais, sendo que a presença destes componentes, em águas superficiais, está associada principalmente ao escoamento de águas pluviais. Altos índices de turbidez geram problemas que vão desde a redução da fotossíntese produzida pela vegetação enraizada submersa e algas, o que acarreta um decréscimo do oxigênio dissolvido na água, até o comprometimento da estética e dos usos doméstico e industrial de corpo d'água (CETESB, 2008).

Assim como os resultados de DQO, neste caso comparado com os limites estabelecidos pela UNESCO/WHO/UNEP, os resultados de turbidez de todos os pontos e coletas estão de acordo com o prescrito na resolução CONAMA 357, onde a mesma determina que o valor máximo de turbidez para águas doces classe III seja de 100 UNT. Este resultado está condizente, principalmente, com o efeito sazonalidade da região. Assim como observado por Morais *et al.* (2009), observa-se que a sazonalidade aumenta ou diminui a concentração da turbidez de acordo com a época das chuvas e seus efeitos de concentração ou diluição da água.

5.3.3 Sólidos Dissolvidos Totais

Em um manancial, sólidos totais correspondem a toda matéria que permanece como resíduo após evaporação de uma amostra de água à temperatura de 103 a 105°C. A presença de elevados valores de sólidos em um recurso hídrico pode causar efeitos nocivos na vida aquática. Eles podem sedimentar no leito dos rios destruindo organismos que servem de alimentos, prejudicar a desova de peixes, reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo do rio, levando desta forma ao processo de decomposição anaeróbia. Altos teores de sais minerais, particularmente sulfato e cloreto, estão associados à tendência de corrosão em sistemas de distribuição, além de conferir sabor às águas (CETESB, 2009; BASTOS, 2007).

Com base nos resultados das tabelas acima constamos que os resultados de sólidos totais estão de acordo com a resolução CONAMA, que definiu o valor máximo de 500 mg/L de sólidos para águas doces classe III. De origem natural, devido a decomposição de rochas, assim como antrópicas, observa-se que esta última fonte não tem influência nos resultados encontrados, diferentemente dos valores encontrados por Martins *et al.* (2008a).

5.3.4 Condutividade

De acordo com a CETESB medidas de condutividade acima de 100 uS/cm são um indicativo de ambientes impactados. Para UNESCO/WHO/UNEP (1996), a condutividade em águas doces naturais varia de 10 a 1000 uS/cm, sendo que acima de 1000 uS/cm são águas que recebem grandes quantidades de sólidos dissolvidos totais. Ainda de acordo com este mesmo autor, a medida da condutividade elétrica, além de ser um ótimo indicador do conteúdo mineral dissolvido, também pode ser usada para medir e estabelecer a zona de poluição, como por exemplo, em torno da área de descarga de efluentes e a medida da extensão dos efeitos do efluente.

Levando em consideração o que afirma a CETESB, ou seja, condutividade acima de 100 uS/cm indica locais impactados por poluição, observa-se que os quatro pontos e em todas as coletas apresentam-se como ambientes impactados, uma vez que a condutividade varia de no mínimo 145,2 (MB, 3ª coleta) a 593 uS/cm (JF, 1ª coleta). Observa-se que o maior valor é encontrado a jusante da fazenda indicando uma forte contribuição desta fonte. Os valores altos de condutividade na JF indicam a influência negativa da agricultura intensiva de melão, principalmente na 1ª coleta, sendo que este resultado está relacionado com o revolvimento da terra e lavagem dos frutos nesta época de coleta dos frutos. Os resultados são

semelhantes aos encontrados por Martins *et al.* (2008a; 2008b) em trabalhos realizados em rios da região.

5.3.5 pH

Apesar de apresentar um nome que não sugere sua importância, o potencial hidrogeniônico, pH, tem um relevante significado ambiental. Ele interfere tanto no sistema biótico como abiótico de um recurso hídrico. Ele atua diretamente nos equilíbrios químicos em ambientes naturais e na fisiologia de espécies aquáticas, assim como indiretamente, como é seu efeito sobre a precipitação de elementos químicos tóxicos como metais pesados e sobre a solubilidade de nutrientes. Também tem seus efeitos em processos de tratamento de água, uma vez que dependendo do pH é que ocorrem processos como coagulação e floculação. A legislação federal estabelece para águas doces classe III o intervalo de pH de 6,0 a 9,0. Assim como Martins *et al.* (2008a, 2008b), em trabalhos desenvolvidos no rio Apodi/Mossoró, os pontos monitorados no Rio do Carmo, nas quatro coletas todos os valores de pH estão inseridos nesta faixa de pH.

5.3.6 Temperatura

Segundo a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo a temperatura é parte do regime climático normal e corpos de água naturais apresentam variações sazonais e diurnas, bem como estratificação vertical. A temperatura superficial é influenciada por fatores tais como latitude, altitude, estação do ano, período do dia, taxa de fluxo e profundidade. A elevação da temperatura em um corpo d'água, geralmente, é provocada por despejos industriais (indústrias canavieiras, por exemplo) e usinas termoelétricas. A temperatura desempenha um papel crucial no meio aquático, condicionando as influências de uma série de variáveis físico-químicas. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, viscosidade, tensão superficial, compressibilidade, calor específico, constante de ionização e calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam. Organismos aquáticos possuem limites de tolerância térmica superior e inferior, temperaturas ótimas para crescimento, temperatura preferida em gradientes térmicos e limitações de temperatura para migração, desova e incubação do ovo (CETESB, 2009).

Os resultados de temperatura como esperado, em função da ausência de fontes térmicas poluidoras, possuem valores que estão dentro da normalidade. Os valores de T

giraram em torno de 28 a 30°C, indicando que as águas do Rio do Carmo não recebem descargas de águas em elevadas temperaturas. Os resultados são semelhantes aos encontrados em outros trabalhos realizados em rios da região (MARTINS *et al.* 2008a, 2008b; SOUZA, 2009).

5.3.7 Coliformes totais e *E.Coli*

Coliformes Fecais, medido pela bactéria *Escherichia coli*, faz parte de uma classificação maior de coliformes, denominada coliforme termotolerantes. Como definição, coliformes termotolerantes são microorganismos capazes de fermentar a lactose em temperaturas de 44 a 45 °C. Além da *Escherichia coli*, pode-se encontrar outros grupos de bactérias como a dos gêneros *Klebsiella*, *Enterobacter* e *Citrobacter*, mas, entretanto apenas a *Escherichia coli* é de origem exclusivamente fecal, estando sempre presente em níveis populacionais elevadas nas fezes de humanos, mamíferos e de pássaros e sendo raramente encontrada na água ou no solo, a não ser que tenham recebido alguma contaminação oriunda de fezes.

A resolução CONAMA nº 357/2005, apenas estabelece valores máximos permitidos para coliformes termotolerantes. Onde segundo a mesma, para águas doces classe III o valor de coliformes termotolerantes (água de recreação de contato secundário) não deve ser superior à 2500 NMP/100 ml em 80% ou mais de pelo menos seis amostras, coletadas durante um período de um ano, com frequência bimestral. Para dessedentação de animais criados confinados não deve exceder o limite de 1000 NMP/100 mL em 80% ou mais de pelo menos seis amostras, coletadas durante um período de um ano, com frequência bimestral. Para os demais usos, não dever ser excedido o limite de 4000 NMP/ml em 80% ou mais de pelo menos 6 amostras coletadas durante um período de um ano, com periodicidade bimestral. Para este trabalho não foi possível comparar com os valores de coliformes termotolerantes da resolução CONAMA, em virtude de nossas coletas não atenderem os requisitos de espacialidade e tempo que são estabelecidos pela referida resolução. No entanto todos os resultados indicam valores acima do permitido para dessedentação de animais criados confinados, o qual não deve exceder o limite de 1000 NMP/100 mL. Os resultados são semelhantes aos encontrados nos trabalhos de Morais *et al.* (2009) e Rio Grande do Norte (2012) em outros trabalhos realizados em rios da região

5.3.8 Clorofila “a”

A clorofila é um pigmento fotossintético presente em todos os organismos fitoplanctônicos sejam eles eucarióticos (algas) ou procarióticos (cianobactérias). Existente em varias formas (*a*, *b*, *c*, e *d*). A clorofila *a* é a mais universal das clorofilas e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas e é, por isso, um indicador da biomassa algal (CETESB, 2009; UNESCO/WHO/UNEP, 1996). Segundo Di Bernardo (1995, apud Kuroda *et al.* (2005), a presença de organismos fitoplanctônicos em águas destinadas ao abastecimento público trazem consequências diretas a qualidade da água, tais como: (a) aumento de matéria orgânica particulada, (b) aumento de substâncias orgânicas dissolvidas que podem conferir odor, e sabor à água, (c) ser precursores de formação de compostos organoclorados, apresentar toxicidade e incrementar a cor da água, (d) aumento do pH e de suas flutuações diárias e (e) diminuição do teor de oxigênio próximo ao sedimento, o que pode levar a liberação de sulfeto de hidrogênio, amônia, ferro, fósforo entre outros.

Segundo a resolução CONAMA nº 357/2005 o valor máximo, como padrão de qualidade, para clorofila *a* em águas doces classe III é de 60 ug/L. De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas de 10 a 13, percebe-se que em todos os pontos, os resultados estão de acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005. Este resultado encontra-se contrariamente ao encontrado por Oliveira *et al.* (2010), principalmente quando se observa os efeitos dos centros urbanos no enriquecimento do meio aquático por nutrientes.

5.3.9 Fósforo total

A presença de fósforo em águas naturais esta associada principalmente à descarga de esgotos sanitários (matéria orgânica fecal e surfactantes), alguns efluentes industriais, como os de indústrias de fertilizantes, pesticidas, químicos em geral, conservas alimentícias, abatedouros, frigoríficos, laticínios e as águas drenadas de áreas agrícolas e urbanas. O principal problema desencadeado por elevadas concentrações de fósforo em um manancial d'água, esta relacionado ao processo de eutrofização, isso porque o fósforo, assim como o nitrogênio, constitui um nutriente limitante para processos biológicos.

Com exceção do ponto JU, que na terceira coleta apresentou concentração no limite permitido pela resolução federal, 0,15 mg/L de fósforo total para ambiente lótico e tributários de ambiente intermediários, todos os pontos estão dentro dos limites estabelecidos pela

referida legislação. O valor encontrado neste ponto é influenciado pela cidade de Upanema e assim como Silva *et al.* (2009), observou que os valores de fósforo total são fortemente influenciados pela sazonalidade e pelas atividades antrópicas.

5.3.10 Nitrato, nitrito, amônia e nitrogênio total.

Assim como seu processo de entrada nos recursos superficiais d'água, as formas e interconversões da série do nitrogênio são complexas e dinâmicas. As fontes que concorrem para presença de nitrogênio na água são de origem natural (nitrogênio atmosférico, fixação química e matéria orgânica de origem vegetal e natural) e antropogênica (efluentes domésticos, industriais e agrícolas, águas pluviais dos centros urbanos e outros).

Em condições aeróbicas (presença de oxigênio) o nitrogênio é encontrado, principalmente, nas formas oxidadas nitrito e nitrato. Já as formas reduzidas amônia e íons amônio, são encontrados quando condições anaeróbicas estão presentes em um recurso superficial d'água. Em concentrações elevadas, as formas de nitrogênio nitrato, nitrito e amônia acarretam problemas de intoxicação e morte dos peixes e o aumento do consumo do oxigênio dissolvido na água. Em seres humanos altas concentrações de nitratos causa a doença metahemoglobinemia, que afeta principalmente crianças (CETESB, 2009).

A resolução CONAMA nº357/2005 estabelece limites máximos apenas para os parâmetros nitrato, nitrito e amônia, conforme coluna cinco das Tabelas 10 a 13. Já em relação ao nitrogênio total, referida resolução não determina seu valor limite.

Observa-se que os resultados dos parâmetros analisados estão de acordo com norma federal vigente, já que em todos os pontos e coletas os resultados destes parâmetros encontram-se relativamente baixos e de acordo com a resolução CONAMA. Oliveira *et al.* (2009), ao estudar o comportamento da série nitrogenada na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, encontrou resultados semelhantes.

5.3.11 Cloreto

Presente nas águas sobre a forma de Cl^- , as principais fontes de entrada de cloreto nos cursos de d'água superficiais estão associado a deposição atmosférica de aerossóis oceânicos, desgaste natural de algumas rochas sedimentares (principalmente depósitos de rocha de sal), descarga de efluentes industriais, agrícolas e esgotos sanitários. Elevadas teores de cloreto são geralmente encontrados perto de locais onde ocorre descarga de esgotos, de efluentes

petrolíferos, de cortumes, de origem farmacêutica, de irrigação e de drenagem ou onde ocorre intrusões de água salgada em zonas costeiras. O cloreto não apresenta toxicidade ao ser humano, exceto no caso da deficiência no metabolismo de cloreto de sódio, por exemplo, na insuficiência cardíaca congestiva. Em elevadas concentrações (valores acima de 250 mg/L) o cloreto conferir sabor salgado água, interfere no tratamento anaeróbico de efluentes industriais e na análise de DQO. Ele exerce influência nas características dos ecossistemas aquáticos naturais, por provocar alterações na pressão osmótica em células de microrganismos (CETESB, 2009; UNESCO/WHO/UNEP, 1996).

Como padrão de qualidade d'água a resolução CONAMA estabelece o valor máximo de 250 mg/L de cloreto em águas doce da classe III. Com base nos resultados de cloreto, apresentados nas Tabelas de 10 à 13, observa-se que todos os resultados estão em conformidade com a resolução.

5.3.12 Cálcio, magnésio e dureza total

Para os íons cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}) não foram estabelecidos valores limites de qualidade da água, uma vez que dependendo do solo e da região onde está inserido o recurso hídrico, suas concentrações podem ser elevadas naturalmente. Esses íons são importantes quando associado à dureza total da água. Por definição a dureza total consiste da soma dos íons cálcio e magnésio na água. A portaria nº 518/2004 da ANVISA estabelece 500 mg/L para águas de consumo humano. Em comparação com esta portaria, percebe-se que os resultados de dureza estão bem abaixo dos valores limites permitidos pela ANVISA.

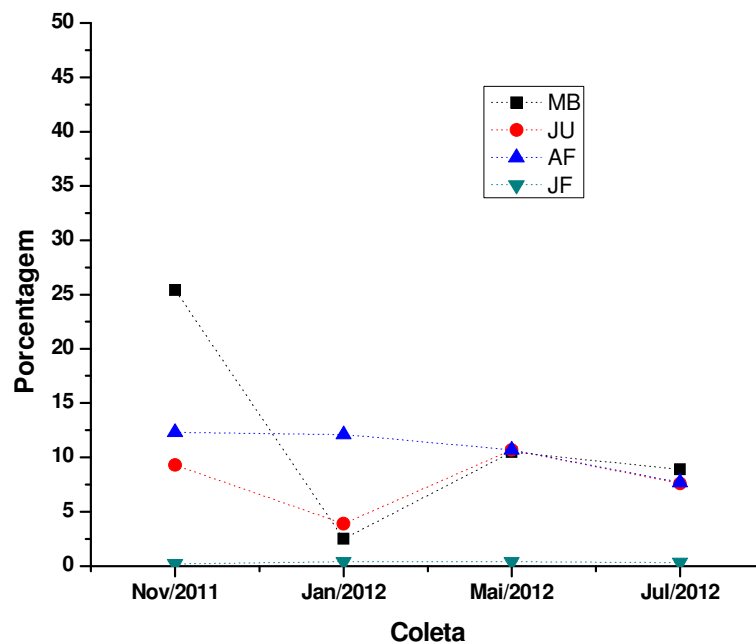
5.3.13 Perfil do sedimento

Para verificar o perfil granulométrico dos sedimentos (tabela 14), classificou-se o perfil em duas categorias: areia grossa, formado por areia grossa e média e areia fina formada por areia fina, silte e argila.

Tabela 14 – Perfil granulométrico dos sedimentos

PONTO	Nov/2011		Jan/2012		Mai/2012		Jul/2012	
	A.Grossa	A. Fina	A.Grossa	A. Fina	A.Grossa	A. Fina	A.Grossa	A. Fina
MB	74,7	25,4	97,9	2,5	88,3	10,5	91	8,9
JU	90,2	9,3	96	3,9	89,3	10,7	91,7	7,6
AF	0,0	12,3	86,7	12,1	89,3	10,7	91,6	7,7
JF	99,1	0,2	99,9	0,4	92,2	0,4	99,6	0,3

Observa-se que a pluviometria contribui para alteração da fração de areia fina diminuindo a quantidade carregada para o leito do rio em todos os pontos no período seco, exceto no ponto a JF onde permanece praticamente constante (vide figura 25 e figura. 21). No ponto AF essa diminuição da fração fina não se verifica em função da atividade de colheita e limpeza dos melões que carrega material orgânico fino para o leito do rio.

Figura 25 - Variação da areia fina, em função da época de coleta.

Fonte: Alriberto Germano da Silva

5.4 PARÂMETRO ORGÂNICO: IMIDACLOPRIDO

O modelo do agronegócio, onde vemos a expansão da produção para exportação e/ou para alimentar animais em regime de monocultura e confinamento, regente e crescente no Brasil, tem o uso de agroquímicos como o principal meio de controle fitossanitários nas

lavouras. Para Gonçalves (2007), os pesticidas são substâncias químicas produzidas com a finalidade de controlar doenças ou matar plantas daninhas e insetos que possam possibilitar um risco à produção das culturas. Nos últimos três anos o Brasil tem ocupado o ao primeiro lugar em consumo de agrotóxicos no mundo, seguido pelos EUA (CARNEIRO, 2012a). Segundo a ANVISA & UFPR (2012, apud Carneiro (2012), o mercado nacional no segundo semestre de 2010 e o primeiro semestre de 2011, movimentou 936 mil toneladas de produtos, sendo 833 mil toneladas produzidas no País, e 246 mil toneladas importadas. Ainda de acordo com Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas-SINDAG (2012), o mercado nacional movimentou cerca de US\$ 7,3 bilhões e representou 19% do mercado global de agrotóxicos. Em 2011 houve um aumento de 16,3% das vendas, alcançando US\$ 8,5 bilhões sendo que as lavouras de soja, milho, algodão e cana-de-açúcar representam 80% do total das vendas do setor.

De acordo com CARNEIRO (2012a), os impactos à saúde pública são amplos porque atingem vastos territórios e envolvem diferentes grupos populacionais como trabalhadores em diversos ramos de atividades, moradores do entorno de fábricas e fazendas, além de todos nós que consumimos alimentos contaminados. Um ponto interessante nesta discussão diz respeito a contaminação dos mananciais de água superficial, sub-superficial e subterrâneos.

Segundo Barriuso *et al* (1996), cerca de 20% das quantidades dos agrotóxicos usados como tratamento profilático de plantas, podem alcançar as águas superficiais, sendo que percentual não é ainda mais elevado, em virtude de existência de mecanismos (adsorção) que dificultam a mobilidade das moléculas de agrotóxicos. Entretanto este mecanismo é afetado quando os solos, desprotegidos de vegetação, são erodidos pelo deflúvio superficial, sendo o sedimento contendo o pesticida levado ate o recurso hídrico.

Segundo Carneiro (2012a), o Brasil possui cerca de 434 ingredientes ativos (IA) e 2.400 formulações de agrotóxicos registrados no Ministério Saúde (MS), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Ministério do Meio Ambiente (MMA), sendo permitidos no Brasil de acordo com os critérios de uso e indicação estabelecidos em suas Monografias. Porém, dos 50 mais utilizados nas lavouras de nosso país, 22 já são proibidos em outros países como, por exemplo, na União Européia. Dentre esses, temos o imidacloprido um neonicotinóide da primeira geração que apresenta um grupo cloropiridinil (CP) heterocíclico (LOPES, 2008).

O ingrediente ativo imidacloprido é o principio ativo de varias formulações de inseticidas utilizados no combate a pragas e ou insetos urbanos e rurais (vide tabela 15). Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitário-ANVISA (2013), o imidacloprido tem

como classificação toxicológica III, ou seja, ele possui Dose Letal 50 (DL₅₀) de 500 mg a 5000 mg por quilograma de peso vivo e IDA (Ingestão Diária Aceitável) de 0,05 mg/Kg por peso corporal. Para o Conselho da União Europeia (1998), estabelece em sua Diretiva 98/83/CE que o limite máximo deste ingrediente ativo, em águas destinadas ao consumo humano, não deve ultrapassar o valor de 0,1 $\mu\text{g/L}$. Para Gonzáles- Pradas *et al.* (2002) o imidacloprido tem um efeito residual muito longo.

Tabela 15 - Culturas e praga onde é autorizado o uso de produtos formulados com imidacloprido.

LOCAL	CULTURA/PRAGA
Área foliar	Alface, algodão, alho, almeirão, banana, batata, berinjela, cebola, citros, couve, couve-flor, crisântemo, eucalipto, feijão, fumo, gérbera, goiaba, jiló, mamão, manga, maracujá, melancia, milho, palma forrageira, pepino, pimentão, pinus, poinsettia, soja, tomate, melão, trigo e uva.
Mudas de culturas	Abacaxi, abóbora, abobrinha, brócolis, chicória, couve-flor, eucalipto, melancia, melão, pepino, repolho.
Solo	Cana-de-açúcar, café, eucalipto, fumo e pinus.
Tronco	Café, citros, mamão, pêssego e uva.
Sementes	Algodão, amendoim, arroz, aveia, cevada, feijão, girassol, mamona, milho, soja, sorgo e trigo.
Insetos	Cupins e mosca branca

Fonte: ANVISA (2013).

Segundo a CCME (2007), as propriedades física-químicas do imidacloprido em ambientes aquosos e edáficos, estão correlacionadas à fatores como exposição à luz, pH, temperatura, comunidade microbiana e matéria orgânica. Tem baixa volatilização e quando presente no ar, em forma de aerossol, e rapidamente foto-degradado e transformado em radicais fotoquímicos, indicando baixa persistência no ar. Na água, a persistência é bem mais elevada do que no ar. Levando em consideração a frequência de variação da luz durante o dia, o tempo de meia vida do imidacloprido em sistemas aquáticos é de varia em torno de 4 dias. No solo, o tempo de persistência varia de 80 dias à 2 anos, evidenciando uma significativa resistência a degradação (CCME, 2007).

5.4.1 Resultados das análises.

Ao serem aplicadas nas culturas todas as moléculas de pesticidas fazem parte do ambiente, mesmo após terem realizado a função para qual foram sintetizadas, permanecendo seu efeito biológico em ambientes como solo e água. De acordo com a Empresa Brasileira de

Pesquisa Agropecuária (EMPRAPA) afirma que existe normalmente uma “deriva técnica” que acontece com os atuais equipamentos de pulverização, que mesmo com calibração, temperatura e ventos ideais, eles deixam apenas 32% dos agrotóxicos pulverizados retidos nas plantas, enquanto 19% são carregados pelo ar para outras áreas circunvizinhas da aplicação e 49% vão para o solo. Parte desses tóxicos se evapora, parte contamina o lençol freático e outra parte se degrada (CHAIM, 2004).

De acordo com o método de GOSS, descritos nas tabelas 16 e 17, podemos prever potencial de contaminação das águas superficiais. De acordo com este método, os pesticidas são classificados em alto e baixo potencial de contaminação em função do transporte associado aos sedimentos ou dissolvidos em água, sendo que as substâncias que não se enquadram em nenhum dos critérios citados são consideradas de potencial intermediário de contaminação para águas superficiais (MARQUES, 2005 apud MILHOME, 2009).

Tabela 16- Método de GOSS para avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais pelo sedimento

Potencial de transporte associado ao sedimento			
Classificação	DT50_{solo}(d)	K_{oc} (mL/g)	S (mg/L)
Alto potencial	≥ 40	≥ 1000	-
	≥ 40	≥ 500	≤ 0,5
Baixo potencial	< 1	-	-
	≤ 2	≤ 500	-
	≤ 4	≤ 900	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 500	≥ 0,5
	≤ 40	≤ 900	≥ 2

Tabela 17 -Método de GOSS para avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais pelo sedimento

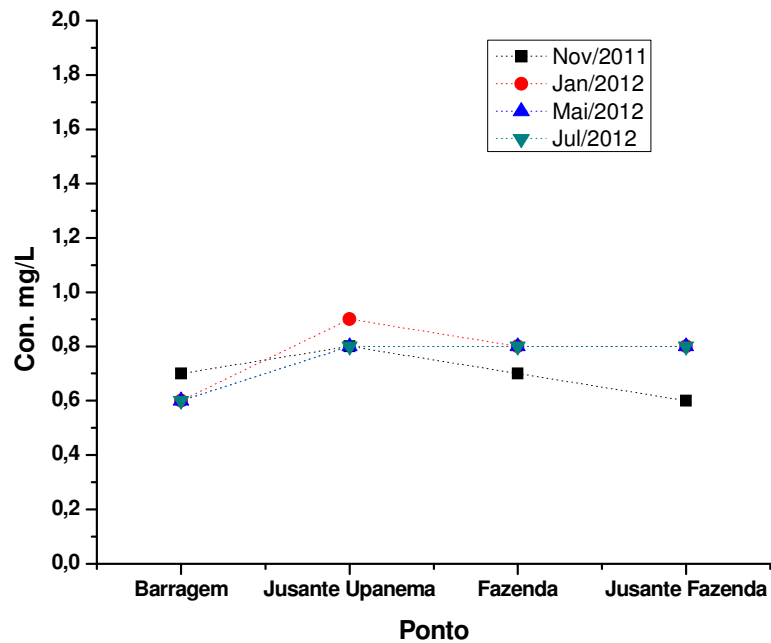
Potencial de transporte dissolvido em água			
Classificação	DT50_{solo}(d)	K_{oc} (mL/g)	S (mg/L)
Alto potencial	> 35	< 100000	≥ 1
	< 35	≤ 700	≥ 10 e ≤ 100
Baixo potencial	-	≥ 100000	-
	≤ 1	≥ 1000	-
	≤ 35	-	< 0,5

DT50: meia-vida; Koc: coeficiente de adsorção à matéria orgânica; S: solubilidade em água

De acordo com o método de GOSS, o IA imidacloprido tem médio potencial de transporte associado ao sedimento e alto poder de transporte dissolvido em água. Resultado que confirma que como destino final deste IG são os recursos hídricos.

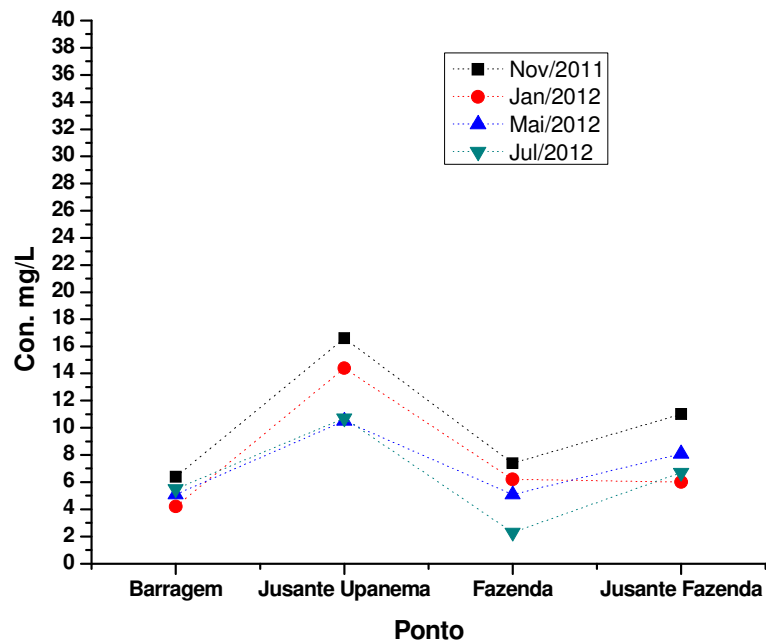
As figuras 26 e 27 mostram os resultados das concentrações residuais de imidacloprido na água e nos sedimentos nas diversas coletas e pontos analisados.

Figura 26 - Concentração do imidacloprido na água nas quatro coletas



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Figura 27 - Concentração de imidacloprido nos sedimentos nas quatro coletas.



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Os resultados mostraram que as concentrações do IA imidacloprido foram significativamente maiores nos sedimentos que na água. Apesar de seu médio potencial transporte associado ao sedimento, a chuvas anteriores as coletas foram suficiente para lixiviar este IA dissolvido na água, bem como adsorvido aos coloides do solo (GONÇALVES, 2007). Além disso, este resultado está associado ao tempo de meia vida no solo, que segundo CCME (2007), varia varia de 80 dias a dois anos aproximadamente, enquanto na água, levando em consideração a intensidade da variação da luz, seu tempo de persistência é de mais ou menos 4 dias (CCME (2007)).

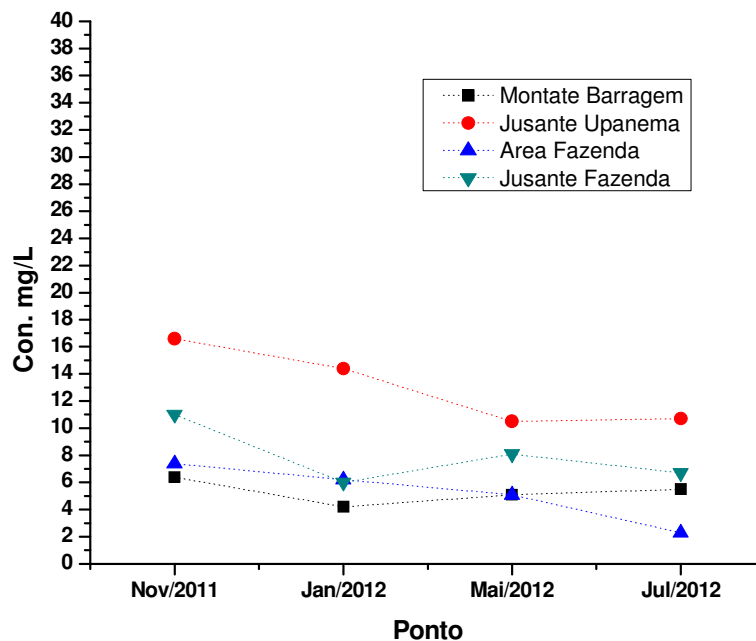
Apesar de recente, os estudos e impactos desse IA em mananciais de água superficiais, subterrâneas e sedimento. Bortoluzzi *et al.* (2005), em estudos sobre a contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo-RS, registrou as concentrações de IA variando de 0,38 à 1,09 $\mu\text{g/L}$. Rigotto (2011), no estudo agrotóxicos, trabalho e saúde: vulnerabilidade e resistência no contexto da modernização agrícola no Baixo Jaguaribe/CE, encontrou resíduos de imidacloprido em águas destinadas ao consumo humano. O resultado encontrado é muito maior que a concentração desse resíduo determinado em outros trabalhos (VILCHES *et al.*, 1996; BORTOLUZZI *et al.*, 2005 E SILVA *et al.*) e que a permitida em legislações internacionais que são da ordem de 0,1 $\mu\text{g/L}$

em todas as legislações e da mesma ordem que os pesticidas regulamentados na resolução 357 do CONAMA que também estabelece limites nesta ordem. (FELSOT e RUPPERT, 2002 e 2004; HAMILTON *et al*, 2003).

A concentração encontrada na água se situa numa faixa estreita (entre 0,6 e 0,9 ppm) e se nota uma diferença significativa apenas no ponto JU indicando o efeito do descarte deste resíduo na cidade de Upanema. Apesar de ser empregado mais fortemente em culturas de melão e melancia para o combate de insetos sugadores, este princípio ativo também entra na composição de outros produtos destinados a pragas como cupins (vide tabela 13), baratas e pulgas. Após este ponto os resíduos tendem a diminuir ou permanecer constante na água, indicando a sua passagem da água para os sedimentos ou a sua degradação.

Os resultados nos sedimentos mostram também (vide figura 28), uma forte influencia dos principais agentes antrópicos presentes na área de estudo com os valores subindo após a cidade de Upanema e após a fazenda de melão em todas as coletas, ou seja, independentemente da sazonalidade os valores aumentam após passarem por pontos fortemente antrópicos.

Figura 28 - Variação da concentração de imidacloprido no sedimento em função da época de coleta



Fonte: Alriberto Germano da Silva

Com respeito a sazonalidade percebe-se que em geral a chegada das chuvas resulta numa diluição e diminuição da concentração do resíduo em todos os pontos analisados como mostrado na figura 28.

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária estabelece máximo de imidacloprido de acordo com a cultura em que é empregado. Já em relação ao IDA, ela estabelece o valor de 0,05 mg/Kg por peso corporal (ANVISA, 2012). A legislação japonesa (HAMILTON *et al.*, 2003) estabelece o limite de 200 µg/l para imidacloprid na água. A National Institute for Public Health and the Environment - RIVM (2008), para águas destinadas ao consumo humano, a concentração do imidacloprido não pode exceder 0,1 ug/L. Cabe destacar que estes valores são muito menores que os encontrados na água estudada indicando que as concentrações são muito altas e podem estar causando graves problemas ambientais a fauna do rio. Neste sentido vários trabalhos mostram que este composto é tóxico e mata artrópodes e microcrustáceos como a artemia.(LETTER, 2008; TEIXEIRA, 2008). De acordo com Gonçalves *et al.* (2007), quando os valores do coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}) e menor do 1,0 os pesticidas tem possuem fatores de bioacumulação para a vida aquática pequena, sendo que para o imidacloprido este valor é de 0,57. Neste sentido cabe destacar que a artemia faz parte da cadeia alimentar da carcinicultura, importante atividade econômica desenvolvida no curso inferior do rio e no seu estuário e que foram encontrados grandes quantidades de caramujos mortos a margem do ponto MB como mostrado na figura 5.

6 CONCLUSÕES

De acordo com resultados obtidos e dos princípios legais da resolução CONAMA nº 357/2005, dos valores dos IQAs e IETs e do parâmetro orgânico pode-se concluir que:

- a- o Rio do Carmo na região estudada pode ser classificado como rio de água doce da classe III;
- b- todos os valores de condutividade estão fora do limite previsto pela CETESB;
- c- no geral todos os parâmetros estudados, salvo os valores de condutividade, coliformes e alguns valores de DBO e um OD, estão dentro dos limites previstos das legislações, indicando que apesar de uma região fortemente influenciada pelo o homem o rio do Carmo ainda apresenta uma boa qualidade de suas águas (de acordo com o IQA obtido), embora já seja perceptível a influência antrópica na degradação desses recursos,
- d- Os resultados obtidos são influenciados pela espacialidade e sazonalidade;
- e- o grau de trofia, calculado pelo IET, indica que as águas do Rio do Carmo são ricas em nutrientes e com uma produtividade primaria alta, indicando que fontes urbanas (cidade de Upanema), as atividades agrícolas (cultura do melão) e outras fontes difusas de poluição, juntas corroboram para o aumento do grau de trofia do rio.
- f- a concentração dos resíduos do inseticida pesquisado se encontra muito alta na água, de acordo com as regras recomendadas pela RIVM e são absurdamente altas nos sedimentos, o que pode estar causando severos danos a fauna do rio.

Estas informações indicam para sociedade civil e nossos representantes a importância de abrir os olhos e propor e cobrar ações que possam mitigar os efeitos antrópicos detectados no Rio do Carmo.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Monografias de agrotóxicos autorizadas: imidacloprido**. Brasília, 2013. DF. [On-line]. Disponível em: < <http://portal.anvisa.gov.br/wps/content/Anvisa+Portal/Anvisa/Inicio/Agrotoxicos+e+Toxicologia/Assuntos+de+Interesse/Monografias+de+Agrotoxicos/Monografias> >. Acesso em fev. 2013

ALMEIDA, Carlos Alano Soares. **Uso de agrotóxicos na cultura do melão (*Curcuma melo L.*) no município de baraúnas/RN: um estudo de caso**. 2001. 130 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2001.

ANGELIM, Luiz Alberto de Aquino; *et al.* CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte - Escala 1:500.000**. Recife, 2007.

American Public Health Association - APHA. **Standart methods for the examination of water and wastewater**. 21 th ed. Washington, 2005.

ARAÚJO, Valdiery Silva de; SANTOS, Jerônimo Pereira dos; ARAÚJO, André Luiz Calado. Monitoramento das águas do rio Mossoró/RN, no período de Abril/2005 a julho/2006. **Holus**. A. 3, maio de 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9897**: Planejamento de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844 p.

BARRIUSO, E.; CALVET, R.; SCHIAVON, M.; SOULAS, G. Les pesticides et les polluants organiques des sols: transformations et dissipation. *Étude et Gestion des Sols*. **Ardon**, v.3, n.4, p.279-296, 1996.

BORTOLUZZI, Edson C. *et al.* **Contaminação de águas superficiais por agrotóxicos em função do uso do solo numa microbacia hidrográfica de Agudo, RS**. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.* [online]. 2006, vol.10, n.4, pp. 881-887. ISSN 1807-1929.

BASTOS, Ivan César de Oliveira. **Avaliação do índice da qualidade da água no Ribeirão Capim, Médio Rio Doce – Governador Valadares, MG.** 2007. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Governador Valadares, 2007.

BEZERRA, Gildson Souza. **Os impactos ambientais da cultura do melão no município de baraúnas/RN.** 2001. 100 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós- graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil:** 2012. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2012. 264 p.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518, de 25 de março de 2004. **Série E:** legislação de saúde. Brasília: editora MS, 2005.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 274, de 2000. **CONAMA:** resoluções e outros atos. Brasília, DF, 29 nov. 2000. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res00/res27400.html> > Acesso em: 20 fev. 2013.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n.º 357, de 2005. **CONAMA:** resoluções e outros atos. Brasília, DF, 17 mar. 2005. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459> > Acesso em: 15 set. 2011.

CANADIAN. CCME. Canadian Council of Ministers of the Environment. **Canadian Water Quality Guidelines :** Imidacloprido. Scientific Supporting Document. Winnipeg, 2007.

CASTRO, Kelly Neoob de Carvalho. **Métodos de quantificação de imidacloprido em soluções aquosas:** validação metrológica e comparação entre absorciometria molecular e cromatografia líquida de alta eficiência 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado em Metrologia, Qualidade e Inovação) – Pontifca Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

CARNEIRO, F F; PIGNATI, W; RIGOTTO, R M; AUGUSTO, L G S. RIZOLLO, A; MULLER, N M; ALEXANDRE, V P. FRIEDRICH, K; MELLO, M S C. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde.** ABRASCO, Rio de Janeiro, abril de 2012. 1ª Parte. 98p.

CARNEIRO, F. F.; PIGNATI, W.; RIGOTTO, R. M.; FRIEDRICH, K.; FARIA, N. M. X.; BÚRIGO, A. C.; FREITAS, V. M. T.; GUIDUCCI Filho, E. AUGUSTO, L. G. S.. **Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde**. ABRASCO, Rio de Janeiro, Janeiro, 2012. Parte 2: Agrotóxicos, Saúde, Ambiente e Sustentabilidade. 138 p.

CARVALHO, Adriana Rosa; SCHLITTLER, Flávio Henrique Mingante; TORNISIELO, Valdemar Luiz. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. **Química Nova**, v. 23, n. 2, 2000.

CHAPMAN, D. ; KIMSTACH, V. Chapter 3: selection of water quality variables. In: UNESCO/WHO/UNEP. **Water Quality Assessments: a Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring**. 2. ed. London EC4) 4EE: WHO by F & FN Spon, 1996. 651 p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resoluções do CONAMA**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008 – 2. ed. / Conselho Nacional do Meio Ambiente. – Brasília: CONAMA, 2008. 928 p.

CONSELHO DA UNIÃO EUROPÉIA. Diretiva 98/83/CE. Relativa a qualidade de águas destinadas ao consumo humano. Jornal oficial da Comunidade Européia. Bruxelas. L 330/32, 1998. 23p.

COSTA, Emily Cintia Tossi de Araújo. **Diagnóstico ambiental das águas do estuário Jundiá-Potengi pela determinação dos índices de qualidade da água e toxidez**. 2008. 133 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Química, Natal, 2008.

CHAIM, Aldemir. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos: fatores que afetam a eficiência e o impacto ambiental. In: Silva, C. M. M de S., Fay, E. F. **Agrotóxicos & Ambiente**. Brasília: Embrapa, 2004. p. 289-317.

DERISIO, Jose Carlos. **Introdução ao Controle de Poluição Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Signus, 2007. 192 p.

FERNANDEZ-ALBA, Amadeo R.; VALVERDE, Antonio, AGUERA, Ana; CONTRERAS, Mariano; CHIRON. Serge. Determination of imidacloprid in vegetables by highperformance liquid chromatography with diode-array detection. **Journal of Chromatography A**, n. 721, p. 97-105, 1996.

FERREIRA, Luiz Mario; IDE, Carlos Nobuyoshi. Avaliação comparativa da sensibilidade do IQA-NSF, IQA-Smith e IQA-Horton, aplicados ao Rio Miranda, MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/saneab/brasil/iv-019.pdf> >. Acesso em: 16 jun. 2012.

FUNDO DE POPULAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Campanha 7 bilhões de ações**. Brasília, 2011. Disponível em: < http://www.unfpa.org.br/novo/index.php?option=com_content&view=article&id=696:unfpa-lanca-campanha-7-bilhoes-de-aco-es&catid=1:noticias&Itemid=4 >. Acesso em: 26 abril 2012.

GONÇALVES, Celso Silva. **Caracterização de sedimentos e de contaminantes numa microbacia hidrográfica antropizada**. 2007. 94 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Pós-graduação em Ciência do solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

GRANATO, A.; BACANDRITSOS, N.; BUDGE, G.; PAPANASTASIOU, I.; ROINIOTI, E.; CALDON, M.; FALCARO, C.; GALLINA, A.; MUTINELLI, F.. Sudden deaths and colony population decline in Greek honey bee colonies. **Journal of Invertebrate Pathology**. V. 105, n. 3, p. 335 – 340, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Ações no Monitoramento da Qualidade da Água no País**. Brasília, 2001. DF. Disponível em: < <http://www.ibama.gov.br/recursoshidricos/home.htm> >. Acesso em jul. 2011.

INSTITUTO DO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva**. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos.- Brasília: MMA, 2006. 135p.

KURODA, Emília Kiyomi; *et al.* Determinação de clorofila pelo método espectrofotométrico visando o monitoramento da eficiência do tratamento de águas para abastecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: ABES, 2005. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes23/I-074.pdf> >. Acesso em: 25 jun. 2012.

LAMPARELLI, Marta Condé. **Graus de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento**. 2004. 238 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LIMA, Santana Bezerra de. **Monitoramento das águas da Bacia Hidrográfica Pirangi pela determinação dos índices de qualidade da água-IQA e índice de toxidez-IT** 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em química) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

LOPES, Frederico Wagner de Azevedo. Avaliação da qualidade das águas e condições de balneabilidade na bacia do Ribeirão de Carrancas-MG. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

LOPES, Renata Pereira. Estudo de processos alternativos para a degradação de compostos de relevância ambiental com monitoramento dos produtos formados por Espectrometria de Massas com Fonte de Ionização Electrospray (ESI-MS). 2008. 107 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) – Departamento de Química. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007.

MAIER, Clamarion. **Qualidade de águas superficiais e tratamento de águas residuárias por meio de zonas de raízes em propriedades.** 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Centra de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MARTINI, L.F.D. *et al.* **Transporte de agrotóxicos em lavoura de arroz irrigado sob três manejos de irrigação.** *Planta daninha* [online]. 2012, vol.30, n.4, pp. 799-808. ISSN 0100-8358.

MARTINS, Daniel Freire Freitas. **Influência espaço-temporal e fisiológica na absorção de nutrientes e elementos tóxicos por *Eichhornia crassipes* visando o uso adequado da sua biomassa: o caso do rio Apodi/Mossoró – RN.** 2009. 150 f. Dissertação (Mestrado em química) – Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.

Martins, Daniel Freitas Freire; SOUZA, Luiz Di; CASTRO, Suely Souza Leal de. Qualidade físico-química das águas da bacia do rio Apodi Mossoró: II- variabilidade temporal. **Revista Química no Brasil**, v. 2, p. 45-56, 2008b.

MARTINS, Daniel Freitas Freire; SOUZA, Ronilson Batista de; OLIVEIRA, Thiago Mielle Brito Ferreira; SOUZA, Luiz Di; CASTRO, Suely Souza Leal de. Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi /Mossoró:I - Variabilidade espacial. **Revista Química no Brasil**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 61-74, 2008a.

MERTEN, Gustavo H.; MINELLA, Jean P. Qualidade da água em bacias hidrográficas rurais: um desafio atual para a sobrevivência futura. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v.3, n.4, 2002.

MILHOME, Maria Aparecida Liberato; SOUSA, Daniele de Oliveira Bezerra de; LIMA, Francisco de Assis Ferreira; NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do. Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE. **Eng. Sanit Ambient**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 10, 2009.

MILHOME, Maria Aparecida Liberato; SOUSA, Daniele de Oliveira Bezerra de; LIMA, Francisco de Assis Ferreira and NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do. **Avaliação do potencial de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas aplicados na agricultura do Baixo Jaguaribe, CE.** *Eng. Sanit. Ambient.* [online]. 2009, vol.14, n.3, pp. 363-372. ISSN 1413-4152.

MILLER, G. Tyler. **Ciência Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

MORAIS, Lidiane A.. SILVA, Larissa M.. DANTAS, Taisa Cristina M.; SILVA, Alriberto Germano da; SOUZA, Luiz Di; CASTRO, Suely Souza Leal. Monitoramento da qualidade físico-química das águas do rio Apodi/Mossoró: variabilidade espacial e sazonalidade. In: congresso da SBQ-2009, Fortaleza. Anais da SBQ – 2009, v. 1.

MORAIS, Paulo Roberto Freire de; SOUZA, Luiz .Di.. Efeitos da sazonalidade e das ações antrópicas no teor de sólidos e na turbidez das águas da bacia do rio Apodi/Mossoró RN. In: CBQ, 2008, Rio de Janeiro. Anais do CBQ, 2008.

MORAIS, Paulo. Roberto. Freire; OLIVEIRA, Thiago Mielle Brito Ferreira; SOUZA, Luiz Di; CASTRO, Suely Souza Leal de. Determinação do IQA nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró em regiões de baixa e alta influência da zona urbana. In: 3º Congresso Norte Nordeste de Química, 2009, São Luiz-MA. Anais do III CNNQ, 2009.

OLIVEIRA, Alan Martins de. **Aspectos técnicos e ambientais da produção de melão na Zona Homegênia Mossoroense, com ênfase ao controle da mosca-branca e da mosca-minadora.** 2008. 177 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2001.

OLIVEIRA, Jionaldo. Pereira. **Dinâmica Sócio-espacial e degradação ambiental na Sub-Bacia do Rio do Carmo.** 2001. 150f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, 2001.

OLIVEIRA, Thiago Mielle Brito Ferreira; SOUZA, Luiz Di; CASTRO, Suely Souza Leal de. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN – Brasil. **Eclética Química**, São Paulo, 34(3): 17 - 26, 2009.

OLIVEIRA, Thiago Mielle Brito Ferreira ; CASTRO, Renato Silva de ; SANTOS, Raquel F. dos; SOUZA, Luiz Di; CASTRO, Suely Souza Leal de . Avaliação do estado trófico de águas interiores do estado do Rio Grande do Norte. In: 33 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2010, Águas de Lindóia - SP. Anais da 33ª Reunião Anual da SBQ, 2010.

PENELOPE, R. Whitehorn; STEPHANIE, O.Connor; FELIX, L. Wackers, DAVE, Goulson. PEREIRA, Luís Alberto Martins; RODRIGUES, Maria Armanda Reis. Estudo sobre a aplicabilidade do índice do estudo trófico de Carlson (1977) na região Lisboa e Vale do Tejo. **Centro de Documentação e Informação / CCDR-LVT**. Lisboa, dez 2006.

PERNAMBUCO. Agência Estadual de Meio Ambiente. **Seleção de índices e indicadores de qualidade da água**: aplicação dos índices selecionados. Pernambuco, 2006

PORTO, Mônica Ferreira do Amaral. Prospecção Tecnológica: recursos Hídricos. **Qualidade da Água Superficial**: documento Final. São Paulo, 2003.

RIGUETTI, André Leoni. **Avaliação espaço-temporal do grau de trofia em lagoas costeiras da cidade do Rio de Janeiro**: aplicação de índices de estado trófico. 2009. 114 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

RIO GRANDE DO NORTE. Rede compartilhada de monitoramento da qualidade da água. **Programa Água Azul**: 1 relatório trimestral. Natal, 2009. Disponível em: < <http://www.programaaguaazul.rn.gov.br/relatorios.php> >. Acesso em: mai. 2011.

_____. Rede compartilhada de monitoramento da qualidade da água. **Programa Água Azul**: X relatório trimestral. Natal, 2012. Disponível em: < <http://www.programaaguaazul.rn.gov.br/relatorios.php> >. Acesso em: fev. 2013.

_____. Secretaria de Estado dos Recursos Hídricos. Projeto PROÁGUA/SEMI-ÁRIDO. **Plano de recuperação ambiental do trecho inferior do Rio do Carmo**. Relatório Final: tomo I, II e III. Natal: SERHID, 2005.

_____. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hidricos. **Situação volumétrica**: ficha técnica do reservatório Umarí. Natal: SEMARH, 2012. Disponível em <

<http://www.semarh.rn.gov.br/contentproducao/aplicacao/semarh/principal/enviados/index.asp>
>. Acesso em: fev. 2013.

SÃO PAULO. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo: apêndice B – índices de qualidade das águas.** São Paulo, 2008. (Série Relatórios).

_____. **Relatório de qualidade das águas superficiais do estado de São Paulo: apêndice A – significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem.** São Paulo, 2008. (Série Relatórios).

SINDAG. Sindicato Nacional das Indústrias de Defensivos Agrícolas. **Dados de produção e consumo de agrotóxicos.** Disponível em: < www.sindag.com.br >. Acessado em 10 jul 2012.

SIDRA. Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Banco de dados agregados.** Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda> >. Acesso em: 05 abr. 2011.

SILVA, André Victor. F.; COSTA, Pedro Henrique C.S.; OLIVEIRA, Thiago Mielle Brito Ferreira ; CASTRO, Suely Souza Leal de . Avaliação sazonal de oxigênio dissolvido e das demandas química e bioquímica de oxigênio no rio Apodi/Mossoró. In: 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009, Fortaleza - CE. Anais da 32ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009.

SILVA, Diecson Ruy Orsolin da; AVILA, Luis Antonio de; AGOSTINETTO, Dirceu ; MAGRO, Taisa Dal; OLIVEIRA, Ezequiel de; ZANELLA, Renato; NOLDIN, José Alberto. Monitoramento de agrotóxicos em águas superficiais de regiões orizícolas no sul do Brasil. **Ciência Rural, Santa Maria**, v.39, n.9, p.2383-2389, 2009.

SILVA, Larissa Matilde da; SOUZA, Luiz Di; MORAIS, Lidiane A.; DANTAS, Taisa C. M.; SILVA, Alriberto G.; CASTRO, Suely S. L. de. Influencia natural e antrópica nos níveis de poluição por fósforo na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró. In: congresso da SBQ-2009, Fortaleza. Anais da SBQ - 2009, v. 1.

SPERLING, Von; CHERNICHARO, M.. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. **Urban Water**. Vol. 4, n. 1, pp 105-114, 2002.

TOLEDO, Luís Gonzaga de. **Monitoramento dos impactos ambientais das atividades agrícolas na qualidade das águas superficiais.** Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/upf/gonzaga.pdf> >. Acesso em abr. 2011.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. **Protocol for Developing Nutrient TMDLs. EPA 841-B-99-007**: Office of Water (4503F). United States, 1999. Washington D.C. 135 pp.

VILCHEZ, J.L.; EL-KHATTABI, R.; FERNÁNDEZ, J.; GONZÁLEZ-CASADO, A.; NAVALON, A.. Determination of imidacloprido in water and soil samples by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of Chromatography. A**, 746 (1996) 289-294.

WHITEHORN Penelope R; GOULSON Dave; WACKERS Felix L.. Neonicotinoid pesticide reduces bumble bee colony growth and queen production. **Science Magazine**. v. 336, n. 6079, p. 351-352, 2012.

ANEXO A – pesos (w), fórmulas e gráficos da variação de parâmetro q em função da concentração. para o cálculo do índice de qualidade da água

A.1 PESOS RELATIVOS DE W_i DOS PARÂMETROS UTILIZADOS NO CALCULO DO IQA.

Tabela A1: valores de W_i

PARÂMETRO	W_i
Oxigênio dissolvido – OD (OD%)	0,17
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml)	0,15
pH	0,12
Temperatura (°C)	0,10
Sólidos Totais (mg/L)	0,08
Nitrogênio total (mg/L)	0,10
Turbidez (UNT)	0,08
Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L)	0,10
Fósforo total (mg/L)	0,10

Fonte: COSTA (2008).

A.2 CÁLCULOS DOS ÍNDICES DE QUALIDADE (q_i), UTILIZADOS NA FÓRMULA DO IQA.

A seguir são apresentadas as expressões empregadas para determinação de q_i , bem como o gráfico da variação do mesmo em função da concentração ou medida do parâmetro.

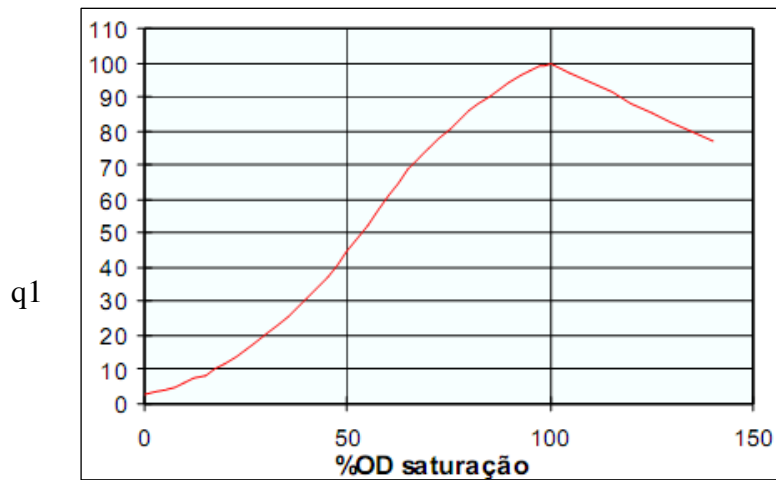
A.2.1 Oxigênio dissolvido (OD)

Tabela A.1 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_1 , OD.

OD%	EXPRESSÃO
0 - 50	$q_1 = [0,34 (\%OD) + 0,008095 (\%OD)^2 + 1,35252 \cdot 10^{-5} (\%OD)^3] + 3$
51 - 85	$q_1 = [-1,166 (\%OD) + 0,058 (\%OD)^2 - 3,803435 \cdot 10^{-4} (\%OD)^3] + 3$
86 - 100	$q_1 = 3,7745 (\%OD^{0,704889}) + 3$
101 - 140	$q_1 = [2,90 (\%OD) - 0,025 (\%OD)^2 + 5,60919 \cdot 10^{-5} (\%OD)^3] + 3$
>140	$q_1 = 50$

Fonte: COSTA(2008)

Gráfico A.1 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro %OD



Fonte: COSTA (2008).

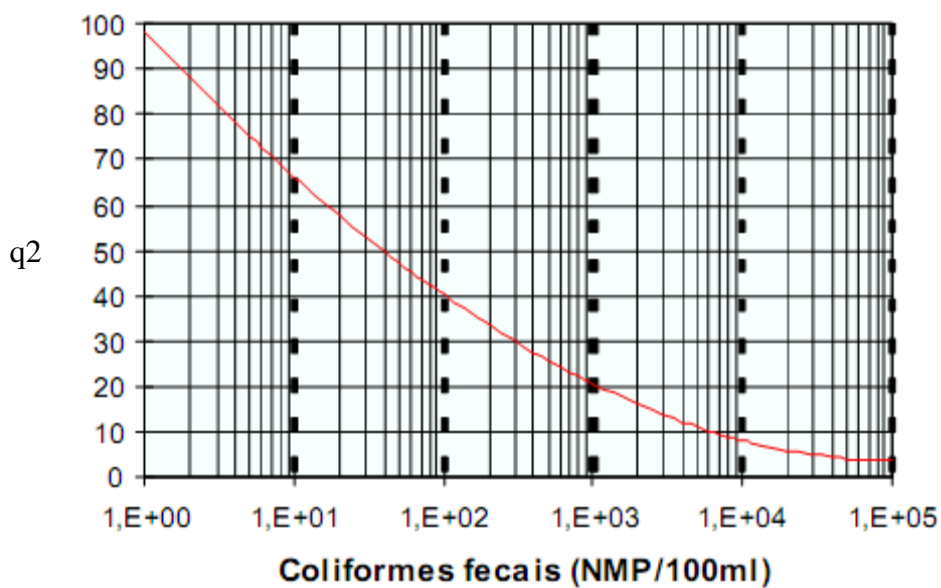
A.2.2 Coliformes fecais (CF)

Tabela A.2 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q2, CF.

CF (NMP/100 mL)	Expressão
0	$q2 = 100$
1 - 10	$q2 = 100 - 33,5 \log x (\log CF)$
11 - 1×10^5	$q2 = 100 - 37,2 \log x (CF) + 3,607145 x (\log CF)^2$
$>1 \times 10^5$	$q2 = 3$

Fonte: COSTA (2008).

Figura A.2 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro CF.



Fonte: COSTA (2008).

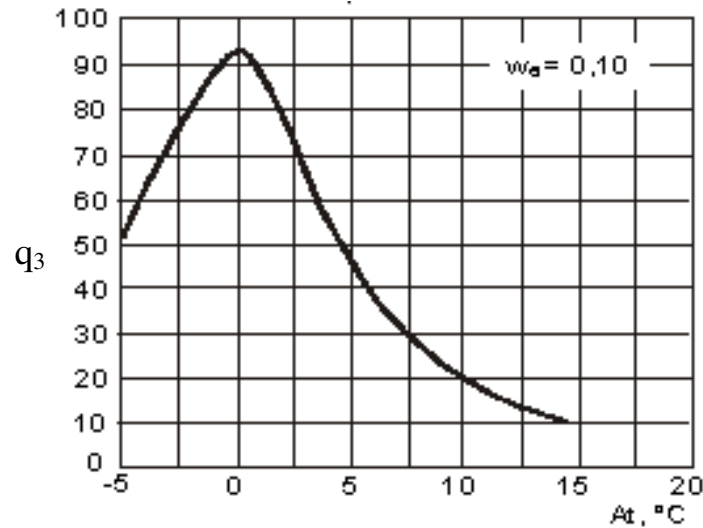
A.2.3 Temperatura (T)

Tabela A.3 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_3 , T.

ΔT (°C)	Expressão
$\leq -5,0$	$q_3 = 30,0$
-4,9 – 0,0	$q_3 = 92,5 + 1,5 (\Delta T) - 1,52 (\Delta T)^2$
0,1 – 3,0	$q_3 = 92,5 - 2,1(\Delta T) - 1,8 (\Delta T)^2$
3,1 – 5,0	$q_3 = 233,17 (\Delta T)^{-1,09576}$
5,1 – 15,0	$q_3 = 75,27 - 8,398 (\Delta T) + 0,265455(\Delta T)^2$
$> 15,0$	$q_3 = 9,0$

Fonte: COSTA (2008).

Figura A.3 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro T



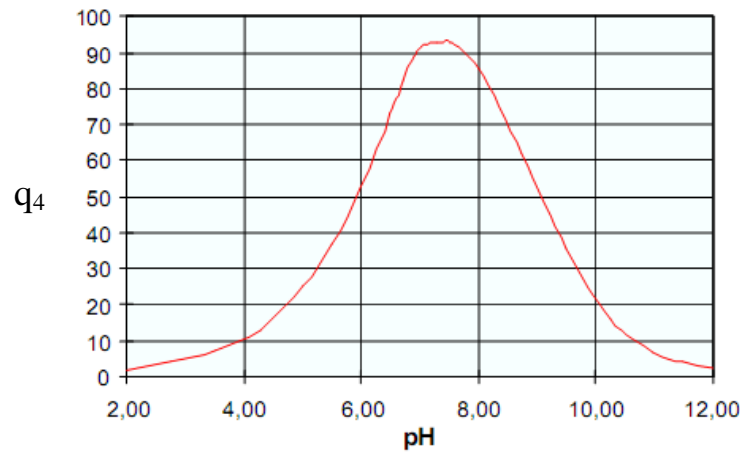
Fonte: COSTA (2008)

A.2.4 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Tabela A.4 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_4 , pH.

pH	Expressão
≤ 2	$q_4 = 2,0$
2,1 – 4,0	$q_4 = 13,6 - 10,64.(pH) + 10,2481.(pH)^2$
4,1 – 6,2	$q_4 = 155,5 - 77,36.(pH) + 10,2481.(pH)^2$
6,3 – 7,0	$q_4 = - 657,2 + 197,38.(pH) - 12,9167.(pH)^2$
7,1 – 8,0	$q_4 = - 427,8 + 142,05.(pH) - 9,695.(pH)^2$
8,1 – 8,5	$q_4 = 21,6 - 16,0.(pH)$
8,6 – 9,0	$q_4 = 1,415823.e^{-(1,1507.pH)}$
9,1 – 10	$q_4 = 288,0 - 27,0.(pH)$
10,1 – 12,0	$q_4 = 633,0 - 106,5.(pH) + 4,5.(pH)^2$
$> 12,0$	$q_4 = 3,0$

Fonte: COSTA (2008).

Figura A.4 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro T

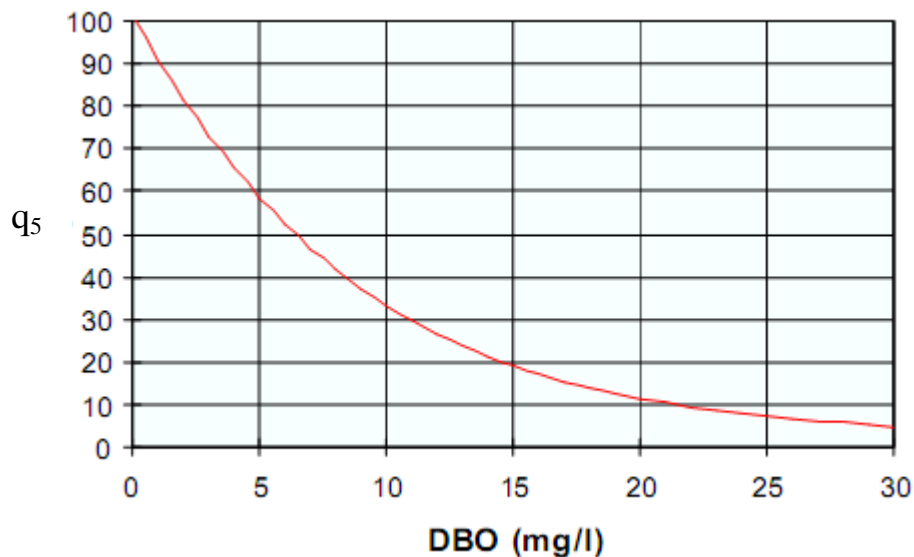
Fonte: COSTA (2008).

A.2.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio, cinco (DBO₅)

Tabela A.5 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q₅, pH.

DBO ₅ (mg/L)	Expressão
0,0 – 5,0	$q_5 = 99,96.e^{-(0,1232728.DBO_5)}$
5,1 – 15,0	$q_5 = 104,67 - 31,5463.ln(DBO_5)$
15,1 – 30	$q_5 = 4,394,91.(DBO_5).e^{-(1,99809)}$
> 30	$q_5 = 2,0$

Fonte: COSTA (2008)

Figura A.5 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro DBO₅

Fonte: COSTA (2008).

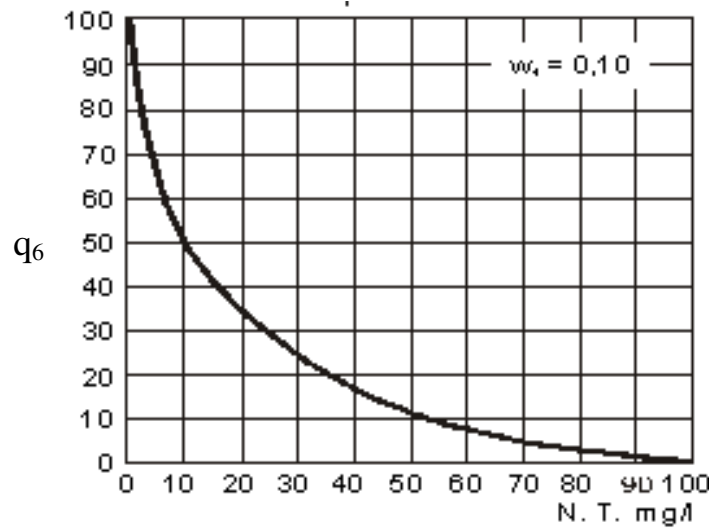
A.2.6 Nitrogênio total (NT)

Tabela A.6 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_6 , NT.

NT (mg/L)	Expressão
0,0 – 10,0	$q_6 = 100,0 - 8,169.NT + 0,3059.(NT)^2$
10,1 – 60,0	$q_6 = 101,9 - 23,1023.\ln(NT)$
60,1 – 100,0	$q_6 = 159,314.e^{-(0,0512842.NT)}$
>100,0	$q_6 = 1,0$

Fonte: COSTA (2008).

Figura A.6 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro NT.



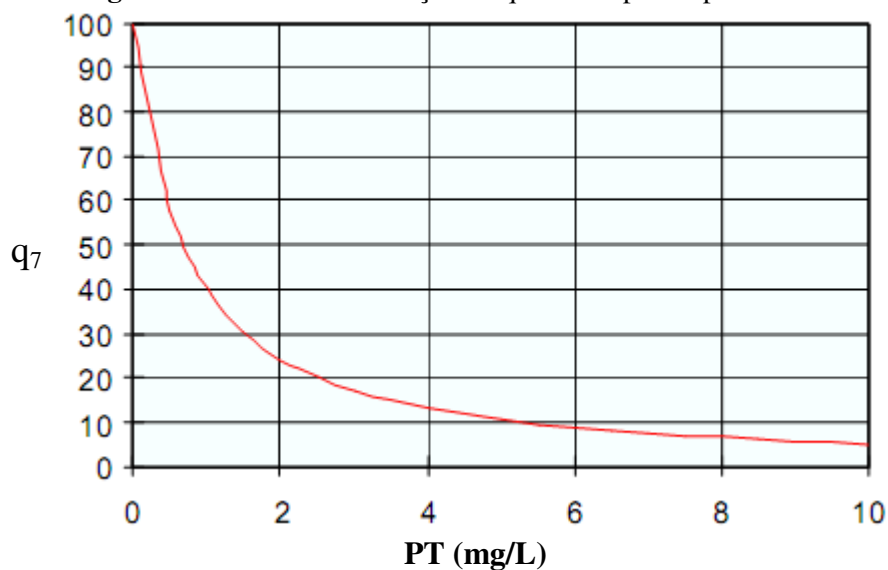
Fonte: COSTA (2008)

A.2.7 Fósforo total (PT)

Tabela A.7 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_7 , PT.

PT (mg/L)	Expressão
0,0 – 1,0	$q_7 = 99,9.e^{-(0,91629.PT)}$
1,1 – 5,0	$q_7 = 57,6 - 20,178.PT + 2,1326.(PT)^2$
5,1 – 10,0	$q_7 = 19,08.e^{-(0,13544.PT)}$
>10,0	$q_7 = 5,0$

Fonte: COSTA (2008)

Figura A.7 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro PT.

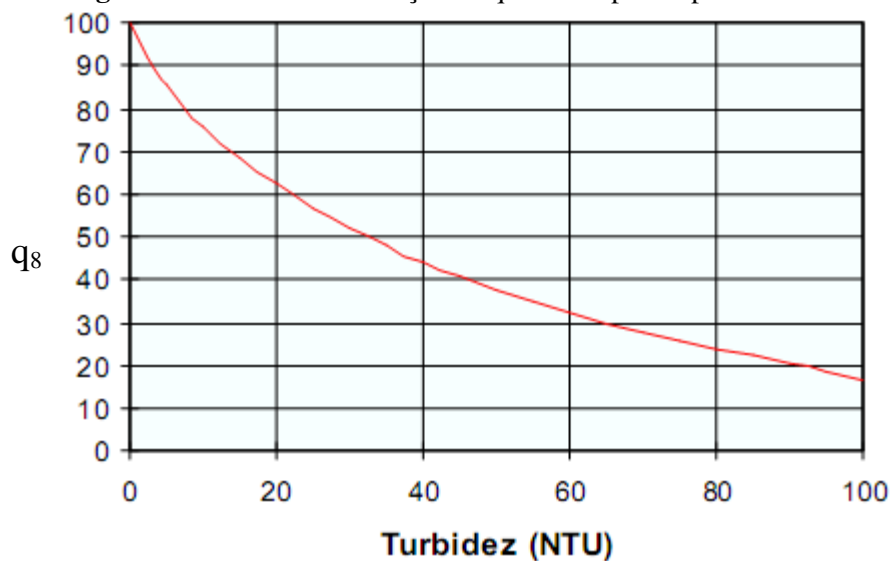
Fonte: COSTA (2008).

A.2.8 Turbidez (Turb.)

Tabela A.8 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_8 , Turb.

Turb. (UNT)	Expressão
0,0 – 25,0	$q_8 = 100,17 - 2,67 \cdot \text{Turb} + 0,03755 \cdot (\text{Turb})^2$
25,1 – 100,0	$q_8 = 84,96 \cdot e^{-(0,016206 \cdot \text{Turb})}$
>100,0	$q_8 = 5,0$

Fonte: COSTA (2008).

Figura A.8 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro Turb.

Fonte: COSTA (2008).

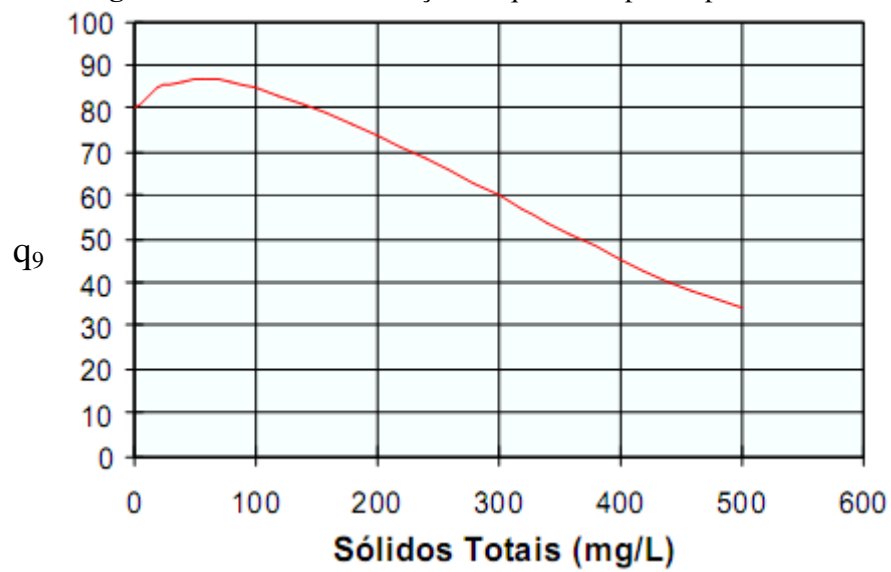
A.2.9 Sólidos totais (ST)

Tabela A.9 – Expressões para o cálculo do sub-índice de qualidade q_9 , ST.

ST (mg/L)	Expressão
0 – 150	$q_9 = 79,75 + 0,166.(ST) - 0,001080.(ST)^2$
151 – 500	$q_9 = 101,67 - 0,13917.(ST)$
>500	$q_9 = 32,0$

Fonte: COSTA (2008).

Figura A.9 – Curva de variação da qualidade para o parâmetro ST.



Fonte: COSTA (2008).