

Universidade Federal de Mato Grosso
Instituto de Ciências Exatas e da Terra
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente

**Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na
Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**

ALAIDE ALVES DE ALMEIDA

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima

Cuiabá, julho de 2007.

Universidade Federal de Mato Grosso
Instituto de Ciências Exatas e da Terra
Departamento de Física
Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente

**Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na
Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá**

ALAIDE ALVES DE ALMEIDA

**Dissertação apresentada ao programa de
pós-graduação em Física e Meio Ambiente
da Universidade Federal de Mato Grosso,
como parte dos requisitos para obtenção do
grau de mestre em Física e Meio Ambiente.**

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima

Cuiabá, julho de 2007.

A316e

Almeida, Alaíde Alves

Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá. Cuiabá:../..Alaíde Alves de Almeida - Cuiabá, MT 2007 /Instituto de Ciências Exatas e da Terra, 2007.

89p.: il.color.

Bibliografia: 72-74

Orientadora: Prof^ª. Dr^a Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso.

Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente – 2007.

1. Índice de Qualidade da Água – Rio Cuiabá- Mato Grosso. 2. Índice de Qualidade da Água - NSF. 3. Índice de Qualidade da Água - CCME

I. Título.

CDU: 504.064.3 (817.2)

Dedicatória

Dedico este trabalho ao meu esposo *José Carlos* e filhos *Carlos Gabriel* e *João Paulo* e também aos meus pais *Petronilio* e *Luiza* pelo apoio, dedicação e paciência ao longo desta conquista.

Agradecimentos

- Á Deus, por ter me guiado espiritualmente nesta caminhada de crescimento pessoal e profissional;
- Agradeço a Dra. Eliana Beatriz Nunes Rondon Lima a qual tenho profunda admiração e respeito pela orientação e oportunidade para realizar este estudo;
- Meus sinceros agradecimentos ao Dr. Gilson Alberto Rosa Lima, pela paciência, generosidade e orientação, durante a realização deste estudo;
- Agradeço ao Dr. José de Souza Nogueira (Paraná) pelo e amizade demonstrado em todo o período da pós-graduação;
- Agradeço a todos os professores do mestrado de física e meio ambiente por compartilhar os seus conhecimentos;
- Agradeço toda a equipe que trabalhou no sítio experimental no município de Santo Antônio do Leverger;
- Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste estudo.

Esta dissertação faz parte do programa de pós-graduação em física e meio ambiente e é parte do projeto de pesquisa 0588/2005, denominado “*Análise e Determinação dos Parâmetros Físico-Químicos que Compõem o Índice de Qualidade da Água no Estado de Mato Grosso*”. Coordenado e executado pelo Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (**DESA**) da Universidade Federal do Mato Grosso (**UFMT**) em parceria com o Instituto de Matemática da Universidade do Estado de Mato Grosso (**UNEMAT**). O projeto foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso (**FAPEMAT**), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (**CNPq**) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal (**CAPES**).

Sumário

Lista de Figuras	i
Lista de Tabelas	iii
Lista de Abreviaturas e Siglas	iv
Resumo	v
Abstract	vi
Introdução	1
Capítulo 1 - Monitoramento da Qualidade da Água e Parâmetros de Qualidade	5
1.1 Monitoramento da Qualidade da Água Superficial	5
1.2 Parâmetros de Qualidade da Água	9
1.2.1 Temperatura	9
1.2.2 Alcalinidade	10
1.2.3 Condutividade Elétrica	10
1.2.4 Cor	11
1.2.5 Turbidez	11
1.2.6 pH	12
1.2.7 Oxigênio Dissolvido – OD	13
1.2.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO	13
1.2.9 Demanda Química de Oxigênio – DQO	14
1.2.10 Fósforo e Fosfato Total	14
1.2.11 Nitrogênio e Nitrato	15
1.2.12 Resíduo Total	16
1.2.13 Coliformes Fecais e Totais	16
1.2.14 Transparência	17
Capítulo 2 - Índice de Qualidade da Água - IQA	18
2.1 Índice de Qualidade da Água – Método IQA_{NFS}	19
2.2 Formalismo Matemático do Método do IQA_{NFS}	20
2.3 Interpretação dos Valores do IQA_{NFS}	21
2.4 Exemplo de Cálculo do IQA_{NFS}	22
2.5 Índice de Qualidade da Água – Método IQA_{CCME}	32
2.6 Formalismo Matemático do Método IQA_{CCME}	32
2.7 Exemplo de Cálculo do Método IQA_{CCME}	35
Capítulo 3 - Metodologia	39
3.1 Escopo do Estudo	39
3.2 Área de Estudo	42
3.3 Levantamento dos Dados	43
3.4 Ferramentas de Análise dos Dados	45
3.5 Estratégias de Comparação	49

Capítulo 4 – Discussão dos Resultados	52
4.1 Análise da Evolução Temporal	52
4.2 Análise da Distribuição Espacial	59
Capítulo 5 - Conclusão	68
Sugestões para novos estudos	70
Referências Bibliográficas	72
Anexo	75

Lista de Figuras

Figura 1.1	Classificação dos programas de monitoramento da qualidade da água no Brasil	9
Figura 1.2	Pontos de monitoramento da qualidade da água no Brasil	9
Figura 2.1	Representação geométrica do índice de qualidade da água IQA_{CCME}	36
Figura 3.1	Escopo do estudo etapas e atividades realizadas	41
Figura 3.2	Atividades de ocupação da terra na bacia do Rio Cuiabá	43
Figura 3.3	Área de estudo e localização dos pontos de amostragem no Rio Cuiabá	44
Figura 3.4	Tela inicial do programa CWQI-1.0	46
Figura 3.5	Tela de entrada de dados	47
Figura 3.6	Tela mostrando o arquivo de dados	47
Figura 3.7	Tela de configuração dos parâmetros e critérios de qualidade da para diferentes usos	48
Figura 3.8	Faixa de classificação do IQA	49
Figura 3.9	Tela do programa CWQI-1.0 mostrando o resultado de um teste de qualidade	49
Figura 3.10	Tela de análise de dados do programa CWQI-1.0 mostrando o cálculo do IQA_{CCME}	50
Figura 4.1	Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(1)}$ $IQA_{CCME(2)}$ $IQA_{CCME(3)}$ em 2003 para 11 pontos de amostragem	54
Figura 4.2	Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(1)}$ $IQA_{CCME(2)}$ $IQA_{CCME(3)}$ em 2004 para 11 pontos de amostragem	55
Figura 4.3	Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(1)}$ $IQA_{CCME(2)}$ $IQA_{CCME(3)}$ em 2005 para 11 pontos de amostragem	55
Figura 4.4	Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(3)}$ em 2001 para 11 pontos de amostragem.	57
Figura 4.5	Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(3)}$ em 2002 para 11 pontos de amostragem	58
Figura 4.6	Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(3)}$ em 2002 para 11 pontos de amostragem	58

Figura 4.7	Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME(3)}$ e $IQA_{CCME(4)}$ em 2002 para 11 pontos de amostragem	59
Figura 4.8	Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME(3)}$ e $IQA_{CCME(4)}$ em 2003 para 11 pontos de amostragem	ii
Figura 4.9	Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME(3)}$ e $IQA_{CCME(4)}$ em 2004 para 11 pontos de amostragem	59
Figura 4.10	Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME(3)}$ e $IQA_{CCME(4)}$ em 2005 para 11 pontos de amostragem	60
Figura 4.11	Frequência dos parâmetros que mais falharam nos testes de critérios de qualidade	63
Figura 4.12	Valores de IQA para diferentes usos em 2003 para 11 pontos de amostragem	66
Figura 4.13	Valores de IQA para diferentes usos em 2004 para 11 pontos de amostragem	67
Figura 4.14	Valores de IQA para diferentes usos em 2005 para 11 pontos de amostragem	67
Figura 4.15	Valores de IQA para 11 pontos de amostragem entre os anos de 2003 a 2005	68

Lista de Tabelas

Tabela 1.1	Rede de monitoramento da qualidade da água nos Estados Brasileiros	10
Tabela 1.2	Classificação do IQA_{NSF} adotada nos Estados Brasileiros	11
Tabela 2.1	Parâmetros de qualidade e seus respectivos pesos	23
Tabela 2.2	Classificação da qualidade da água em função do valor de IQA_{NSF}	24
Tabela 2.3	Valores observados dos parâmetros de qualidade em uma campanha de 12 meses	25
Tabela 2.4	Resumo do cálculo do IQA_{NSF}	33
Tabela 2.5	Parâmetros e critérios de qualidade estabelecidos pela legislação Brasileira	37
Tabela 3.1	Parâmetros de qualidade determinados experimentalmente no programa de monitoramento da qualidade da água da bacia do Rio Cuiabá	45
Tabela 3.2	Parâmetros, estratégias e critérios de qualidade utilizados no estudo	52
Tabela 4.1	Cálculo do IQA_{NSF} não levando em conta o fator de correção	56
Tabela 4.2	Cálculo de IQA_{NSF} levando em conta o fator de correção	57
Tabela 4.3	Pontos de amostragem, IQA_{NSF} e $IQA_{CCME (3)}$, F_2 e frequências que os parâmetros de qualidade ultrapassaram os critérios de qualidade estabelecidos por legislação para o cálculo do $IQA_{CCME (3)}$	64
Tabela 4.4	Parâmetro e critérios de qualidade utilizados para calcular IQA_{CCME} para diferentes usos	66

Lista de Abreviaturas e Siglas

AAG	Agência Ambiental de Goiás
ANA	Agencia Nacional de Águas
CAESB	Companhia de Água e Esgotos de Brasília
CCME	Canadian Council of Ministers of the Environment
CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Rio-grandense de Saneamento
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
CRA	Conselho Regional de Administração
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio 5 dias
DMAE	Departamento Municipal de Água e Esgoto
DQO	Demanda Química de Oxigênio
FAEMA	Fundação Municipal de Meio Ambiente
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEMA	Fundação Estadual do Meio Ambiente
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FURNAS	Centrais Elétricas S.A
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IMAP	Instituto de Meio Ambiente Pantanal
IQA	Índice de Qualidade da Águas
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NMP	Número Mais Provável
NSF	National Sanitation Foundation
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
SEAMA	Secretaria Estadual de meio Ambiente e Recursos Hidricos
SEMA	Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SEMACE	Superintendência Estadual do Meio Ambiente,
SUDEMA	Superintendência de Administração do Meio Ambiente
SUDERHSA	Superintendência de Recursos Hídricos de Saneamento Ambiental

Almeida, A.A., 2007, **Estudo Comparativo entre os Métodos IQA_{NSF} e IQA_{CCME} na Análise da Qualidade da Água do Rio Cuiabá** dissertação de Mestrado, Física e Meio Ambiental/UFMT, Mato Grosso, MT.

Resumo

Este estudo aborda a qualidade da água do Rio Cuiabá através da análise comparativa entre dois índices de qualidade da água (IQA). O índice específico desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (IQA_{NSF}) e índice não específico proposto pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (IQA_{CCME}). A importância deste estudo comparativo reside na tentativa de buscar uma solução para os problemas de não uniformidade no método de cálculo do IQA nos programas de monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil e da necessidade da inclusão de novos parâmetros de qualidade especialmente para avaliar a qualidade da água para diferentes usos. Os IQAs foram calculados a partir dos valores de quatorze parâmetros de qualidade determinados experimentalmente pelo programa de monitoramento da qualidade da água do Rio de Cuiabá durante o período de 2001 a 2005 para onze pontos de amostragem: Marzagão, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem Conceição, Córrego Mané Pinto, Córrego Barbado, Córrego São Gonçalo, Ribeirão Cocais, Praia do Poço, Barão Melgaço e Porto Cercado. O resultado da análise comparativa mostra claramente que o método não específico IQA_{CCME} pode ser utilizado para uniformizar os cálculos de IQA nos programas de monitoramento da qualidade da água no Brasil e para avaliar a qualidade da água para diferentes usos através da inclusão de novos parâmetros e critérios de qualidade referente a cada tipo de uso. Os dois métodos predizem concentrações elevadas dos parâmetros coliformes fecais, coliformes totais, fosfato e cor como os principais responsáveis pela degradação da qualidade da água do Rio Cuiabá no intervalo de tempo considerado no estudo.

Palavras-chave: Índice de Qualidade da Água, NSF, CCME, Rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil.

Almeida, A.A., 2007, **A Comparative Study between WQI_{NSF} and WQI_{CCME} on the Cuiabá River Water Quality Analysis**, dissertação de Mestrado, Física e Meio Ambiental/UFMT, Mato Grosso, MT.

Abstract

This study evaluates the Cuiabá River water quality through a comparative analysis among two water quality indexes (WQIs). The specific index developed by National Sanitation Foundation (WQI_{NSF}) and the nonspecific index proposed by Canadian Council of Ministers of the Environment (WQI_{CCME}). The special problem we tried to get at with this comparative study was to attempt of looking for a solution of non uniformity procedures on the calculation of WQI_{NSF} in the water quality monitoring program in Brazil and the need of the inclusion of new water quality parameters to evaluate the quality of the water for different uses. The IQAs were calculated taking into account the experimental values of fourteen water quality parameters from the Cuiabá River water quality monitoring program from 2001 through 2005 for selected fourteen sampling points: Marzagão, Rosário Oeste, Acorzal, Passagem Conceição, Córrego Mané Pinto, Córrego Barbado, Córrego São Gonçalo, Ribeirão Cocais, Praia do Poço, Barão Melgaço e Porto Cercado. The results of comparative study shows clearly that the non specific method WQI_{CCME} can be used by the water quality monitoring program in Brazil to uniformize the calculations of WQI as well as to evaluate water quality for different uses through the inclusion of new parameters and quality criteria. The two methods predict high concentrations of fecal and total coliforms, phosphate and color as the main ones responsible for the degradation of the Cuiabá River water quality in the time domain considered in the study.

Key-words: Water Quality Index, NSF, CCME, Cuiabá River, Mato Grosso State, Brazil.

Introdução

A poluição dos corpos hídricos é hoje considerada um problema mundial. Seu controle constitui-se num dos grandes desafios da gestão dos recursos hídricos. Para minimizar os impactos da poluição e disciplinar os diferentes usos da água os governos em todos os países criaram leis que estabelecem padrões de qualidade da água para diferentes usos.

No Brasil a lei Federal nº 9.433 de oito de janeiro de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos que define os instrumentos para a gestão das águas. A Resolução CONAMA nº357/2005 fixa os padrões de qualidade para diferentes usos e classes. A Portaria nº 518, de 25/03/2004, do Ministério da Saúde, define água potável.

As leis são implementadas nos programas de monitoramento da qualidade da água e o índice de qualidade da água desenvolvido por Brown na década de 70 em parceria com a *National Sanitation Foundation* (NSF) (IQA_{NSF}) é adotado no Brasil como métrica para acompanhar, as alterações das características físicas, químicas e microbiológicas da água. Embora a legislação Brasileira estabeleça padrões de qualidade para dezenas de parâmetros em função dos diferentes usos, o IQA_{NSF} contempla apenas nove parâmetros de qualidade (pH, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, fósforo, nitrogênio, resíduos totais, coliformes fecais, e demanda bioquímica de oxigênio) específicos para refletir as contaminações ocasionadas por lançamentos de esgotos domésticos e industriais (Brown et al., 1970; 1973). Atividades agrícolas e industriais, entre outras, também geram poluentes (metais pesados, pesticidas, compostos orgânicos). Porém, estes poluentes não são computados no cálculo do IQA_{NSF} . Sendo assim, a avaliação da qualidade da água, obtida através do IQA_{NSF} , apresenta limitações.

Uma das limitações diz respeito à aplicabilidade do método NSF. Mesmo sendo um método específico para descrever a qualidade da água para abastecimento público, o método não inclui no cálculo do IQA_{NSF} outros parâmetros importantes para este fim. Parâmetros que

caracterizem a presença de compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, potencial de formação de trihalometanos, presença de parasitas patogênicos e surfactantes.

Outra limitação diz respeito à utilização do método no programa de monitoramento da qualidade da água no Brasil. Esta limitação é apontada no relatório da Agência Nacional de Águas (ANA). Segundo (ANA, 2005) não é viável diagnosticar a qualidade da água a nível nacional em termos de IQA_{NSF} . Isso porque apenas 12 estados realizam cálculos de IQA_{NSF} e existem diferenças com relação aos parâmetros de qualidade e ao método de cálculo entre os Estados. No Rio Grande do Sul foi retirado o parâmetro temperatura do cálculo do IQA_{NSF} . Alguns estados como Amapá, Minas Gerais e Mato Grosso utilizam os parâmetros fosfato e nitrato no lugar de fósforo e nitrogênio respectivamente, mantendo-se os mesmos pesos e curvas de qualidade originais. Esta limitação esta relacionada com a concepção do método que reflete a opinião de especialistas através das curvas de qualidade, as quais são obtidas após um laboroso método de análise. Outros estados como a Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul utilizam o fosfato e nitrogênio, e os Estados de São Paulo e Paraná utilizam o fósforo e o nitrogênio. Além do mais, a informação sobre a qualidade da água no país ainda é insuficiente ou inexistente em várias bacias. O estado do Mato Grosso do Sul apresentam os valores do IQA na forma de percentil (20%), o que significa que durante 80% do tempo o ponto monitorado apresentou qualidade da água igual ou superior ao valor do IQA 20%.

O levantamento realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004), relata que dos 26 estados da Federação apenas nove possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons; cinco possuem sistemas bons ou regulares (o Estado de Mato Grosso encontra-se nesta classe); e treze apresentam sistemas fracos ou incipientes. O levantamento levou em conta a porcentagem das bacias hidrográficas monitoradas, número de parâmetros de qualidade e frequência de amostragem.

Em virtude das constatações descritas acima existe uma real necessidade de se avançar no desenvolvimento e na utilização de novos métodos de cálculo de IQA que inclua todos os parâmetros de qualidade necessários e/ou disponíveis para determinar a qualidade da água para diferentes usos. E que permita uniformizar o método de cálculo de IQA nos programas de monitoramento da qualidade das águas superficiais no Brasil.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência do método não específico proposto pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)* (CCME, 2001a, b) para determinar a qualidade da água de um corpo hídrico através da análise comparativa entre IQAs calculados pelos métodos NSF e CCME. A escolha do método CCME deve-se a dois fatores condicionantes: primeiro por que o método permite incluir todos os tipos de parâmetros de qualidade disponíveis e avalia a qualidade da água para diferentes usos e condições. Segundo por que o método vem sendo utilizado no programa de monitoramento da qualidade da água no Canadá desde 2001 com sucesso e tem despertado a atenção de vários grupos de pesquisa (Khan et al, 2003, 2004; Beaulieu et al, 2006; Lumb et al, 2006).

A avaliação da qualidade da água foi fundamentada na análise comparativa entre os valores de IQA calculados através dos métodos NSF e CCME. Todos os cálculos foram realizados com o conjunto de dados com quatorze parâmetros de qualidade e onze pontos de amostragem ao longo do Rio Cuiabá no período de Janeiro 2001 à Dezembro de 2005. Os dados são provenientes do programa de monitoramento da qualidade da água da Bacia do Rio Cuiabá e foram cedidos pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso (SEMA).

Os resultados mostram que os dois métodos de cálculo CCME e NSF reproduzem o mesmo comportamento de qualidade. Porém sob certas condições (número de parâmetros e critérios de qualidade) o método CCME produz valores de IQA com magnitude superior e inferior aos valores calculados com o método NSF. Quando o número de parâmetros e critérios de qualidade são os mesmos, o método CCME superestima os valores de IQA em relação aos valores calculado pelo método NSF. E quando o número de parâmetros e critérios aumenta em relação aos utilizados no método NSF ocorre o efeito contrário. Ou seja, quando o IQA é calculado pelo método CCME a magnitude do IQA decresce em relação aos valores calculados pelo método NSF.

Devido sua simplicidade e por ser fundamentado na excedência dos critérios de qualidade, não necessita de curvas de calibração contendo o conhecimento de especialistas como no caso do método NSF e assim permitindo a inclusão de novos parâmetros de qualidade sem a necessidade de curvas de calibração. As similaridades e diferenças encontradas entre os dois métodos são explicadas através da análise da quantidade (número) e da frequência com

que os parâmetros excedem ou não os critérios de qualidade estabelecidos durante o cálculo. O resultado da análise indica que o IQA_{CCME} é mais apropriado para padronizar a avaliação de corpos hídricos nos programas de monitoramento da qualidade da água conforme será demonstrado no decorrer desta dissertação utilizando como estudo de caso o programa de monitoramento da qualidade da água do Rio Cuiabá.

A dissertação está dividida em cinco capítulos. O capítulo 1 descreve os principais aspectos do programa de monitoramento da qualidade da água no Brasil e no Estado de Mato Grosso. Também é descrito o significado e os padrões de qualidade estabelecidos por legislação para cada um dos parâmetros de qualidade utilizados no estudo. O capítulo 2 descreve o formalismo matemático dos métodos NSF e CCME e mostra um exemplo de cálculo de cada método. O capítulo 3 descreve o escopo do estudo, a metodologia, as ferramentas de análise e a área de estudo (bacia do rio Cuiabá). O capítulo 4 descreve os resultados os resultados da análise comparativa entre os dois métodos, ressaltando as vantagens do método não específico CCME sobre o método específico NSF. O capítulo 5 descreve as conclusões retiradas do estudo contracenando com os objetivos propostos e sugestões para trabalhos futuros.

Monitoramento da Qualidade da Água e Parâmetros de Qualidade

Este capítulo descreve os principais aspectos do programa de monitoramento da qualidade da água no Brasil e no Estado de Mato Grosso. É apresentado o significado dos parâmetros de qualidade (sem a influência da ação antrópica) e os valores limites estabelecidos por legislação (Resolução CONAMA nº357/2005) que fixa os padrões de qualidade para diferentes usos e classes.

1.1 Monitoramento da Qualidade da Água Superficial

A importância da qualidade da água está bem conceituada na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que define, dentre seus objetivos, "*assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos*" (Art. 2º, Cap II, Tit. I, Lei nº 9.433).

A PNRH também determina, como uma das diretrizes, de ação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, "*a gestão sistemática dos recursos hídricos; sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade e a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental*" (Art 3º, Cap III, Tit. I, Lei nº 9.433).

Segundo Porto, apesar de sua importância, a gestão da qualidade da água no país não tem historicamente merecido o mesmo destaque dado à gestão da quantidade de água, quer no aspecto legal, quer nos arranjos institucionais em funcionamento no setor, quer no planejamento e na operacionalização dos sistemas de gestão (Porto, 2002).

A informação sobre a qualidade da água no país ainda é insuficiente. Apenas nove unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados

ótimos ou muito bons; seis possuem sistemas bons ou regulares; e onze apresentam sistemas fracos ou incipientes na sua maioria. Veja a Figura 1.1.

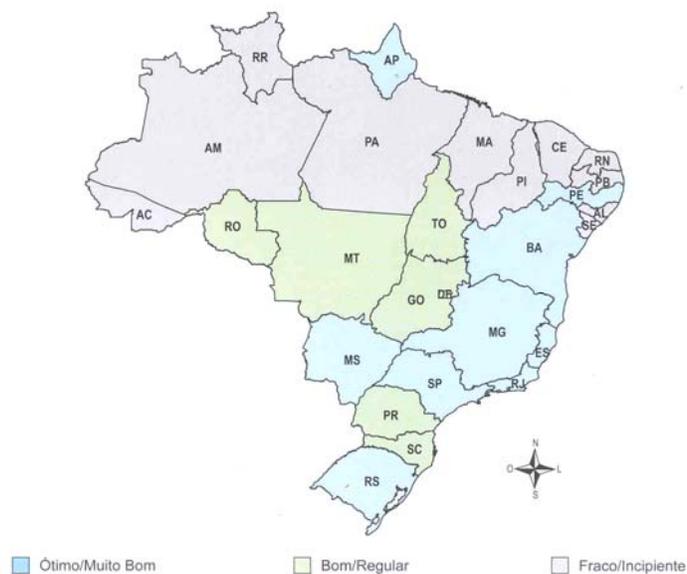


Figura 1.1 – Classificação dos programas de monitoramento da qualidade da água no Brasil.
Fonte de dados – Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil (ANA, 2005).

Os pontos de monitoramento estão localizados nas regiões Sul e Sudeste, seguido pela região Nordeste e Centro-Oeste. Veja a Figura 1.2.



Figura 1.2 – Pontos de monitoramento da qualidade da água no Brasil.
Fonte de dados – Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil (ANA, 2005)

A rede hidrometeorológica nacional, conta hoje com 1.671 pontos de monitoramento cadastrados no banco de dados Hidro*. Dentre os pontos em operação, 485 (29%) estão sob a responsabilidade da ANA, e os demais 1.186 (71%) dividem-se entre outras 24 entidades estaduais e federais.

As redes estaduais contam com cerca de 1.500 pontos de monitoramento, que analisam de 3 a 50 parâmetros de qualidade, dependendo do Estado (veja a Tabela 2.1). A periodicidade de monitoramento da maioria dos pontos é trimestral.

Tabela 1.1 - Rede de monitoramento da qualidade da água nos Estados Brasileiros

Estados	Entidade Responsável	Pontos de Coletas	Nº de Parâmetros	Nº de Coletas
Minas Gerais	IGAM ¹ FEAM ² , CETEC ³	242	50	4
São Paulo	CETESB ⁴	241	50	6
Bahia	CRA ⁵	232	43	1 - 3
Rio Janeiro	FAEMA ⁶	143	21	6
Paraná	SUDERHSA ⁷ IAP ⁸	127	14	1 - 4
Ceará	COGERH ⁹ , SEMACE ¹⁰	115	3	4
Rio Grande do Sul	FEPAM ¹¹ CORSAN ¹² DMAE ¹³	88	32	1 - 4
Espírito Santo	SEAMA ¹⁴	75	15	3
Mato Grosso do Sul	IMAP ¹⁵	74	20	3
Pernambuco	CPRH ¹⁶	69	10	6
Distrito Federal	CAESB ¹⁷	56	15	12
Paraíba	SUDEMA ¹⁸	39	16	2
Goiás	AAG ¹⁹	26	10	4
Amapá	SEMA ²⁰	25	10	4
Mato Grosso	FEMA ²¹	14	19	4
Total		1.566	-	-

⁽¹⁾ IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas, ⁽²⁾ FEAM - Fundação Estadual do Meio Ambiente, ⁽³⁾ CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais, ⁽⁴⁾ CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ⁽⁵⁾ CRA - Conselho Regional de Administração, ⁽⁶⁾ FAEMA - Fundação Municipal de Meio Ambiente, ⁽⁷⁾ SUDERHSA - Superintendência de Recursos Hídricos de Saneamento Ambiental, ⁽⁸⁾ IAP - Instituto Ambiental do Paraná, ⁽⁹⁾ COGERH - Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos, ⁽¹⁰⁾ SEMACE - Superintendência Estadual do Meio Ambiente, ⁽¹¹⁾ FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental, ⁽¹²⁾ CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento, ⁽¹³⁾ DMAE - Departamento Municipal de Água e Esgotos, ⁽¹⁴⁾ SEAMA - Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, ⁽¹⁵⁾ IMAP - Instituto de Meio Ambiente Pantanal, ⁽¹⁶⁾ CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, ⁽¹⁷⁾ CAESB - Companhia de Água e Esgotos de Brasília, ⁽¹⁸⁾ SUDEMA - Superintendência de Administração do Meio Ambiente, ⁽¹⁹⁾ AAG - Agência Ambiental de Goiás, ⁽²⁰⁾ SEMA - Secretaria Estadual do meio Ambiente, ⁽²¹⁾ FEMA - Fundação Estadual do Meio Ambiente.

Fonte de dados – Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil (ANA, 2005).

Em termos gerais, considerando-se as redes estaduais e a rede hidrometeorológica nacional, observa-se que apenas a região Sudeste possui uma condição adequada de monitoramento da qualidade da água. As demais regiões apresentam-se bastante inferiores nesse quesito. Essas limitações no monitoramento dificultam o diagnóstico detalhado da qualidade dos corpos hídricos do país.

Atualmente, 11 estados utilizam o IQA_{NSF} como indicador da condição dos corpos da água (Amapá, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Pernambuco, Rio Grande do Sul, São Paulo), além do Distrito Federal. Essas 12 unidades da Federação representam cerca de 60% da população do país, e os dados de monitoramento englobam 7 das 12 regiões hidrográficas brasileiras (Atlântico Sul, Paraguai, Atlântico Sudeste, São Francisco, Paraná, Atlântico Leste, Amazônica).

Com relação a faixas de classificação do IQA_{NSF} também existem diferenças entre os estados. Os Estados do Amapá, de Minas Gerais, do Paraná, de Mato Grosso e do Rio Grande do Sul utilizam faixas de classificação idênticas as faixas definidas pela NSF. Outros estados como Bahia, Goiás, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul e São Paulo utilizam a faixas de classificação adotada pela Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental, (CETESB). Veja a Tabela 2.2.

Tabela 1.2 - Classificação do IQA_{NSF} adotada nos Estados Brasileiros

Faixa de Classificação (Estados: AP, MG, MT, PR, RS)	Faixa de Classificação (Estados: BA, GO, ES, MS, SP)	Classificação
91-100	80-100	Ótimo
71-91	52-79	Boa
51-70	37-51	Aceitável
26-50	20-36	Ruím
0-25	0-19	Péssimo

Fonte de dados – Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil (ANA, 2005)

No estado de Mato Grosso a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA) é responsável pelo monitoramento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Em execução desde 1986, o programa de monitoramento da qualidade da água na Bacia do Rio Cuiabá possui 19 pontos de amostragem. As coletas começaram a ser realizadas primeiramente a cada trimestre, com um total de 4 campanhas anuais (FURNAS, 1986). A partir de 2003 as coletadas passaram a ser mensal.

O IQA_{NSF} é calculado com base na determinação experimental dos parâmetros de qualidade. As análises físico-químicas, microbiológicas das amostras são realizadas no laboratório de qualidade da água da **SEMA**. Os resultados são divulgados através dos relatórios de monitoramento da qualidade da água (SEMA, 2005; SEMA, 2006).

1.2 Parâmetros de Qualidade da Água

Qualidade da água é um termo que não se restringe à determinação de pureza, mas também às suas características físicas, químicas e microbiológicas.

Uma breve descrição das características e do significado ambiental dos parâmetros de qualidade é apresentada a seguir.

1.2.1 Temperatura

A temperatura é um parâmetro que expressa a energia cinética das moléculas de qualquer substância em qualquer um de seus estados de matéria. A temperatura exerce influência marcante na velocidade das reações químicas, nas atividades metabólicas pela absorção de oxigênio dos organismos e na solubilidade de substâncias através da precipitação de compostos. Sendo seu gradiente (a variação da temperatura com o tempo) o fenômeno responsável pela transferência de calor entre a substância e o meio que a cerca. A alteração da temperatura da água pode ser causada por fontes naturais (principalmente energia solar) ou antropogênicas (despejos industriais e águas de resfriamento de máquinas).

A temperatura desempenha um papel principal de controle no meio aquático, condicionando as influências de uma série de parâmetros físico-químicos. Em geral, à medida que a temperatura aumenta, de 0 a 30°C, a viscosidade, a tensão superficial, a compressibilidade, o calor específico, a constante de ionização e o calor latente de vaporização diminuem, enquanto a condutividade térmica e a pressão de vapor aumentam as solubilidades com a elevação da temperatura. 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, desovam e incubação do ovo.

Segundo (SPERLING, 1996) os ambientes aquáticos apresentam em geral temperaturas na faixa de 20°C a 30°C.

A Resolução CONAMA nº357/2005, estabelece que os poluentes só possam ser lançados nos corpos hídricos, com temperatura inferior a 40°C, sendo que a variação da temperatura do corpo receptor, não deverá exceder a 3°C.

1.2.2 Alcalinidade

A alcalinidade é um parâmetro que expressa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos sem perturbar de forma extrema as atividades biológicas que nele ocorrem (efeito tampão natural da água). Em outras palavras a alcalinidade mede a concentração de carbonatos hidrogenados e íons de carbonatos contidos na água.

As concentrações destes íons caracterizam a capacidade de manter o pH estável da água salgada. A origem natural da alcalinidade da água vem da dissolução de rochas, as reações do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, e a decomposição da matéria orgânica. A origem entrópica vem dos despejos industriais. Se a quantidade de carbonatos hidrogenados e íons de carbonatos forem pequenos, o valor de pH da água pode cair severamente (queda ácida) causando problemas para muitos peixes e invertebrados.

Esta variável é importante no controle do tratamento de água, estando relacionada com a coagulação, redução de dureza e prevenção da corrosão em tubulações.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, não estabelece valor limite para este parâmetro de qualidade.

1.2.3 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água é um parâmetro que expressa a capacidade de conduzir corrente elétrica, devido á presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions devido a variação de temperatura. A condutividade elétrica fornece uma boa

indicação das modificações na composição da água, especialmente na sua concentração mineral.

Valores elevados indicam características corrosivas da água. Alguns fatores podem influenciar na composição iônica dos corpos hídricos, como a geologia da bacia e o regime das chuvas.

As principais fontes dos sais de origem antropogênica contidos nas águas são: descarga de sais, pelas industriais, comércios, excreção humana e animal.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, não estabelece valor limite para este parâmetro de qualidade.

1.2.4 Cor

A cor da água é um parâmetro que expressa a sua forma natural, a partir da decomposição da matéria orgânica. Apesar de ser pouco frequente a relação entre cor acentuada e risco, a cloração da água contendo a matéria orgânica dissolvida pode gerar produtos potencialmente cancerígenos, dentre eles, os trihalometanos.

A Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, estabelece o limite de até 75 U.C. de cor para água bruta antes de receber tratamento convencional e depois ser distribuída em sistemas de redes urbanos, não devendo mostrar cor aparente superior a 15 U.C. conforme estabelece a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

1.2.5 Turbidez

A turbidez é um parâmetro que expressa o grau de interferência à passagem da luz através do líquido. A alteração à penetração da luz decorre da presença de material em suspensão, sendo expressa por meio da unidade de turbidez (também denominadas unidades de Jackson ou nefelométricas).

Alta turbidez reduz a fotossíntese de vegetação enraizada submersa e algas. Esse desenvolvimento reduzido de plantas pode, por sua vez, suprimir a produtividade de peixes.

Logo, a turbidez pode influenciar nas comunidades biológicas aquáticas. Além disso; afeta adversamente os usos doméstico, industrial e recreacional de uma água.

Grande parte das águas dos rios e sub-bacias é naturalmente turva em decorrências das características geológicas das bacias de drenagem, ocorrência de altos índices pluviométricos e uso de práticas agrícolas, muitas vezes, inadequadas. A turbidez natural das águas está, geralmente, compreendida na faixa de 3 a 500 unidades. Para fins de potabilidade, a turbidez deve ser inferior a 1 unidade.

A Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, estabelece o limite de até 100 UNT de turbidez para “água bruta” classe II antes de receber tratamento convencional e depois ser distribuída em sistemas de redes urbanos, não devendo ultrapassar o valor de 5,0 conforme estabelece a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde.

1.2.6 pH

O pH é um parâmetro que expressa o caráter ácido $[H^+]$ ou básico (OH^-) de uma solução aquosa.

Sua faixa de medição varia de 0 a 14. Sendo $pH = 7$ “*neutro*”, significando que existe uma igualdade entre as concentrações de íons de hidrogênio H^+ e hidroxila OH^- (faixa acima de 7 alcalino, abaixo de 7 ácidos).

Rios que correm ou escoam sobre formações ígneas, relativamente insolúveis e de alta concentração de sílica, são tipicamente “moles”, sendo o conteúdo de bicarbonato insuficiente para tamponar alterações de pH devido ao acúmulo de dióxido de carbono. Como resultado da mudança do sistema tampão em direção ao ácido carbônico, o pH destes rios permanece abaixo da neutralidade (Maier, 1978).

A Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005, recomenda para rio de Classe II que o pH da água bruta esteja na faixa de 6,0 a 9,0. Segundo a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde para distribuir em sistemas de redes urbanos deverá estar entre 6,0 e 9,5.

1.2.7 Oxigênio Dissolvido

Oxigênio dissolvido é um parâmetro que expressa a quantidade de oxigênio disponível em um ambiente aquático. As variações nos teores de oxigênio dissolvido estão associadas aos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos corpo hídrico.

De acordo com (Maier, 1978) para a manutenção da vida aquática aeróbia são necessários teores mínimos de oxigênio dissolvido de 2mg/l a 5mg/l, de acordo com o grau de exigência de cada organismo. A concentração de oxigênio disponível mínima necessária para sobrevivência das espécies piscícolas é de 4 mg/l.

A Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005, recomenda para rio de Classe II limite de OD não inferior a 5,0 mg/l.

1.2.8 Demanda Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5-20}) é um parâmetro que expressa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por decomposição microbiana aeróbia para uma forma inorgânica estável. A DBO_{5-20} é normalmente considerada como a quantidade de oxigênio consumido durante cinco dias, em uma temperatura de incubação de 20°C. Pelo fato de a DBO_{5-20} somente medir a quantidade de oxigênio consumido num teste padronizado não indica a presença de matéria não biodegradável, nem leva em consideração o efeito tóxico ou inibidor de materiais sobre a atividade microbiana.

Normalmente os aumentos excessivos de DBO_{5-20} em um corpo hídrico são provocados por despejos de origem predominantemente orgânica. A presença de um alto teor de matéria orgânica pode induzir à completa extinção do oxigênio na água, provocando o desaparecimento de peixes e de outras formas de vida aquática.

A Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005, estabelece DBO_{5-20} até 5 mg/l para Rio de Classe II.

1.2.9 Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro que expressa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica através de um agente químico. A análise da DQO é útil para detectar a presença de substâncias resistentes à degradação biológica. O aumento da concentração da DQO num corpo de água se deve principalmente a despejos de origem industrial. Os valores da DQO normalmente são maiores que os da DBO, sendo o teste realizado num prazo menor e em primeiro lugar, orientando o teste da DBO.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, não estabelece valor limite para este parâmetro de qualidade.

1.2.10 Fósforo e Fosfato Total

O fósforo e o fosfato são parâmetros que expressam o excesso de nutrientes disponível para os processos biológicos. O excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais conduz a processos de eutrofização das águas naturais. Em águas naturais não poluídas a concentração de fósforo situa-se na faixa de 0,01 mg/l a 0,05 mg/l.

O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos é a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como a de um detergente, por exemplo. Os orto-fosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais, que se combina com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de orto-fosfatos.

A Resolução CONAMA nº 357 de 17/03/2005, estabelece limite de até 0,03 mg/l de fósforo total para rio de Classe II.

A Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, estabelece o limite até 0,10mg/l de fosfato total para “água bruta” classe II. Segundo a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde após ter passado pelo tratamento convencional e posteriormente distribuída para a população essa variável deverá ser ausente.

1.2.11 Nitrogênio e Nitrato

Nitrogênio total é um parâmetro que expressa quantidade de material orgânico (biodegradável) lançado no corpo receptor, sendo que em grande quantidade provoca o processo de eutrofização comprometendo toda a vida aquática.

No meio aquático, o elemento químico nitrogênio pode ser encontrado sob diversas formas: nitrogênio molecular N_2 : nesta forma, o nitrogênio está, continuamente, sujeito as perdas para a atmosfera. Sendo que algumas espécies de algas conseguem fixar o nitrogênio atmosférico, o que permite o seu crescimento mesmo quando as outras formas de nitrogênio não estão disponíveis na massa líquida; nitrogênio orgânico: constituído por nitrogênio na forma dissolvida (compostos nitrogenados orgânicos) ou particulada (biomassa de organismos); íon amônio NH_4^+ : forma reduzida do nitrogênio, sendo encontrada em condições de anaerobiose; serve ainda como indicador do lançamento de esgotos de elevada carga orgânica; íon nitrito NO_2^- : forma intermediária do processo de oxidação, apresentando uma forte instabilidade no meio aquoso; e íon nitrato NO_3^- : forma oxidada de nitrogênio, encontrada em condições de anaerobiose.

Este parâmetro é um dos mais importantes nutrientes para o crescimento de algas e macrófitas (plantas aquáticas superiores), sendo facilmente assimilável nas formas de amônia e nitrato. Em condições fortemente alcalinas, ocorre o predomínio da amônia livre (ou não ionizável), que é bastante tóxica a vários organismos aquáticos. Já o nitrato, em concentrações elevadas, está associado á doenças da metemoglobinemia, que dificulta o transporte de oxigênio na corrente sanguínea de bebês. (o nitrato reduz-se a nitrito na corrente sanguínea, competindo com o oxigênio livre, tornando o sangue azul).

A Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, estabelece o limite até 10 mg/l de nitrato para “água bruta” classe II. Segundo a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde após ter passado pelo tratamento convencional, não devendo ultrapassar o valor de 10 mg/l.

1.2.12 Resíduo total

O parâmetro, resíduo total expressa todas as formas de impurezas da água, com exceção dos gases dissolvidos que contribuem para a carga de sólidos presentes nos corpos de água. Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho e características químicas. Os sólidos em suspensão contidos em uma amostra de água apresentam, em função do método analítico escolhido, características diferentes e, conseqüentemente, têm designações distintas.

A unidade de medição normal para o teor em sólidos não dissolvidos é o peso dos sólidos filtráveis, expresso em mg/l de matéria seca. Os sólidos filtrados podem ser determinados o resíduo calcinado (em % de matéria seca), que é considerado uma medida da parcela da matéria mineral. O restante indica como matéria volátil, a parcela de sólidos orgânicos.

Dentro dos sólidos filtráveis encontram-se, além de uma parcela de sólidos turvos, também substâncias não dissolvidas, sólidos flutuantes, que em determinadas condições estão boiando, e são determinados, através de aparelhos adequados, em forma de peso ou volume; sólidos sedimentáveis, que em determinadas condições afundam, sendo seu resultado apresentado como volume (mg/l), mais o tempo de formação; e sólidos não sedimentáveis, que não são sujeitos nem à flotação, nem à sedimentação.

A Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, estabelece limite até 500mg/l de sólidos totais em “água bruta” para rio de classe II. Segundo a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde após ter passado pelo tratamento convencional, não devendo ultrapassar o valor de 1.000 mg/l.

1.2.13 Coliformes Fecais e Totais

O parâmetro coliforme expressa o potencial de contaminação da água por patogênicos de origem fecal. Sendo que para sua determinação baseia-se na fórmula empírica da concentração de coliformes fecais em um dado volume de água. Os coliformes são membros da família *Enterobacteriaceae* (bactérias entéricas ou enterobactérias). Estas bactérias são habitantes

usuais do tracto intestinal do Homem e outros animais. O grupo dos coliformes inclui: *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes* e *Klebsiella pneumoniae*.

De acordo com, as bactérias do grupo coliformes são os indicadores de contaminações fecais mais utilizadas. O coliforme mais característico do intestino é o *Escherichia coli*. Sua determinação se faz por método de colilert e os resultados são expressos em números destes organismos por 100ml de amostra de água, que é denominado de (números mais provável (NMP)) o qual é obtido com auxílio de processos estatísticos. Existe, porém o *Escherichia coli* patogênico, responsável por gastroenterites e outras infecções, a maioria, no entanto, vive parasitariamente nos intestinos humanos sem causar dano algum, como simples comensais Shimada, 1986.

A Resolução CONAMA 357, de 17/03/2005, estabelece o limite até 1.000 ml de coliformes para “água bruta” classe II. Segundo a Portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde após ter passado pelo tratamento convencional e posteriormente distribuído para a população essa variável deverá ser ausente em 100 ml.

1.2.14 Transparência

O parâmetro, transparência expressa da capacidade do meio em atenuar a radiação subaquática devido a quantidade de material em suspensão dissolvido em um corpo hídrico podendo variar desde alguns centímetros até dezenas de metros.

No próximo capítulo será abordado o formalismo matemático do método específico NSF e do método não específico CCME.

Todas as descrições dos parâmetros de qualidade foram traduzidas e adaptadas do (ASCE, 1996).

Este capítulo descreve os dois métodos utilizados neste estudo para calcular índice de qualidade da água. O método desenvolvido por Brown em parceria com a *National Sanitation Foundation (NSF)* (Brown et al., 1970; 1973) e o método CCME desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME)*, (CCME, 2001a, b; Khan, 2004).

Determinar o valor de IQA é uma atividade que todos os programas de monitoramento de águas superficiais prevêm como forma de acompanhar, as alterações das características físicas, químicas e microbiológicas de um corpo hídrico. Logo, toda a informação sobre as alterações sofridas por um corpo hídrico é resumida no IQA.

O IQA apresenta habilidade de poder representar os valores observados de diferentes parâmetros de qualidade através de um único número; também apresenta habilidade para combinar os valores observados em diferentes unidades de medida através de uma única métrica e apresentar o estado de qualidade da água de forma simples utilizando uma linguagem não técnica, por exemplo, bom, excelente, ruim. Através de relações matemáticas é possível estabelecer níveis e padrões de qualidade que possibilita o enquadramento de corpos hídrico em classes ou níveis de qualidade.

Nos últimos 40 anos foram desenvolvidos vários índices de qualidade de água (Brown et al., 1970; 1973; Yu e Fogel, 1978; Dunnette, 1979; Bhargava, 1983; Couillard, D. e Lefebvre Y. 1985, House e Ellis, 1987, Dinius, 1987; Sharifi, 1990; Smith, 1990; Dojildo et al., 1994; Saeger, J. 1994, Palupi et al., 1995; Wills e Irvine, 1996). Porém, o índice desenvolvido por (Brown et al., 1970; 1973) em parceria com a **NSF** é o mais aceito.

Nos últimos 15 anos vem crescendo o uso do IQA por programas de monitoramento de qualidade da água. Isso por que o IQA permite resumir grandes volumes de dados sobre o

estado de qualidade de ambientes aquáticos. E também por causa da necessidade prática de comparação de estados de qualidade de corpos hídricos com características diferentes. Portanto, entender o formalismo matemático e os princípios que fundamentam o método de cálculo do índice de qualidade se faz necessário.

2.1 Índice de Qualidade da Água – Método NFS

Um dos primeiros esforços para desenvolver um IQA foi realizado por (Brown et al., 1970; 1973). Ele utilizou a metodologia *Delphi** para estruturar a opinião de um grupo de 142 profissionais da área de qualidade da água. A metodologia foi composta por três questionários. No primeiro foi enviada uma lista com 35 parâmetros de qualidade selecionados arbitrariamente para possível inclusão no cálculo do índice de qualidade da água.

Os profissionais deveriam selecionar para cada parâmetro de qualidade uma das opções, *incluir*, *não-incluir* ou *indeciso*, sendo possível listar outros parâmetros não inclusos na primeira lista. Cada parâmetro selecionado com o item *incluir* deveria receber um peso variando de 1 a 5. Os resultados desta primeira rodada de questionários foram enviados aos profissionais junto com o segundo questionário para que estes comparassem suas respostas individuais com as do grupo e as reavaliassem. Também foi solicitada uma lista dos 15 parâmetros considerados mais importantes. No terceiro questionário coube aos participantes desenhar curvas (gráficos) para os nove parâmetros selecionados, que segundo seus julgamentos representassem as variações da qualidade da água produzida pelas possíveis medidas dos parâmetros de qualidade. As nove curvas escolhidas para compor o cálculo do IQA_{NSF} foram às curvas médias obtidas das respostas de todos os participantes. Níveis de qualidade de água de 0 a 100 foram indicados nos eixos-y de cada gráfico representando o valor do IQA_{NSF} enquanto os níveis crescentes dos valores (observados) dos parâmetros de qualidade foram indicados no eixo-x. Mitchell e Stapp (1995) proveram a melhor representação visual de cada gráfico de avaliação (veja anexo A).

* **Método Delphi** – O método delphi é compreendido como o produto de um projeto da *Rand Corporation*, realizado na década de 1950, a respeito da utilização da opinião de especialistas. O objetivo era obter o mais significativo consenso de opinião sobre a seleção de uma meta ótima para o sistema industrial dos Estados Unidos estabelecendo uma estimativa do número de bombas atômicas necessário.

Uma análise estatística das avaliações possibilitou que Brown atribuisse pesos a cada parâmetro de qualidade correspondendo ao grau de importância de cada parâmetro na avaliação da qualidade. Sendo a soma dos pesos igual a 1 conforme descrito na equação 2.1.

$$1 = \sum_{i=1}^9 w_i \quad (2.1)$$

Os nove parâmetros de qualidade que compõe o IQA_{NSF} e seus pesos correspondentes são listados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Parâmetros de qualidade e seus respectivos pesos.

Parâmetro de Qualidade	Símbolo	Unidade	Peso (W_i)
Demanda Bioquímica de Oxigênio	DBO ₅₋₂₀	(mg/l)	0,17
Oxigênio Dissolvido	OD	(mg/l O ₂)	0,15
Coliforme Fecal	CF	(NMP/100ml)	0,12
Nitrogênio	N	(mg/l)	0,10
pH	pH	-----	0,12
Temperatura	Temp	(°C)	0,12
Resíduos totais	Res. tot	(mg/l)	0,08
Fósforo	P	(mg/l)	0,08
Turbidez	Turb	(UNT)	0,08
Total			1,00

Fonte: (Brown, 1970)

2.2 - Formalismo Matemático do Método NSF

A estrutura original do índice proposto por Brown era uma soma linear com pesos (w_j) dos sub-índices (q_i) conforme descrito através da equação 2.2.

$$IQA_{NSF} = \left(\sum_{i=1}^9 q_i w_j \right) \quad (2.2)$$

onde, IQA_{NSF} - é uma grandeza adimensional que corresponde a um número de 0 a 100; q_i corresponde a qualidade do parâmetro de qualidade i sendo obtido através da curva média específica de cada parâmetro de qualidade; w_i é o peso entre 0 e 1, atribuído a cada parâmetro de qualidade, em função de sua importância para descrever a qualidade do corpo hídrico.

Porém, no caso da soma linear, parte da informação contida no índice é perdida. Por exemplo, se oito dos nove parâmetros de qualidade que compõem o IQA_{NSF} possuem, observações que satisfaçam os critérios de qualidade, mas, se o valor de pH por exemplo, for igual ou próximo de zero, o IQA_{NSF} calculado seria 85, correspondendo a classificação de qualidade *Boa* (veja a Tabela 2.2). Mas, sabe-se que um corpo hídrico com pH alto ou baixo demais não seria capaz de sustentar certos tipos de vida aquática sendo ainda inadequado para recreação, consumo humano e irrigação.

Para resolver este problema, posteriormente foi proposta uma forma multiplicativa (onde os pesos tornam-se potências dos sub-índices). Com isso, quando qualquer um dos sub-índices aproximarem-se de zero, o IQA_{NSF} também se aproximará de zero. No modelo multiplicativo toda a informação contida no índice de qualidade da água é descrita através da equação 2.3. E o IQA_{NSF} é calculado pelo produtório ponderado dos nove parâmetros que descrevem a qualidade da água.

$$IQA_{NSF} = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (2.3)$$

onde, IQA_{NSF} – também é uma grandeza adimensional que corresponde a um número de 0 a 100; q_i corresponde a qualidade do parâmetro i obtido através da curva média específica de cada parâmetro de qualidade e w_i o peso entre 0 e 1, atribuído a cada parâmetro de qualidade, em função de sua importância em descrever a qualidade de um corpo hídrico conforme mostra a Tabela 2.2.

2.3 Interpretação dos Valores do IQA_{NSF}

Os níveis ou faixas de qualidade da água atribuídos por Brown em função do valor calculado do IQA_{NSF} são mostrados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Classificação da qualidade da água em função do valor de IQA_{NSF}

Nível ou Faixas de Qualidade	Intervalo do IQA_{NSF}
Ótima	$91 < IQA_{NSF} \leq 100$
Boa	$52 < IQA_{NSF} \leq 79$
Aceitável	$37 < IQA_{NSF} \leq 51$
Ruim	$26 < IQA_{NSF} \leq 36$
Péssima	$0 < IQA_{NSF} \leq 25$

Fonte: (Brown, 1970)

Um ambiente aquático com avaliações no intervalo *Boa* ou *Ótima* é capaz de suportar uma grande diversidade de vida aquática. Além disso, o uso da água é satisfatório para todas as formas de recreação, incluindo o contato direto com a água. Um ambiente aquático com avaliações *Regular* é capaz de suportar uma diversidade reduzida de vida aquática. Além disso, há frequentemente o aumento da população de algas. Um ambiente aquático com avaliações *Ruim* é capaz de suportar uma pequena diversidade de vida aquática. Apresentando problemas de poluição. Um ambiente aquático com avaliações *Péssimas* é capaz de suportar um número muito limitado de vida aquática. Apresentando vários problemas de poluição.

2.4 Exemplo de Cálculo do Método NSF

Para exemplificar como é realizado o cálculo do IQA_{NSF} , usaremos um conjunto dados proveniente do programa de monitoramento da qualidade da água da Bacia do Rio Cuiabá. Os valores observados são mostrados na Tabela 2.3. Porém, no exemplo o IQA_{NSF} é calculado apenas para o mês de março. Portanto somente os parâmetros valores contidos no retângulo e os parâmetros correspondentes são levados em conta no cálculo do IQA_{NSF} . Conforme mencionado na introdução, o Estado de Mato Grosso utiliza os parâmetros nitrato e fosfato no lugar dos parâmetros originais nitrogênio e fósforo.

Tabela 2.3 - Valores observados dos parâmetros de qualidade em uma campanha de 12 meses

Parâmetro	Unidade	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Condutividade	µS/cm	-	62	80	84	88	60	77	-	-	50	77
Alcalinidade	mg/l CaCO ₃	21	25	35	36	38	34	33	35	29	26	30
DQO	mg/l O ₂	6,0	7,0	8,0	7,0	6,0	6,0	14,0	13,0	9,0	12,0	6,0
Cor	U.C.	100	150	50	70	40	50	40	50	50	100	100
CT	NMP/100ML	-	11198	8664	871	4160	4160	1835	12996	2046	4611	173287
Transparência	Cm	20	5,0	30	45	30	-	60	25	75	30	5,0
Temperatura	°C	-	26,6	26,8	26,6	25,3	24,1	25,3	29,7	29,5	31,2	26,3
OD	mg/l O ₂	5,4	5,8	5,8	6,2	7,6	8,8	7,8	6,20	9,8	6,6	4,6
CF	NMP/100ML	-	384	139	51	109	630	122	594	10	86	359
pH	-	-	7,21	7,10	7,43	7,40	7,98	7,89	7,74	7,59	7,34	7,35
DBO ₅	mg/l O ₂	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Nitrato	mg/l NO ₃	0,31	0,66	0,49	0,49	0,4	0,44	0,71	1,284	2,425	0,89	0,797
Fosfato	mg/l PO ₄	0,17	0,05	0,21	0,13	0,12	0,12	0,22	0,15	0,1	0,28	0,24
Turbidez	NTU	42,0	35,0	14,0	14,0	7,6	10,0	10,0	10,0	7,0	24,0	40,0
Res.Totais	mg/l	122	147	107	105	76	93	105	89	91	105	207
IQA _{NFS}	-	-	69	73	79	79	72	77	71	85	76	63
Classificação			<i>Média</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Boa</i>	<i>Média</i>

Em negrito: valores observados que ultrapassaram o limite estabelecido pelo CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente.

Para calcular o valor de IQA, primeiro deve-se calcular o valor da qualidade de cada um dos nove parâmetros de qualidade. A qualidade é calculada a partir das equações algébricas mostradas no Anexo A.

Parâmetro Temperatura - (*Temp*)

As equações e as curvas desenvolvidas pela NSF, levam em consideração as características dos corpos de água e variações climáticas dos EUA, sendo a variação da temperatura de equilíbrio o principal parâmetro afetado. Como no nosso caso, os ambientes não recebem cargas térmicas elevadas, as equações não condizem com a realidade brasileira, pois a variação da temperatura de equilíbrio é próxima de zero. Mas no estado de Mato Grosso considera-se a variação da temperatura. Utiliza-se nos cálculos de IQA_{NSF} um $\Delta T \approx 0,1$ °C

Considerando a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro temperatura da água temos,

$$T_{qual} = a(\Delta T)^4 + b(\Delta T)^3 + c(\Delta T)^2 + d(\Delta T) + e \quad (2.4)$$

Substituindo na eq. (2.4) o valor observado de ΔT e as constantes a , b , c , d , e e , pelos seus respectivos valores (veja Anexo A) temos,

$$T_{qual} = 91,53232038 \quad (2.5)$$

Onde, T_{qual} representa a qualidade do parâmetro temperatura,

$$Temp = (T_{qual})^{peso} \quad (2.6)$$

novamente substituindo na eq. (2.6) o valor obtido na eq. (2.5) e substituindo a variável *peso* pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$Temp = 99,99823512^{0,10} = 1,57193 \quad (2.7)$$

o valor calculado através da eq. (2.7) representa a contribuição do parâmetro temperatura da água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

Parâmetro pH - (pH)

Considerando o intervalo de $2,0 < pH \leq 7,3$ a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro *pH* da água é,

$$pH_{qual} = a(pH)^5 + b(pH)^4 + c(pH)^3 + d(pH)^2 + e(pH) + f \quad (2.8)$$

Se, $7,3 < pH \leq 12,0$ a mesma equação é utilizada porém, utilizando o segundo conjunto de constantes. Substituindo na eq. (2.8) o valor observado *pH* e as constantes a , b , c , d , e , e f pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$pH_{qual} = 93,70004353 \quad (2.9)$$

onde, pH_{qual} representa a qualidade do parâmetro pH

$$pH = pH_{qual}^{peso} \quad (2.10)$$

Substituindo na eq. (2.10) o valor obtido através da eq. (2.9) e substituindo a variável $peso$, pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$pH = 93,70004353^{0,12} = 1,7243 \quad (2.11)$$

O valor calculado através da eq. (2.11) representa a contribuição do parâmetro pH da água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

Parâmetro Turbidez - ($Turb$)

Considerando o intervalo de $0 \leq Turb \leq 100$, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro Turbidez da água é,

$$Turb_{qual} = a(Turb)^5 + b(Turb)^4 + c(Turb)^3 + d(Turb)^2 + e(Turb) + f \quad (2.12)$$

Substituindo na eq. (2.12) $Turb$ pelo valor observado e as constantes a , b , c , d , e , e f pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$Turb_{qual} = 47,21306138 \quad (2.13)$$

onde, $Turb_{qual}$ representa a qualidade do parâmetro turbidez

$$Turbidez = (Turb_{qual})^{peso} \quad (2.14)$$

Substituindo na eq. (2.14) o valor obtido através da eq. (2.13) e substituindo a variável $peso$ pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$Turbidez_{qual} = 47,21306138^{0,08} = 1,3612 \quad (2.15)$$

O valor calculado através da eq. (2.15) representa a contribuição do parâmetro *Turbidez* da água em termos de qualidade no cálculo do IQA_{NSF} .

Parâmetro Coliforme Fecal - (CF)

Se $CF > 10^5$, $CF_{qual} = 2,0$. Considerando o intervalo de $1 \leq CF \leq 10^5$ mg/l, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro Coliforme Fecal na água é,

$$CF_{qual} = a(CF - c)^b \quad (2.16)$$

Substituindo na eq. (2.16) CF pelo valor observado e as constantes **a**, e **b**, pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$CF_{qual} = 25,23125357 \quad (2.17)$$

onde, FC_{qual} representa a qualidade do parâmetro coliforme fecal

$$ColiformeFecal = CF_{qual}^{peso} \quad (2.18)$$

Substituindo na eq. (2.18) o valor obtido através da eq. (2.17) e substituindo a variável *peso* pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$Coliforme Fecal = 25,23125357^{0,15} = 1,6228 \quad (2.19)$$

O valor calculado através da eq. (2.19) representa a contribuição do parâmetro Coliforme Fecal da água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

Parâmetro Oxigênio Dissolvido - (OD)

No caso do *OD* o primeiro passo é a determinar a concentração de saturação de oxigênio dada pela seguinte fórmula:

$$OD\% = \left(\frac{OD}{C_s}\right)100 \quad (2.20)$$

onde, $OD\%$ é o percentual de oxigênio dissolvido em (mg/l), e C_s a concentração de saturação de oxigênio dissolvido (mg/l). O valor calculado do C_s é 8,6, logo

$$OD\% = \left(\frac{5,8}{8,6}\right)100 \quad (2.21)$$

$$OD\% = 67,442 \quad (2.22)$$

Considerando o intervalo de $0 \leq OD \leq 140$ mg/l, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro OD é,

$$OD_{qual} = a(OD\%)^5 + b(OD\%)^4 + c(OD\%)^3 + d(OD\%)^2 + e(OD\%) + f \quad (2.23)$$

Substituindo na eq. (2.23) OD pelo valor observado e as constantes a , b , c , d , e , e f pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$OD_{qual} = 70,18143396 \quad (2.24)$$

onde, OD_{qual} representa a qualidade do parâmetro oxigênio dissolvido

$$OD = OD_{qual}^{peso} \quad (2.25)$$

Substituindo na eq. (2.25) o valor obtido através da eq. (2.24) e substituindo a variável $peso$ pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$OD = 70,18143396^{0,17} = 2,0599 \quad (2.26)$$

O valor calculado através da eq. (2.26) representa a contribuição do parâmetro oxigênio dissolvido na água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

Parâmetro Demanda Bioquímica de Oxigênio - (DBO)

Considerando o intervalo $0 \leq DBO \leq 30$ mg/l, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro *DBO* é,

$$D B O_{q u a l} = a (e x p)^{b D B O} + c. \quad (2.27)$$

Substituindo na eq. (2.27) *DBO* pelo valor observado e as constantes *a*, *b* e *c* pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$D B O_{q u a l} = 88,3894919 \quad (2.28)$$

onde, *DBO_{qual}* representa a qualidade do parâmetro demanda Bioquímica de oxigênio

$$D B O = D B O_{q u a l}^{p e s o} \quad (2.29)$$

Substituindo na eq. (2.29) o valor obtido através da eq. (2.28) e substituindo a variável *peso* pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$D B O = 88,3894919^{0,10} = 1,5655 \quad (2.30)$$

O valor calculado através da eq. (2.30) representa a contribuição do parâmetro *DBO* da água em termos de qualidade no cálculo de *IQA_{NSF}*.

Parâmetro Resíduo Total (RT)

Considerando o intervalo de $0 \leq RT \leq 500$, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro Resíduo total é,

$$R T_{q u a l} = (R T)^5 + b (R T)^4 + c (R T)^3 + d (R T)^2 + e (R T) + f \quad (2.31)$$

Substituindo na eq. (2.31) RT pelo valor observado e as constantes a , b , c , d , e , e f pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$RT_{\text{qual}} = 8,65587669 \quad (2.32)$$

onde, RT_{qual} representa a qualidade do parâmetro resíduos totais

$$RT = RT_{\text{qual}}^{\text{peso}} \quad (2.33)$$

Substituindo na eq. (2.33) o valor obtido através da eq. (2.32) e substituindo a variável peso pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$RT = 81,65587669^{0,08} = 1,4222 \quad (2.34)$$

O valor calculado através da eq. (2.34) representa a contribuição do parâmetro *Resíduo Total* da água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

Parâmetro Nitrato - (Nitra)

Considerando o intervalo de $0 \leq \text{Nitra} \leq 100$ mg/l, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro Nitrato é,

$$\text{Nitra}_{\text{qual}} = a (\text{exp})^{b(\text{nitra})}. \quad (2.35)$$

Substituindo na eq. (2.35) Nitra pelo valor observado e as constantes a e b pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$\text{Nitra}_{\text{qual}} = 88,1981036438 \quad (2.36)$$

Onde, $\text{Nitra}_{\text{qual}}$ representa a qualidade do parâmetro Nitrato

$$\text{Nitrato} = \text{Nitra}_{\text{qual}}^{\text{peso}} \quad (2.37)$$

Substituindo na eq. (2.37) o valor obtido através da eq. (2.36) e substituindo a variável *peso* pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$Nitrato = 88,1981036438^{0,10} = 1,5651 \quad (2.38)$$

O valor calculado através da eq. (2.38) representa a contribuição do parâmetro *Nitrato* da água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

Parâmetro Fosfato - (*Fosfa*)

Considerando o intervalo de $0 \leq Fosfa \leq 10$ mg/l é, a equação algébrica para calcular a qualidade do parâmetro Fosfato é,

$$Fosfa_{qual} = \frac{1}{(a + (b (fosfa)))} \quad (2.39)$$

Substituindo na eq. (2.4) *Fosfa* pelo valor observado e as constantes *a*, e *b* pelo correspondente valor (veja Anexo A) temos,

$$Fosfa_{qual} = 99,10439462 \quad (2.40)$$

onde, $Fosfa_{qual}$ representa a qualidade do parâmetro fosfato

$$Fosfato = Fosfa_{qual}^{peso} \quad (2.41)$$

Substituindo na eq. (2.41) o valor obtido através da eq. (2.40) e substituindo a variável *peso* pelo seu valor correspondente (veja Tabela 2.3) temos,

$$Fosfato = 99,10439462^{0,10} = 1,5835 \quad (2.42)$$

O valor calculado através da eq. (2.42) representa a contribuição do parâmetro *Fosfato* da água em termos de qualidade no cálculo de IQA_{NSF} .

A Tabela 2.4 mostra os valores observados, os valores calculados da qualidade para cada um dos parâmetros e seus respectivos pesos.

Tabela 2.4 - Resumo do cálculo do IQA_{NSF}

Parâmetros de Qualidade	Valor (Obs)	X_{qual}^*	Peso	Qualidade
DBO (mg/l)	1,00	88,3894	0,10	1,565
OD (mg/l)	5,80	70,1814	0,17	2,060
CF (100ml)	139	25,2313	0,15	1,623
Nitratos (mg/l)	0,66	88,1981	0,10	1,565
pH	7,21	93,7000	0,12	1,724
Temperatura (°C)	26,6	91,7089	0,10	1,571
Res.tot (mg/l)	107	81,6558	0,08	1,422
Fosfato (mg/l)	0,21	99,1044	0,10	1,583
Turbidez (NTU)	147	47,2130	0,08	1,361
Total			1,00	68,03

* X_{qual} representa cada um dos parâmetros de qualidade.

O próximo passo é utilizar a eq. (2.2) para calcular o produtório dos parâmetros de qualidade conforme mostrado abaixo,

$$IQA_{NSF} = (pH) \times (Turbidez) \times (Res.total) \times (DBO) \times (Nitrato) \times (Fosfato) \times (Coliforme Fecal) \times (OD) \times (Temp) \quad (2.43)$$

Substituindo os valores das equações (2.7), (2.11), (2.15), (2.26), (2.30), (2.34), (2.38), e (2.42) na eq. (2.43) temos

$$IQA_{NSF} = 68,03 \quad (2.44)$$

O entendimento deste exemplo permite ao leitor reproduzir os valores do IQA_{NSF} mostrados na Tabela 2.3. Cabe observar que a diferença de 0,3863 deve a fatores de arredondamento e forma de cálculo da concentração de saturação ao avaliar-se o parâmetro OD.

A seguir será abordado o formalismo matemático que fundamenta o método de cálculo do IQA_{CCME} desenvolvido pelo Conselho Canadense de Ministros do Ambiente (CCME).

2.5 Índice de Qualidade da Água – Método CCME

O método CCME foi desenvolvido para padronizar o método de cálculo do IQA no Canadá. Até 1997, os programas de monitoramento da qualidade da água canadense utilizavam diferentes métodos para determinar o IQA. Então em 1997 o Conselho Canadense de Ministros do Ambiente criou o sub-comite técnico de índice de qualidade da água para avaliar e desenvolver um índice de qualidade da água que simplificasse os relatórios de qualidade e pudesse ser utilizado por todos os programas de monitoramento em todas as províncias.

Em 2001 o conselho decidiu por um método que enfatiza o uso de diretrizes de qualidade de água CCME (2001a) em contraste ao método NSF que utiliza julgamento de especialistas.

A definição do IQA_{CCME} está fundamentada na comparação dos valores dos parâmetros de qualidade obtidos experimentalmente com os padrões estabelecidos por legislação ou sobre bases científicas.

Para compor o IQA é combinado os valores das três medidas de variância para criar um vetor no espaço tridimensional. Isto é, cada medida de variância corresponde a uma das componentes do vetor. Para produzir um índice onde um número mais próximo de 100 represente uma qualidade melhor. As três medidas são escalonadas de forma que o comprimento do vetor varie entre 0 e 100.

O IQA_{CCME} contém a informação sobre a variância dos três fatores em relação a um objetivo estabelecido (padrões de qualidade). F_1 que representa o número de parâmetros que não obedecem aos padrões (critérios) estabelecidos. F_2 representa a frequência dos parâmetros que não obedecem aos critérios de qualidade estabelecidos e F_3 representa a magnitude da excedência de cada parâmetro em relação aos padrões estabelecidos.

2.6 - Formalismo Matemático do Método CCME

Escopo (F_1) – Este fator é chamado de escopo por que contem a informação sobre o número de parâmetro que não atendem aos critérios estabelecidos (padrões de qualidade). F_1 é calculado através da eq. (2.45),

$$F_1 = \left[\frac{\text{Número de parâmetros que não passaram nos teste de critérios}}{\text{Número total de parâmetros}} \right] \times 100 \quad (2.45)$$

Frequência (F_2) – Este fator contém informação sobre a frequência com que cada parâmetro de qualidade não atende aos critérios de qualidade estabelecidos. O ato de comparar um valor observado com um critério estabelecido é chamado de *teste*.

F_2 é calculado através da eq. (2.46),

$$F_2 = \left(\frac{\text{Número de testes que não atenderam aos critérios de qualidade}}{\text{Número total de testes}} \right) \times 100 \quad (2.46)$$

Amplitude (F_3) – Este fator contém informação sobre a magnitude com que cada parâmetro excede os critérios estabelecidos. F_3 é calculado em três passos. Duas excursões e o cálculo da soma normalizada de excursões. O primeiro passo calcula o número de vezes que a concentração de um parâmetro de qualidade é maior que os critérios estabelecidos, eq. (2.47).

$$\text{excursão}_i = \left(\frac{\text{Valor de Excedênciado Critério}_i}{\text{Valor do Critério}_j} \right) - 1 \quad (2.47)$$

O segundo passo calcula o número de vezes que a concentração de um parâmetro de qualidade é menor que os critérios estabelecidos, eq. (2.48),

$$\text{excursão}_i = \left(\frac{\text{Valor do Critério}_j}{\text{Valor de Excedênciado Critério}_i} \right) - 1 \quad (2.48)$$

A soma normalizada de excursões nse^* é calculada somando as excursões dos testes individuais e dividindo pelo numero total de testes (critérios atingidos e não atingidos), nse é calculado através da eq. (2.49).

* nse , vem do acrônimo em inglês *normalized sum of excursions*.

$$nse = \frac{\sum_{i=1}^n excurs\tilde{o}_i}{N\acute{u}merodeTestes} \quad (2.49)$$

F_3 é então calculado por uma função assintótica que escalona a soma normalizada das excursões em relação aos de critérios estabelecidos em uma escala entre 0 e 100.

$$F_3 = \frac{nse}{0,01(nse) + 0,01} \quad (2.50)$$

O método CCME trata o índice como sendo um vetor no espaço tridimensional. Onde cada componente corresponde a um fator conforme é mostrado na Figura 2.1. A soma dos quadrados de cada fator é então igual ao quadrado do índice.

Fórmula para se calcular IQA_{CCME}

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \right) \quad (2.51)$$

Uma vez determinado o IQA_{CCME} um número entre 0 e 100, o divisor 1,732 é introduzido na eq. (2.52) por que o valor máximo que cada componente do vetor pode alcançar é 100, isto é.

$$\sqrt{100^2 + 100^2 + 100^2} = \sqrt{30000} = 173,2 \quad (2.52)$$

Como no modelo IQA_{NSF} o resultado é simplificado em forma de classificação descritiva, onde 0 representa a "pior" qualidade de água e 100 representa a "melhor" qualidade de água.

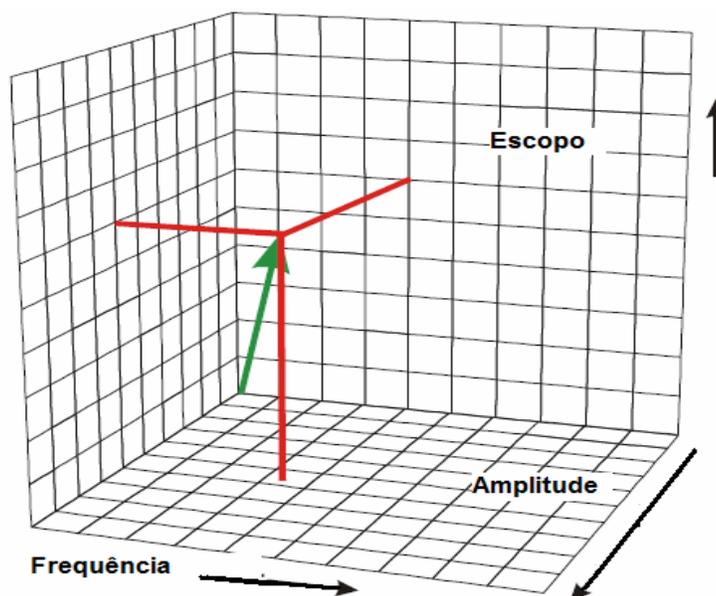


Figura 2.1 – Representação geométrica do índice de qualidade da água IQA_{CCME}
 Fonte de dados – CCME water Quality Index 1.0, Technical Report (CCME, 2001).

2.7 Exemplo de Cálculo do Método CCME

Para exemplificar os procedimentos de cálculo do IQA_{CCME} , será usado o mesmo conjunto de dados mostrados na Tabela 2.3. Por ser um método não específico e fundamentado nas diretrizes de qualidade (os critérios de qualidade são utilizados como padrões de comparação em relação aos valores observados), o método CCME não é restrito a nove parâmetros e critérios de qualidade. Na Tabela 2.5 é mostrado os parâmetros e critérios de qualidade levados em consideração no cálculo de IQA_{CCME} .

Cabe aqui lembrar que quando não existe critério de qualidade para um parâmetro, o método CCME não considera esse parâmetro no cálculo de IQA , isto é, como se o parâmetro não existisse (veja na Tabela 2.5, os parâmetros de qualidade, temperatura, condutividade elétrica e alcalinidade).

Tabela 2.5 – Parâmetros e critérios de qualidade estabelecidos pela legislação Brasileira

Parâmetro	Unidade	*Critérios de qualidade IQA _{CCME}
	-	$6 \leq \text{pH} \leq 9$
Temperatura	°C	Na
Turbidez	UNT	≤ 100
Cor	U.C.	≤ 75
Condutividade Elétrica	$\mu\text{S/cm}$	Na
Oxigênio Dissolvido - OD	mg/l O ₂	$\geq 5,0$
Demanda Química de Oxigênio - DQO	mg/l O ₂	Na
Alcalinidade	mg/l CaCO ₃	Na
Sólidos Totais	mg/l	≤ 500
Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO	mg/l O ₂	$\leq 5,0$
Nitratos	mg/l NO ₃	≤ 5
Fosfato	mg/l P	$\leq 0,03$
Coliformes Fecais	NMP/100ml	≤ 1000

Resolução CONAMA 357 de 2005, Na - não aplicável.

Seguindo os passos descritos na seção 2.6 F_1 é calculado através da eq. (2.46). O número de variáveis que não atendem aos critérios estabelecidos é 2. O número total de variáveis é 7. Substituindo esses valores na eq. 2.45 temos,

$$F_1 = \left(\frac{2}{7}\right) \times 100 = 29 \quad (2.52)$$

O número de testes que não atendem aos critérios (*Número de testes falhos*) é 10, e o número total de testes é 75.

$$F_2 = \left(\frac{10}{75}\right) \times 100 = 13 \quad (2.53)$$

As excursões, sua soma normalizada, e F_3 são calculadas como segue:

As excursões, sua soma normalizada, e F_3 são calculadas como segue:

$$\text{excursão} = \left(\frac{4,6}{5}\right) - 1 = -0,08$$

$$\text{excursão} = \left(\frac{0,17}{0,1}\right) - 1 = 0,7386$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,21}{0,1} \right) - 1 = 1,1$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,13}{0,1} \right) - 1 = 0,3$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,12}{0,1} \right) - 1 = 0,2$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,12}{0,1} \right) - 1 = 0,2 \quad (2.54)$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,22}{0,1} \right) - 1 = 1,2$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,15}{0,1} \right) - 1 = 0,5$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,28}{0,1} \right) - 1 = 1,8$$

$$excurs\tilde{a}o = \left(\frac{0,24}{0,1} \right) - 1 = 1,4$$

$$nse = \left(\frac{-0,08 + 0,7 + 1,1 + 0,3 + 0,2 + 0,2 + 1,2 + 0,5 + 1,8 + 1,4}{75} \right) = 0,0976 \quad (2.55)$$

Substituindo os valores calculados através das eqs. (2.47), (2.48) na eq. (2.49) temos,

$$F_3 = \left(\frac{0,0976}{(0,01)(0,0976) + 0,01} \right) = 9 \quad (2.56)$$

Substituindo os valores calculados através das eqs. (2.52), (2.53) na eq. (2.56) temos,

$$IQA_{CCME} = 100 - \left(\frac{\sqrt{29^2 + 13^2 + 9^2}}{1,732} \right) = 81 \quad (2.57)$$

Os dois exemplos descritos ilustram de forma prática e simples o cálculo do IQA_{NSF} . Um método específico fundamentado no julgamento (opinião) de especialistas e o método não específico CCME fundamentado nas diretrizes de qualidade da água.

No próximo capítulo é abordada a metodologia adotada e as atividades realizadas na análise comparativa entre os dois métodos de cálculo de IQA.

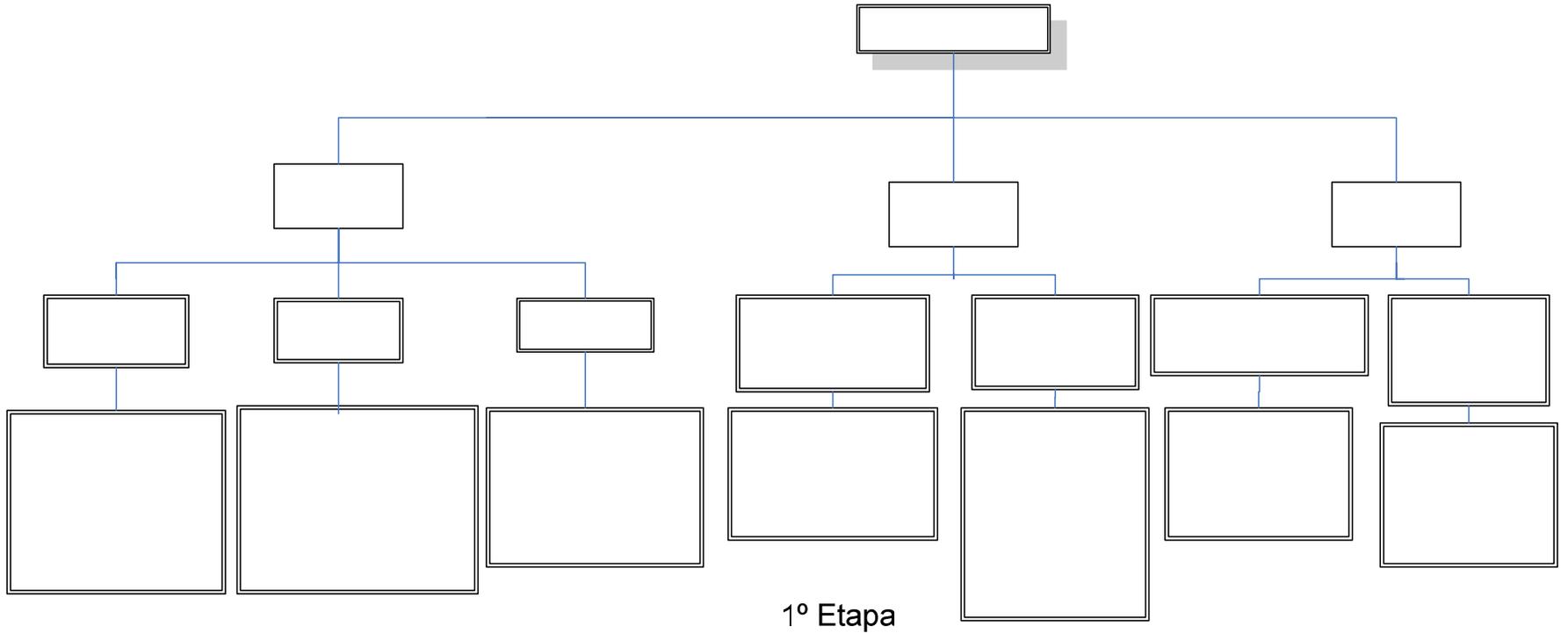
Capítulo 3

Metodologia

Este capítulo descreve o escopo do estudo. As atividades realizadas. A área de estudo. O levantamento de dados. As estratégias adotadas no cálculo de IQA. E as ferramentas de análise de dados.

3.1 Escopo do Estudo

O estudo foi realizado em três etapas. A primeira etapa envolveu três atividades. Realizar uma pesquisa bibliográfica. Escolher a área de estudo. Fazer o levantamento dos dados existentes. A segunda etapa envolveu duas atividades. Avaliar da qualidade dos dados coletados e entender o formalismo matemático dos métodos de cálculo de IQA (descrito no capítulo 2). A terceira e última etapa envolveu duas atividades. Calcular e analisar os valores de IQA através dos métodos NSF e CCME em função dos parâmetros e critérios de qualidade. No caso do método CCME os cálculos foram realizados para diferentes estratégias e critérios de qualidade. A Figura 3.1 mostra a representação gráfica do escopo do estudo.



Pesquisa
Bibliográfica

Levantamento
de Dados

Área de Estudo

Figura 3.1 – Escopo do estudo, etapas e atividades realizadas.

Objetivo

Justificativa

Consultas

Fer

Pesquisa Bibliográfica - foi realizada uma exaustiva pesquisa em periódicos internacionais e nacionais para conhecer como os programas de monitoramento (em outros países, no Brasil e no Estado de Mato Grosso) avaliam a qualidade de águas superficiais.

Área de estudo - a escolha da Bacia do Rio Cuiabá como área de estudo é justificado por três fatores: primeiro por que o Estado de Mato Grosso é um dos estados considerados da Federação que possui sistema de monitoramento da qualidade da água considerado bons ou regular segundo o levantamento realizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2004). Segundo por que o estado de Mato Grosso é um dos 12 estados realizam cálculos de IQA_{NSF} em seu programa de monitoramento. E por que existem diferenças com relação aos parâmetros de qualidade e ao método de cálculo. O Estado de Mato Grosso utilizam os parâmetros fosfato e nitrato no lugar de fósforo e nitrogênio respectivamente, mantendo-se os mesmos pesos e curvas de qualidade estabelecida pela NSF. E terceiro devido a importância estratégica que a Bacia do Rio Cuiabá desempenha no estado de Mato Grosso. As águas do Rio Cuiabá são utilizadas para geração de energia, irrigação, diluição de efluentes doméstico e industrial, abastecimento público e rural.

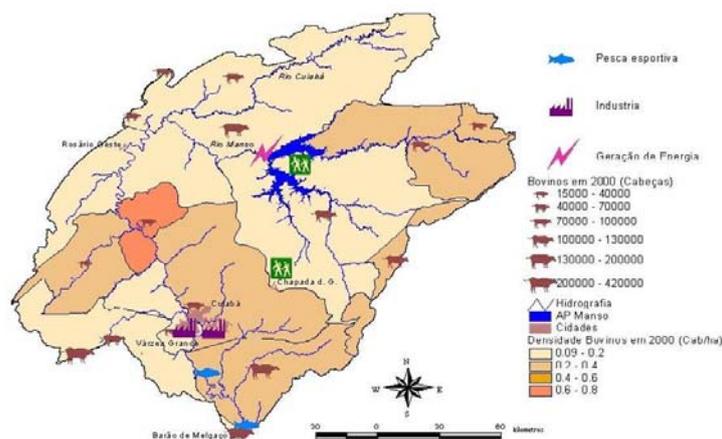
Levantamento e avaliação da qualidade dos dados – O levantamento dos dados foi feito com base nos relatório de monitoramento da qualidade da água do rio Cuiabá (SEMA, 2005; 2006). Os relatórios de monitoramento da qualidade da água informam apenas os valores dos parâmetros de qualidade e IQA, sem nenhuma menção ao tratamento estatístico dos valores observados.

Entendimento do formalismo matemáticos dos métodos de cálculo de IQA - esta atividade foi realizada, por que os métodos de cálculo NSF e CCME foram desenvolvidos levando em conta abordagens diferentes. Uma comparação direta entre os dois métodos de cálculo poderia levar a um resultado sem sustentação lógica e matemática. Logo o entendimento de todos os procedimentos de cálculo de cada um dos métodos é de suma importância para a análise comparativa.

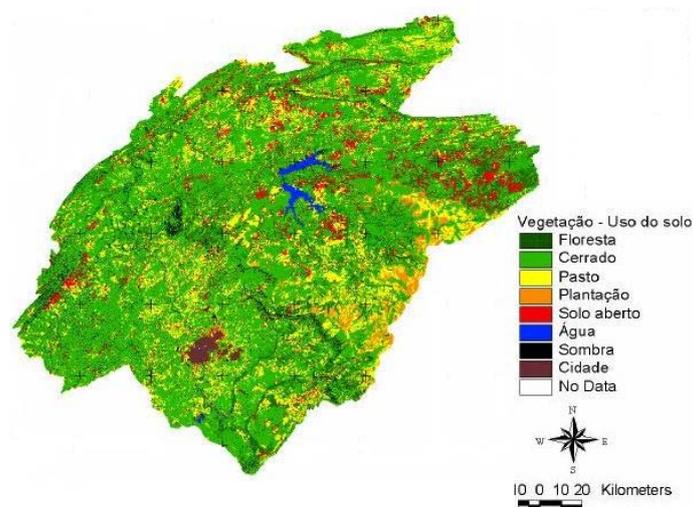
3.2 Área de Estudo

O estudo foi realizado na Bacia do Rio Cuiabá, entre as coordenadas geográficas 14°10' e 18°23' de latitude Sul e 53°04' de longitude Oeste, correspondendo a uma área de 28.732 km² (ECOPLAN, 2003).

A bacia do rio Cuiabá é caracterizada por apresentar uma vegetação do tipo cerrado onde a pecuária e a agricultura são atividades predominantes. Possui áreas de pastagem com criação de gado bovino e monoculturas de soja, milho e arroz. Em menor escala outras atividades são realizadas. A Figura 3.2 (a) e (b) mostram as atividades de uso e ocupação da área de estudo.



(a)



(b)

Figura 3.2 - Atividades de uso da Bacia do Rio Cuiabá.

3.2 Levantamento dos Dados

Os dados utilizados são os mesmos da rede de amostragem do relatório de monitoramento da qualidade da água do Rio Cuiabá (SEMA, 2005; SEMA 2006). A Figura 3.3 mostra a distribuição espacial dos pontos de amostragem na bacia do Rio Cuiabá e as coordenadas geográficas de cada ponto. Todos os pontos encontram-se ao longo do rio Cuiabá.

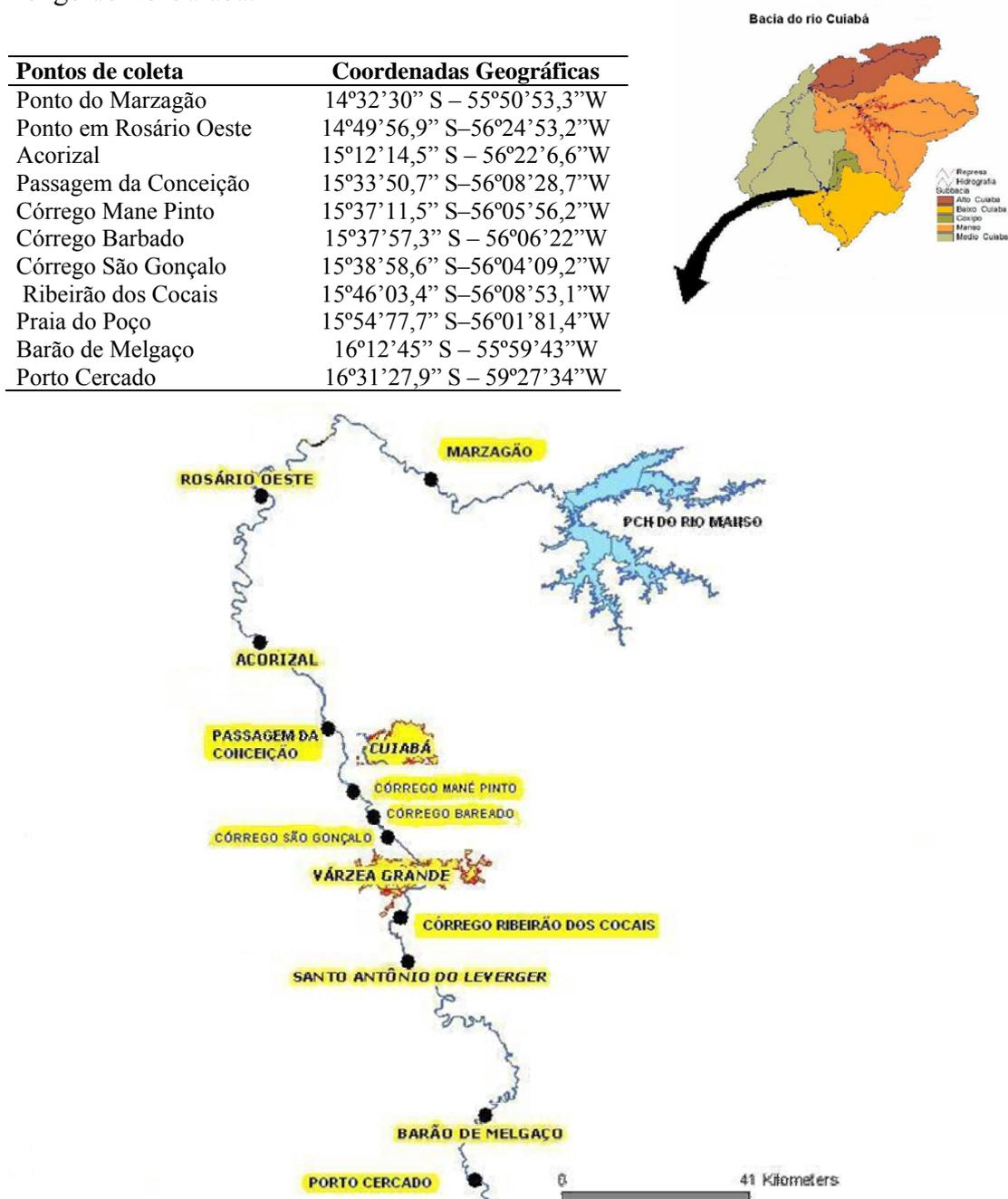


Figura 3.3 - Área de estudo e localização dos pontos de amostragem no Rio Cuiabá.

A Tabela 3.1. mostra os 24 parâmetros de qualidade que são determinados no programa de monitoramento da qualidade da água da Bacia do Rio Cuiabá e o período de coletas e análise mensais.

Tabela 3.1 - Parâmetros de qualidade determinados experimentalmente no programa de monitoramento da qualidade da água da bacia do Rio Cuiabá

Parâmetros	Unidades	Períodos
pH	-	2001 - 2005
Temperatura da água	°C	2001 - 2005
Transparência	cm	2001 - 2005
Turbidez	U.N.T ⁽¹⁾	2001 - 2005
Cor	U.C. ⁽²⁾	2001 - 2005
Condutividade elétrica	µS/cm	2001 - 2005
Oxigênio dissolvido	mg/l O ₂	2001 - 2005
Demanda química de oxigênio	mg/l O ₂	2001 - 2005
Alcalinidade total	mg/l CaCO ₃ ⁽³⁾	2001 - 2005
Resíduo total	mg/l	2001 - 2005
Demanda bioquímica de oxigênio	mg/l O ₂	2001 - 2005
Nitrogênio Kjeldhal total	mg/l N	2001, 2002, 2004 e 2005
Nitrogênio Amoniacal	mg/l N	2001 - 2005
Nitratos	mg/l NO ₃	2001 - 2005
Nitritos	mg/l N	2001 - 2005
Fósforo total	mg/l P	2001 - 2002
Fosfato Total	mg/l P	2003 - 2005
Orto-fosfato	mg/l	2001, 2002, 2004 e 2005
Coliforme total	NMP/100ml ⁽⁴⁾	2003, 2004 e 2005
Coliforme fecal	NMP/100ml	2003, 2004 e 2005
Cloreto	mg/l	2005
Sulfato	mg/l	2005
Dureza	mg/l	2005
Resíduo não Filtrável	mg/l	2005

Fonte: Relatório de Monitoramento da Qualidade da Água do Rio Cuiabá (SEMA 2005; 2006). (1) - Unidade Nefelométrica de Turbidez; (2) – Unidade de Cor; (3) - Expresso em termos de Carbonato de Cálcio; (4) - Número mais provável por 100 mililitros.

Observe na Tabela 3.1 que o parâmetro fosfato foi determinado apenas no período de janeiro a dezembro de 2003 á 2005. O parâmetro fósforo total no período de janeiro a dezembro de 2001 á 2002 e o parâmetro orto-fosfato no período de janeiro a dezembro

de 2001, 2002, 2004 e 2005. Também, praticamente não há dados de coliformes totais no ano de 2002, somente duas observações nos meses de janeiro e fevereiro.

3.4 Ferramentas de Análise dos Dados

O cálculo do IQA_{NSF} e a representação gráfica dos resultados da análise comparativa entre os índices de qualidade foram realizados utilizando a planilha de cálculo Excel (Microsoft Excel). O programa STATISTICA (StatSoft, Inc., 2001) versão 6.0 foi utilizado para analisar a qualidade dos dados. Os valores de IQA_{CCME} foram calculados com o programa CWQI versão 1.0, desenvolvido em linguagem *Visual Basic* (para Microsoft Excel) pelo CCME (CCME, 2001a). O programa foi traduzido para a língua Portuguesa e modificado para incorporar os critérios de qualidade estabelecidos pela legislação Brasileira (LIMA, 2006). A Figura 3.4 mostra a tela inicial do programa CWQI-1.0. A opção *Dados* permite importar dados de planilhas de cálculo ou arquivos txt. A opção *critérios* permite configurar o programa para que os testes de critérios de qualidade sejam realizados em função dos critérios estabelecidos nesta opção.



Figura 3.4 - Tela inicial d programa CWQI.

A Figura 3.5 mostra a tela de entrada de dados. A Figura 3.6 mostra a tela contendo dados já importados para a estrutura do programa CWQI-1.0.

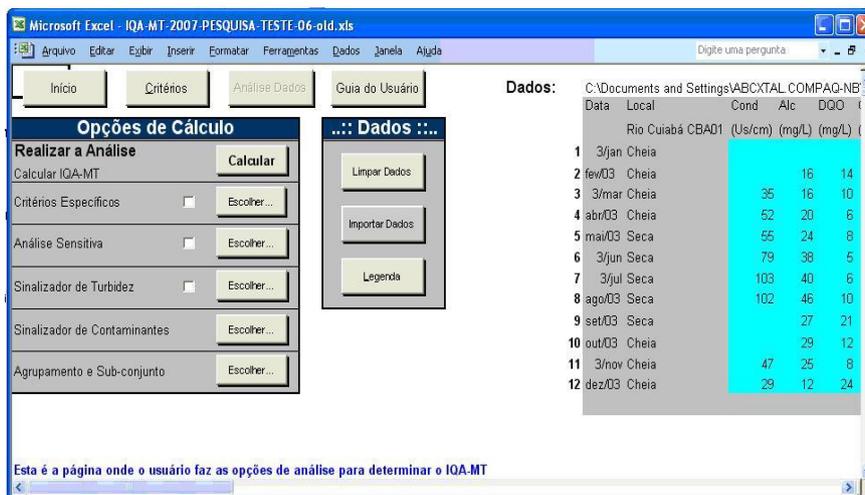


Figura 3.5 - Tela de entrada de dados.

Data	Local	Cond	Alc	DQO	Cor	CT	Transp	Temp	OD	CF	pH	DBO5	Nitratos	Fos	Turb	ResTot
	Rio Cuiabá CBA01	(Us/cm)	(mg/L)	(mg/L)	(UC)	(NMP100/mL)	(Cm)	(°C)	(mg/L)	(NMP100/mL)		(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(NTU)	(mg/L)
	3/jan Cheia															
	fev/03 Cheia	16	14	150				7,2				2	0,49	0,43	75	228
	3/mar Cheia	35	16	10	200	36090	20	25,6	4,1	2260	7,86	1	0,4	0,34	50	461
	abr/03 Cheia	52	20	6	40	2098	5	25,8	6,9	850	7,39	1	0,27	0,07	7,6	59
	mai/03 Seca	55	24	8	100	5040	60	26,6	6,2	1	7,13	1	0,31	0,17	29	60
	3/jun Seca	79	38	5	20	2280	20	25,3	7,8	0,5	7,63	1	0,18	0,04	2,5	54
	3/jul Seca	103	40	6	20	1580	110	24,1	8,2	200	7,6	1	0,35	0,05	1,9	70
	ago/03 Seca	102	46	10	20	3450	100	25,3	6	100	7,84	1	0,22	0,61	2	62
	set/03 Seca		27	21	200	13170	110	29,3	5,8	100	7,18	3	1,33	0,18	40	94
	out/03 Cheia		29	12	70	1076	30	29,5	5,4	10	7,22	1	3,5	0,05	15	49
	3/nov Cheia	47	25	8	250	836	70	31,2	5,8	10	7,03	1	0,86	0,19	53	69
	dez/03 Cheia	29	12	24	200	48840	10	25,5	6,2	1350	6,6	1	0,27	0,38	48	268

Figura 3.6 - Conjunto de dados.

A Figura 3.7 mostra a tela de configuração dos parâmetros e critérios de qualidade para diferentes usos. Observe que no caso da Figura 3.7 os parâmetros de qualidade foram configurados com critérios diferentes para os diferentes usos. Os critérios estão de acordo com os valores estabelecidos pela legislação brasileira (veja capítulo 1).

Microsoft Excel - Programa IQA-CCME-(2)_OK

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda Digite uma pergunta

Arial 10

G10

Início Dados **Análise Dados** Guia do Usuário Modelo IQA-MT Ajustes Aquáticos **Critérios**

Esta é a página em que o usuário define os critérios que serão utilizadas para avaliar a qualidade da água.
 Para prover resultados significativos, o IQA-MT deve ser calculado para um conjunto de dados que contenha no mínimo 4 variáveis atendendo a no mínimo 4 testes cada variável.
 Os critérios definidos como padrão são aqueles estabelecidos pela resolução CONAMA Número 357 de 17 de março de 2005.

Formato de Dados			Critérios aos quais os dados são submetidos a testes							
Formato de Dados do Usuário			Uso Global		Abastecimento		Com. Aquática		Recreação	
Variáveis (Parâmetros)	Símbolo	Unidade	L- Inferior	L- superior	L- Inferior	L- superior	L- Inferior	L- superior	L- Inferior	L- superior
1 Demanda Bioquímica Oxigênio	DBO5	mg/L		5						
2 Temperatura	Temp	oC								
3 pH	pH		6	9						
4 Turbidez	Turb	UNT		100						
5 Resíduo Total	ResTot	mg/L		500						
6 Fosfato	Fos	mg/L		0,1						
7 Nitrato	Nitrato	mg/L		10						
8 Oxigênio Dissolvido	OD	mg/L	5							
9 Coliforme Fecal	CF	NMP/100mL		1000						
10 Condutividade	Cond	uS/cm								
11 Coliforme Total	CT	NMP/100mL		5000						
12 Demanda Química Oxigênio	DQO	mg/L								
13 Alcalinidade (Total)	Alc	mg/L								
14 Cor	Cor	UC		75						
15										
16										
17										
18										

Pronto

Figura 3.7 – Tela de configuração dos parâmetros e critérios de qualidade para diferentes usos.

A Figura 3.8. mostra as faixas de classificação do IQA utilizada no método IQA_{CCME} . Esta classificação é a mesma utilizada para calcular o IQA através do método IQA_{NSF} (veja a Tabela 2.2).

Classificação	Uso Global	Abastecimento	Com. Aquática	Recreação	Irrigação	Uso Animal		
Ótima	91	91	91	91	91	91		
Boa	71	71	71	71	71	71		
Média	51	51	51	51	51	51		
Ruim	26	26	26	26	26	26		
Muito Ruim	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 3.8 - Faixas de classificação do IQA.

Após a entrada dos dados, e critérios de qualidade para cada um dos parâmetros utilizados na análise o programa inicia os testes de critérios realizando a comparação entre os valores observados e os critérios de qualidade estabelecidos. A Figura 3.9 mostra a tela com os resultados dos testes de critérios. Observe que os testes são realizados levando em conta os diferentes usos.

Uso Global

Data	periodo	DBO5	Temp	pH	Cor	Alc	Turb	Cond	ResTot	NK	Nitratos	O-Fosf	Transp	Fos	CT	CF	DDO	OD		
		mg/l	O2	°C	U.C.	CaCO3	NTU	Us/cm	mg/L	mg/L	NO3	mg/L	Cm	mg/L	P	NMP/100ML	NMP/100ML	Mg/L	O2	mg/L
1	03/jan	cheia	1,00		150,00	21,00	42,00	122,00	0,31			20	0,27				6,00	5,40		
2	fev/03	cheia	1,00		150,00	25,00	35,00	62	147,00	0,66		5	0,05		11186	384	7,00	5,80		
3	03/mar	cheia	1,00	26,60	7,21	150,00	25,00	14,00	80	107,00	0,49	30	0,21		8664	138	8,00	5,80		
4	abr/03	cheia	1,00	26,60	7,10	50,00	35,00	14,00	84	105,00	0,49	45	0,13		871	51	7,00	6,20		
5	mai/03	seca	1,00	26,60	7,43	70,00	36,00	7,60	88	76,00	4,00	30	0,12		4160	108	6,00	7,60		
6	03/jun	seca	1,00	25,30	7,40	40,00	38,00	10,00	60	83,00	0,44	60	0,12		4160	638	6,00	8,80		
7	03/jul	seca	2,00	24,10	7,98	50,00	34,00	10,00	60	83,00	0,44	60	0,22		1835	123	14,00	7,80		
8	ago/03	seca	1,00	25,30	7,89	40,00	33,00	10,00	77	105,00	0,71	25	0,15		12986	594	13,00	6,20		
9	set/03	seca	1,00	29,70	7,74	50,00	35,00	7,00	89,00	1,22		75	0,10		2046	10	9,00	9,80		
10	out/03	seca	1,00	29,50	7,59	50,00	29,00	7,00	81,00	2,44		30	0,26		4511	88	12,00	6,60		
11	03/nov	cheia	1,00	31,20	7,34	100,00	26,00	24,00	50	105,00	0,85	5	0,24		173287	358	6,00	4,60		
12	dez/03	cheia	1,00	26,30	7,35	100,00	30,00	40,00	77	207,00	0,80									

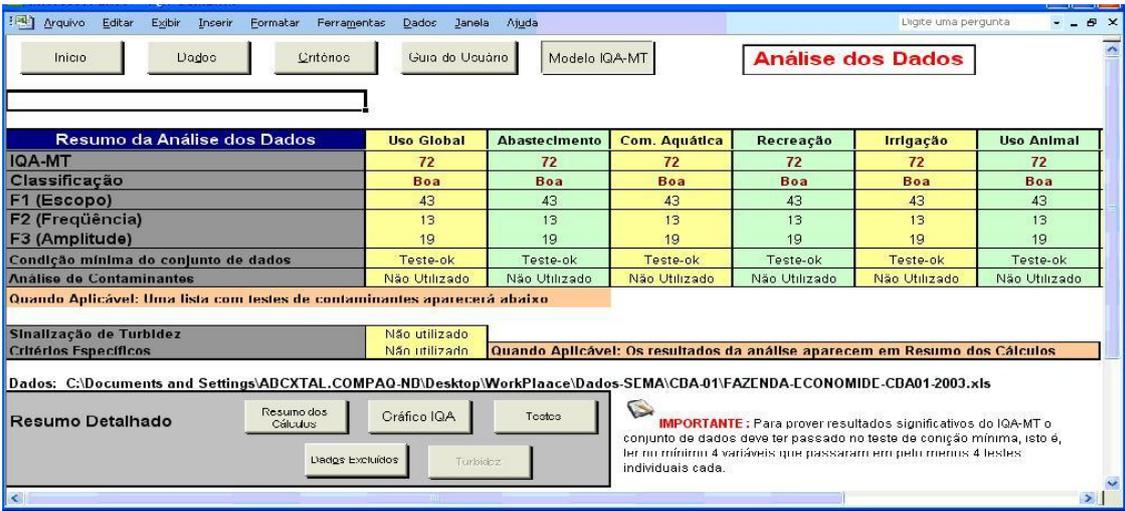
Abastecimento

Data	periodo	DBO5	Temp	pH	Cor	Alc	Turb	Cond	ResTot	NK	Nitratos	O-Fosf	Transp	Fos	CT	CF	DDO	OD		
		mg/l	O2	°C	U.C.	CaCO3	NTU	Us/cm	mg/L	mg/L	NO3	mg/L	Cm	mg/L	P	NMP/100ML	NMP/100ML	Mg/L	O2	mg/L
1	03/jan	cheia	1,00		150,00	21,00	42,00	122,00	0,31			20	0,27				6,00	5,40		
2	fev/03	cheia	1,00		150,00	25,00	35,00	62	147,00	0,66		5	0,05		11186	384	7,00	5,80		
3	03/mar	cheia	1,00	26,60	7,21	150,00	25,00	14,00	80	107,00	0,49	30	0,21		8664	138	8,00	5,80		
4	abr/03	cheia	1,00	26,60	7,10	50,00	35,00	14,00	84	105,00	0,49	45	0,13		871	51	7,00	6,20		
5	mai/03	seca	1,00	26,60	7,43	70,00	36,00	7,60	88	76,00	4,00	30	0,12		4160	108	6,00	7,60		
6	03/jun	seca	1,00	25,30	7,40	40,00	38,00	10,00	60	83,00	0,44	60	0,12		4160	638	6,00	8,80		

Figura 3.9 – Tela do programa CWQI-1.0 mostrando o resultado de um teste de qualidade.

Os valores em vermelho representam as observações que não passaram nos testes de critérios. As observações marcadas em verde indicam que estas estão dentro dos limites estabelecidos, portanto atendem aos critérios de qualidade. Já as observações marcadas em branco indicam que não foram realizados testes de critérios de qualidade.

A Figura 3.10 mostra a tela com o resultado final do cálculo do IQA_{CCME} . É mostrado os valores de F_1 , F_2 e F_3 . A classificação do IQA_{CCME} . E o teste de condição mínima do conjunto de dados (no mínimo 4 observações para cada parâmetro).



Resumo da Análise dos Dados	Uso Global	Abastecimento	Com. Aquática	Recreação	Irrigação	Uso Animal
IQA-MT	72	72	72	72	72	72
Classificação	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa	Boa
F1 (Escopo)	43	43	43	43	43	43
F2 (Frequência)	13	13	13	13	13	13
F3 (Amplitude)	19	19	19	19	19	19
Condição mínima do conjunto de dados	Teste-ok	Teste-ok	Teste-ok	Teste-ok	Teste-ok	Teste-ok
Análise de Contaminantes	Não Utilizado					

Quando Aplicável: Uma lista com testes de contaminantes aparecerá abaixo

Sinalização de Turbidez: Não utilizado

Critérios Específicos: Não utilizar

Quando Aplicável: Os resultados da análise aparecem em Resumo dos Cálculos

Dados: C:\Documents and Settings\ADCXTAL.COMPAO-ND\Desktop\WorkPlace\Dados-SEMA\CDA-01\FAZENDA-ECONOMIDE-CDA01-2003.xls

Resumo Detalhado: Resumo dos Cálculos, Gráfico IQA, Testes, Dados Excluídos, Turbidez

IMPORTANTE: Para obter resultados significativos do IQA-MT o conjunto de dados deve ter passado no teste de condição mínima, isto é, ter no mínimo 4 variáveis que passaram em pelo menos 4 testes individuais cada.

Figura 3.10 - Tela de análise de dados do programa CWQI-1.0 mostrando o cálculo do IQA_{CCME} .

A seguir é descrita as estratégias utilizadas no cálculo do IQA_{CCME} . Estas estratégias permitem comparar os valores de IQA determinados pelos métodos NSF e CCME.

3.5 Estratégias de Comparação

O NSF é um método específico (devido conter somente parâmetros que descrevem a qualidade da água para abastecimento) para calcular IQA fundamentado na opinião de especialistas em qualidade da água (Brown et al., 1970; 1973) onde a opinião dos especialistas é representada através das curvas de qualidade. Já o CCME é um método não específico (pode ser utilizado para determinar a qualidade da água para diferentes usos levando em conta todos os parâmetros de qualidade disponíveis) para calcular IQA fundamentado nas diretrizes de qualidade de água, (CCME, 2001a, b; Khan, 2004). Ou seja, para calcular o IQA_{CCME} um algoritmo realiza vários testes para saber número de

parâmetros e observações que não passam em testes de critérios de qualidade estabelecidos previamente. Por serem métodos desenvolvidos sob diferentes óticas, foram adotadas cinco estratégias de cálculo para permitir uma análise comparativa entre os valores de IQA calculados através dos dois métodos. Pois, uma simples comparação entre os dois métodos poderia levar a uma interpretação errônea.

A primeira estratégia é chamada de (NSF): é constituída do próprio método NSF descrito no exemplo do capítulo 2. Esta estratégia calcula o IQA_{NSF} levando em conta os nove parâmetros (específicos) de qualidade. Conforme mostra o relatório de qualidade da água divulgado pela **SEMA** (SEMA, 2005, 2006).

A segunda estratégia é chamada CCME (1): Esta estratégia calcula o IQA_{CCME} levando em conta os mesmos nove parâmetros de qualidade da estratégia NSF. Porém como a resolução CONAMA 357/2005 estabelece padrões de qualidade apenas para 7 dos 9 parâmetros de qualidade os critérios de qualidade são aplicados somente para estes sete parâmetros conforme é mostrado na Tabela 3.2.

A terceira estratégia é chamada de CCME (2): Esta estratégia calcula o IQA_{CCME} levando em conta os mesmos nove parâmetros de qualidade da estratégia NSF. Da mesma maneira que a estratégia CCME (1) os critérios de qualidade são aplicados somente para estes sete parâmetros. Porém esta estratégia adota 44,0 mg/l como critério de qualidade para o parâmetro nitrato e 10 mg/l para fosfato de acordo com o relatório de qualidade da água publicado pela **SEMA** conforme é mostrado na Tabela 3.2.

A quarta estratégia é chamada de CCME (3): Esta estratégia calcula o IQA_{CCME} . Porém, leva em conta 13 parâmetros de qualidade e emprega critérios de qualidade somente para 9 dos 13 parâmetros.

A quinta estratégia é chamada de CCME (4): Esta estratégia calcula o IQA_{CCME} . Porém, leva em conta 13 parâmetros de qualidade e emprega critérios de qualidade somente para 11 dos 13 parâmetros.

Uma comparação entre a estratégia NSF com as estratégias CCME permite avaliar as diferenças e as similaridades entre os dois métodos de cálculo de IQA.

Comparando a estratégia NSF com CCME (1) e CCME (2) é possível analisar o efeito no valor de IQA quando um critério de qualidade é modificado, porém mantido o mesmo número de parâmetros de qualidade.

Comparando a estratégia NSF com CCME (3) CCME (4) e CCME (5) é possível analisar o efeito no valor de IQA devido a inclusão de novos parâmetros e critérios de qualidade.

A Tabela 3.2 mostra um resumo das estratégias parâmetros e critérios de qualidade.

Tabela 3.2 – Parâmetros, estratégias e critérios de qualidade utilizados no estudo

Parâmetro	Unidade	Estratégias e critérios de qualidade				
		NSF ⁸	CCME (1)	CCME (2)	CCME (3)	CCME (4)
Temperatura água	°C	Na	Na	Na	Na	Na
Turbidez	UNT	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100	≤ 100
Cor	U.C.	Na	Na	Na	≤ 75	≤ 75
Condutividade Elétrica	μS/cm	Na	Na	Na	Na	> 700
Oxigênio Dissolvido	mg/l O ₂	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 5,0	≥ 5,0
Demanda Química de Oxigênio	mg/l O ₂	Na	Na	Na	Na	Na
Alcalinidade	mg/l CaCO ₃	Na	Na	Na	Na	> 500
Resíduos Totais	mg/l	Na	Na	Na	≤ 500	≤ 500
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l O ₂	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0	≤ 5,0
Nitrato	mg/l NO ₃	≤ 44,0	≤ 44,0	≤ 10,0	≤ 10,0	≤ 10,0
Fosfato	mg/l P	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Coliforme Fecal	NMP/100ml	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000	≤ 1000
Dureza	mg/l	-	-	-	-	-

Na – Não aplicável, ⁸ Critérios de qualidade segundo relatório de qualidade da água da SEMA

No próximo capítulo serão descritos os resultados obtidos e as principais conclusões da análise comparativa entre os dois métodos de cálculo de IQA.

Este capítulo descreve os resultados da análise comparativa entre os valores de IQA calculados através dos métodos NSF e CCME. As análises foram realizadas em função da evolução temporal e da distribuição espacial da qualidade da água em 11 pontos de amostragem ao longo do Rio Cuiabá num período de cinco anos (2001-2005).

4.1 Análise da Evolução Temporal

Os IQAs foram calculados segundo os procedimentos adotados nos exemplos do capítulo 2. As Figuras 4.1, 4.2 e 4.3 mostram os valores de IQA_{NSF} e IQA_{CCME} calculados para as quatro estratégias NSF, CCME (1), CCME (2) e CCME (3) nos anos de 2003, 2004 e 2005 respectivamente.

O valor anual do IQA_{NSF} resulta da média aritmética simples dos valores mensais de IQA_{NSF} entre os meses de fevereiro a dezembro. Os critérios de qualidade a que os dados foram submetidos são mostrados na Tabela 3.2.

Observa-se que as quatro estratégias utilizadas para calcular IQA descrevem praticamente o mesmo comportamento em relação a classificação do IQA, diferindo apenas na magnitude dos valores de IQA. A diferença na magnitude dos valores de IQAs ocorre por que as estratégias de cálculo foram formuladas em função do método de cálculo, número de parâmetros e critérios de qualidade (veja a seção 3.5).

As curvas que descrevem os valores de $IQA_{CCME (1)}$ e $IQA_{CCME (2)}$ nos três períodos 2003, 2004 e 2005 apresentam comportamentos similares. Este resultado já era esperado, pois as estratégias diferem apenas nos critérios de qualidade dos parâmetros nitrato e fosfato (Veja Tabela 3.2). Observa-se também que as estratégias CCME (1) e CCME (2) superestimam os valores de $IQA_{CCME (1)}$ e $IQA_{CCME (2)}$ quando comparadas com o IQA_{NSF} . Isso ocorre por que embora as estratégias CCME (1) CCME (2), utilizem os mesmos

parâmetros de qualidade que a estratégia NSF. As estratégias CCME (1) e CCME (2) usam critérios de qualidade para sete dos nove parâmetros de qualidade. Ou seja, não leva em conta no cálculo do IQA os parâmetros temperatura e resíduos totais. Logo por ser uma estratégia menos restritiva que a estratégia NSF (opinião dos especialistas) ela superestima os valores de IQA_{CCME} quando o número de parâmetros de qualidade é igual ou menor que os nove parâmetros utilizados pelo método NSF. Outro fator que influencia neste comportamento são as situações em que todas as observações passem nos critérios de qualidade e neste caso o método CCME (por ser fundamentado nas diretrizes de qualidade) produz um índice que corresponde à qualidade ótima enquanto que para o mesmo conjunto de dados, o método NSF produz uma qualidade boa. Um exemplo desta situação pode ser verificado através do conjunto de dados do mês de outubro mostrado na Tabela 2.3. Isso justifica o fato das estratégias CCME (1) e CCME (2) superestimarem os valores de IQA em relação a estratégia NSF.

O resultado mais interessante vem da comparação entre as estratégias NSF e CCME (3) onde os dois métodos descrevem o mesmo comportamento, porém ocorre o efeito contrário. Ou seja, ocorre um decréscimo na magnitude dos valores de $IQA_{CCME(3)}$ quando comparado com os valores de IQA_{NSF} . Esse efeito é provocado pela inclusão de dois novos parâmetros e critérios de qualidade os quais tornam a estratégia CCME (3) mais restritiva que a estratégia NSF provocando o efeito de troca (*exchange*) na magnitude dos valores de IQA_{NSF} e IQA_{CCME} .

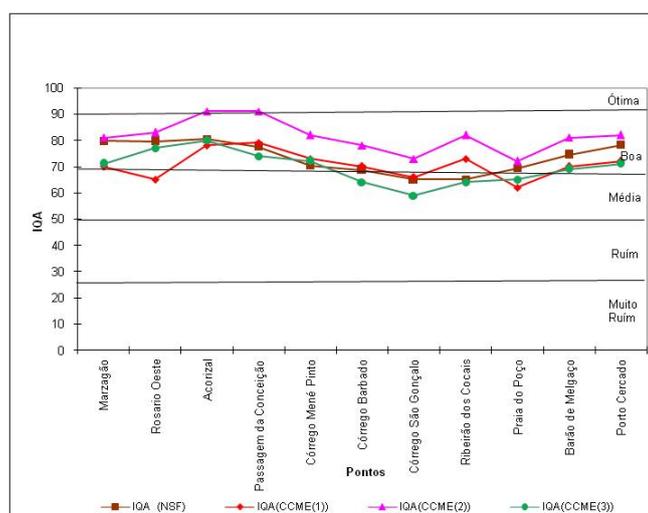


Figura 4.1 - Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME(1)}$, $IQA_{CCME(2)}$, $IQA_{CCME(3)}$ em 2003 para 11 pontos de amostragem

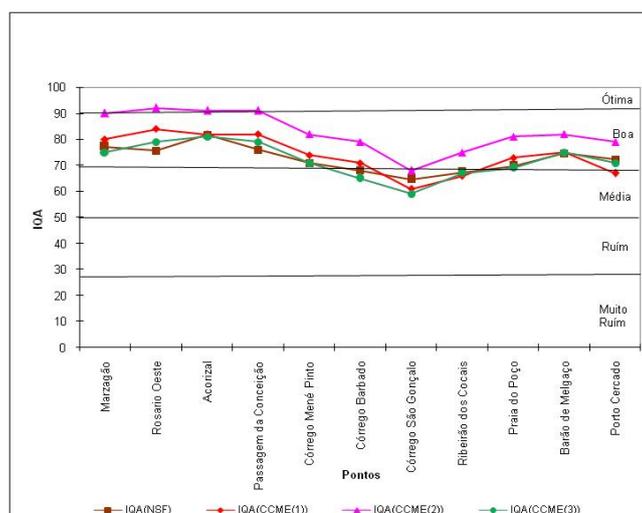


Figura 4.2 - Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(1)}$ $IQA_{CCME(2)}$ $IQA_{CCME(3)}$ em 2004 para 11 pontos de amostragem

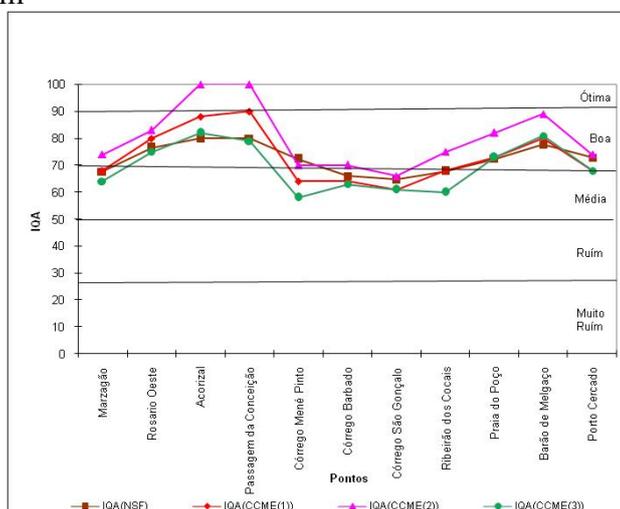


Figura 4.3 - Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(1)}$ $IQA_{CCME(2)}$ $IQA_{CCME(3)}$ em 2005 para 11 pontos de amostragem.

Embora esse resultado seja um indicativo da eficiência do método CCME em aplicar as diretrizes de qualidade para descrever o estado de qualidade de um corpo hídrico ele ainda não é conclusivo. Pois, uma série de três anos não é o suficiente para tornar este resultado conclusivo. O ideal seria realizar esta análise para uma série temporal de no mínimo 5 nos. Calcular o $IQA_{CCME(1)}$ e $IQA_{CCME(2)}$ utilizando critérios de qualidade para os nove parâmetros é outro aspecto importante que também deveria ser levado em conta na análise e não foi por falta de critérios estabelecido por legislação e ou determinado através da pesquisa científica para os parâmetros temperatura e resíduos totais.

Para confirmar se esse efeito ocorre naturalmente, o próximo passo foi estender o cálculo para uma série temporal mais longa, incluindo os anos de 2001 e 2002. Embora, a

série de dados de 2001 esteja completa não existem dados de coliforme fecal na série de 2002. Como o parâmetro coliforme fecal possui o maior peso na fórmula de cálculo de IQA_{NSF} , a ausência deste parâmetro impossibilita uma comparação com IQA_{CCME} . Para contornar este problema foi utilizado o fator de correção no cálculo do IQA_{NSF} . O fator de correção é um artifício matemático utilizado no método NSF quando não existem dados de um parâmetro de qualidade. Antes de mostrar como calcular o fator de correção observe que a Tabela 4.1 mostra os valores de qualidade calculados para os nove parâmetros de qualidade utilizando as eqs. 2.1, 2.2 e 2.3. Onde (Obs) são os valores observados nas análises de laboratório, (X_{qual}) é valor da qualidade do parâmetro e (Peso) a contribuição de cada parâmetro na composição do cálculo de IQA_{NSF} e (Total) é o valor calculado com a eq. 2.2.

Tabela 4.1 – Cálculo de IQA_{NSF} não levando em conta fator de correção.

Parâmetro	Obs	X_{qual}	Peso	Total
Oxigênio Dissolvido	5,80	70	0,17	2,059049
Coliforme Fecal	384	31	0,16	1,732279
pH	7,21	92	0,11	1,644435
Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,00	95	0,11	1,650249
Temperatura	26,6	93	0,10	1,573433
Fosfato	0,05	98	0,10	1,581695
Nitrato	0,66	96	0,10	1,578437
Turbidez	35,0	49	0,08	1,365261
Sólidos Totais	147,0	79	0,07	1,357794
			IQA_{NSF}	70,48528

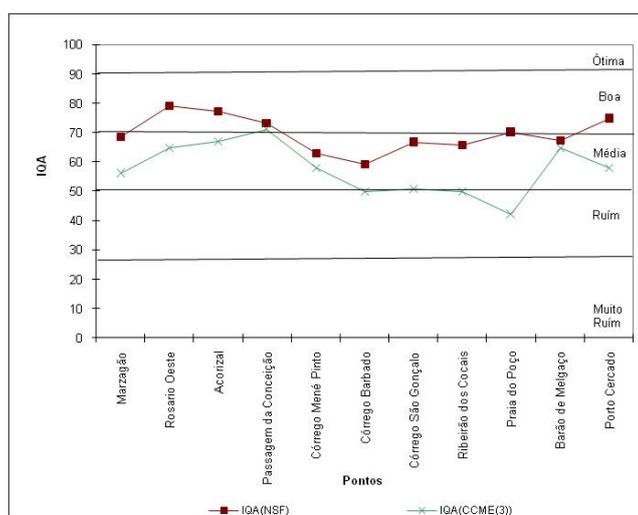
Para calcular o IQA_{NSF} na ausência de um parâmetro (neste caso o coliforme fecal), primeiro calcula-se o valor de qualidade para os oito parâmetros de qualidade restantes utilizando as equações 2.2 e 2.3. O resultado da qualidade para os oito parâmetros é 40,68933. O fator de correção é calculado da seguinte forma. Como o somatório dos pesos é igual a 1 (veja eq. 2.2), na ausência do parâmetro coliforme fecal essa soma é 0,84. O fator de correção para simular o valor do parâmetro (ausente) coliforme fecal é o inverso deste número, ou seja, 1,19. Logo na ausência do parâmetro coliforme fecal o IQA_{NSF} é calculado multiplicando o fator de correção 1,19 por 40,68933 levando ao valor 82,27764 conforme é mostrado na Tabela 4.2.

O IQA_{NSF} para o ano de 2002 foi calculado usando o fator de correção. Note que o método NSF também superestima o valor de IQA_{NSF} quando não se tem dados de um dos nove parâmetros de qualidade. Ou seja, quando calculado com os nove parâmetros de qualidade o $IQA_{NSF} = 70,48528$ e na ausência de coliforme fecal $IQA_{NSF} = 82,27764$.

Tabela 4.2 – Cálculo de IQA_{NSF} levando em conta o fator de correção.

Parâmetro	Obs	X_{qual}	Peso	Total
Oxigênio Dissolvido	5,80	70	0,17	2,059049
Coliforme Fecal	--	--	0,16	--
pH	7,21	92	0,11	1,644435
Demanda Bioquímica de Oxigênio	1,00	95	0,11	1,650249
Temperatura	26,6	93	0,10	1,573433
Fosfato	0,05	98	0,10	1,581695
Nitrato	0,66	96	0,10	1,578437
Turbidez	35,0	49	0,08	1,365261
Sólidos Totais	147,0	79	0,07	1,357794
			IQA_{NSF}	40,68933
			IQA_{NSF}	82,27764

As Figuras 4.4 e 4.5 mostram os valores de IQA_{NSF} e $IQA_{CCME(3)}$ em função da distribuição espacial dos 11 pontos de amostragem entre fevereiro a dezembro de 2001 e 2002 respectivamente.

**Figura 4.4** - Valores de IQA_{NSF} e $IQA_{CCME(3)}$ em 2001 para 11 pontos de amostragem.

Note que para o ano de 2002 o método NSF superestima o valor de IQA devido não haver dados de coliforme fecal, enquanto o método CCME descreve o comportamento da qualidade de forma mais coerente com a realidade. A Figura 4.5 mostra que o mesmo efeito ocorre. Quando se aumenta o número de parâmetros e critérios de qualidade o método CCME tende sempre a produzir valores de IQA_{CCME} com magnitude menores que os valores calculados com o método NSF, mesmo na ausência de dados do parâmetro coliforme fecal.

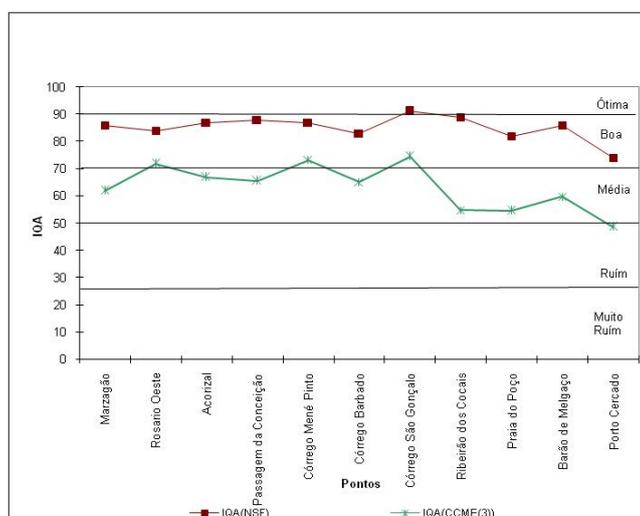


Figura 4.5 - Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(3)}$ em 2002 para 11 pontos de amostragem.

Esse comportamento ocorre por que a estratégia CCME (3) utiliza um número de parâmetros e critérios de qualidade mais restritivos que a estratégia NSF (veja a Tabela 3.2). Foram inclusos os parâmetros cor e resíduos totais. Ainda com o intuito de explorar um pouco mais a capacidade e a eficiência do método CCME a estratégia CCME (4) foi utilizada para enfatizar o uso de novos parâmetros de qualidade no cálculo do IQA_{CCME} .

O próximo passo foi calcular o $IQA_{CCME(4)}$ para a estratégia CCME (4). Esta estratégia é mais restritiva que a estratégia CCME (3), pois aplica critérios de qualidade para 11 dos 13 parâmetros de qualidade dois a mais que a estratégia CCME (3). As Figuras 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, e 4.10 mostram os valores calculados para IQA_{NSF} , $IQA_{CCME(3)}$ e $IQA_{CCME(4)}$ para as observações realizadas nos 11 pontos de amostragem ao longo do rio Cuiabá nos anos de 2001, 2002, 2003, 2004 e 2005 respectivamente.

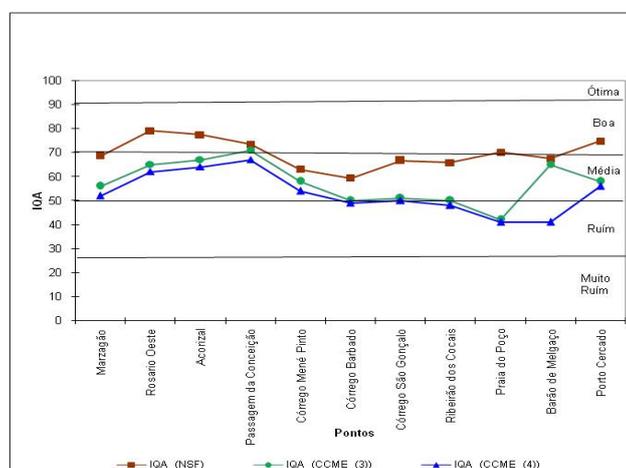


Figura 4.6 - Valores de IQA_{NSF} $IQA_{CCME(3)}$ e $IQA_{CCME(4)}$ em 2001 para 11 pontos de amostragem.

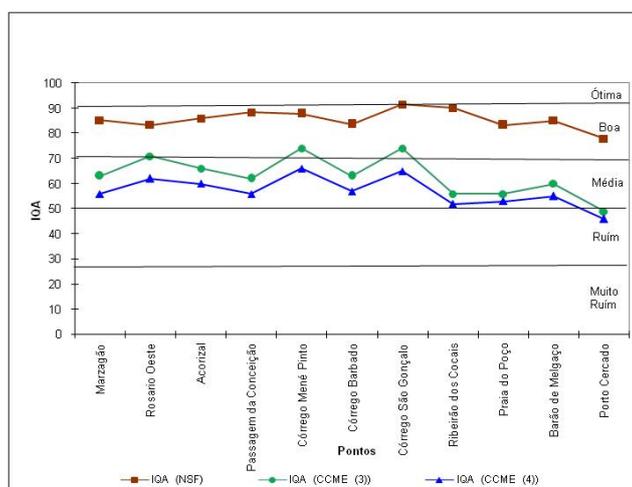


Figura 4.7 - Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME (3)}$ e $IQA_{CCME (4)}$ em 2002 para 11 pontos de amostragem.

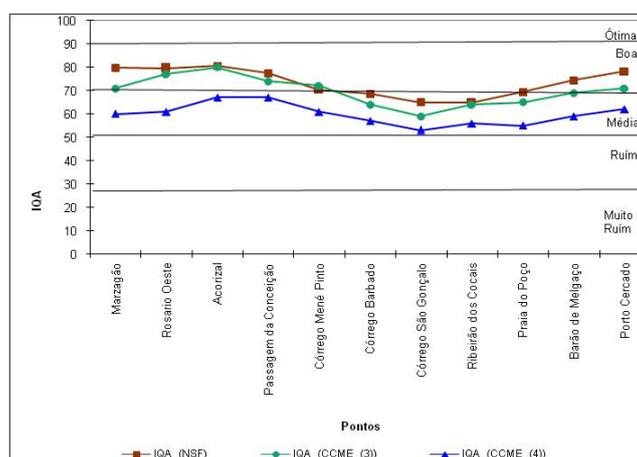


Figura 4.8 - Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME (3)}$ e $IQA_{CCME (4)}$ em 2003 para 11 pontos de amostragem.

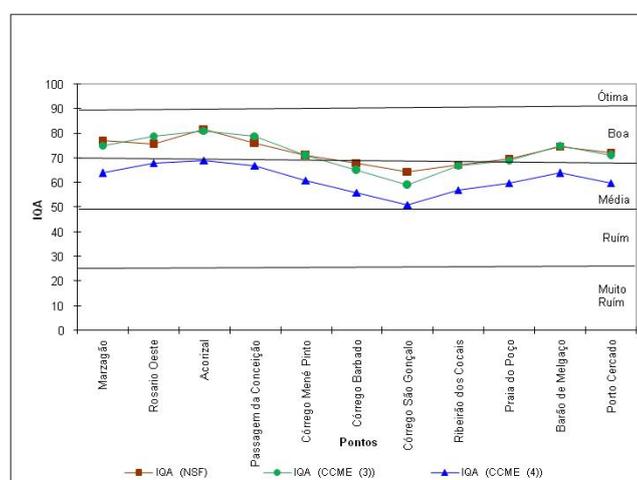


Figura 4.9 - Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME (3)}$ e $IQA_{CCME (4)}$ em 2004 para 11 pontos de amostragem.

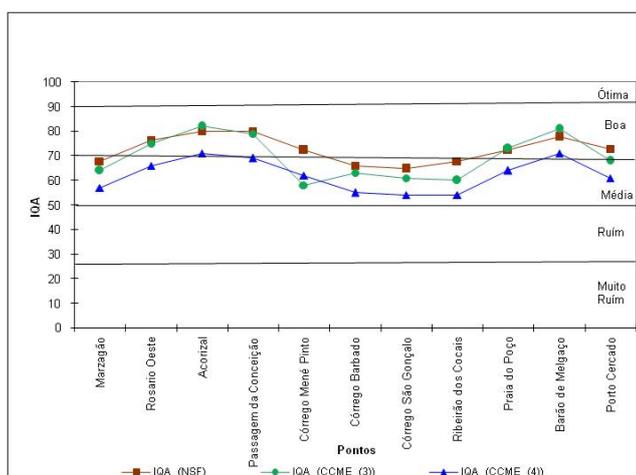


Figura 4.10 - Valores de IQA_{NSF} , $IQA_{CCME (3)}$ e $IQA_{CCME (4)}$ em 2005 para 11 pontos de amostragem.

Por ser uma estratégia mais restritiva que as estratégias NSF e CCME (3), a estratégia CCME (4) apresenta valores de $IQA_{CCME (4)}$ com magnitudes menores que $IQA_{CCME (3)}$ e IQA_{NSF} . Este resultado confirma a eficiência do método CCME em descrever o mesmo comportamento que o método NSF (opinião de especialistas). Porém sempre que o número de parâmetros e critérios de qualidades forem maiores que nove, os valores de IQA_{CCME} sempre apresentam magnitude menor que os valores de IQA_{NSF} devido os critérios de qualidade ser mais restritivos que a opinião dos especialistas. Este comportamento foi verificado para as séries de dados de 2001 a 2005 e esta de acordo com a análise sensitiva realizada pelo Conselho Canadense de Ministros do Meio Ambiente. (CCME, 2006). Embora esse resultado seja um indicativo da eficiência do método CCME em aplicar as diretrizes de qualidade para descrever o estado de qualidade de um corpo hídrico ele precisa de uma justificativa plausível e consistente conforme será descrito na próxima seção.

4.2 Análise da Distribuição Espacial

Entre 2001 e 2005, observa-se que as principais alterações na qualidade da água do rio Cuiabá ocorreram nos pontos de amostragem córrego Mané Pinto, córrego Barbado, córrego São Gonçalo e Ribeirão dos Cocais localizados no perímetro urbano. Afastando-se do perímetro urbano, a qualidade da água melhora, sendo considerada *Boa* na Praia do Poço, jusante de Barão de Melgaço e Porto Cercado.

As Figuras 4.1, 4.2, 4.3, e 4.4, mostram que os dois métodos descrevem o mesmo comportamento com relação à distribuição espacial. Porém, em 2003 a estratégia NSF determina a qualidade da água como *Boa* nos pontos, Marzagão e Praia do Poço, enquanto que o método CCME (3) determina qualidade média para estes pontos conforme é mostrado na Figura 4.1. Em 2004 os dois métodos descrevem o mesmo comportamento conforme é mostrado na Figura 4.2. Este mesmo efeito ocorre em 2005 para o ponto córrego Mané Pinto conforme é mostrado na Figura 4.3. A Figura 4.4 mostra novamente este efeito para os pontos Rosário do Oeste, Acorizal e Porto cercado. Como em 2002 não há dados para o parâmetro coliforme fecal. A Figura 4.5 mostra um comportamento diferente e não é inclusa nesta análise.

A diminuição na qualidade ocorre principalmente por causa do lançamento no rio de efluentes domésticos e industriais. O conteúdo em matéria orgânica presente nos córregos está fortemente associado a fontes antrópicas, devido ao lançamento de esgotos domésticos nestas drenagens conforme mostrado por (Lima, 2001) e (Zeihofer, 2006).

As Figuras 4.6, 4.8, 4.9 e 4.10, também mostram comportamento similar com relação à distribuição espacial. Porém em 2001 conforme mostra a Figura 4.6, o IQA_{NSF} determina a qualidade da água como *Boa* nos pontos, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos Marzagão, Córrego Mané Pinto, Córrego Barbado, Córrego São Gonçalo e Ribeirões dos Cocais, Praia do Poço e Barão de Melgaço. Enquanto o IQA_{CCME} determina a qualidade da água como *Média* nos pontos, Marzagão, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, córrego Mané Pinto e Porto Cercado. E qualidade *Ruim* nos pontos córrego barbado, córrego São Gonçalo, Praia do Poço e Barão de Melgaço. A Figura 4.8 mostra que o IQA_{NSF} determina a qualidade da água como *Boa* nos pontos, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos córrego Mané Pinto, córrego Barbado, córrego São Gonçalo, Ribeirão dos Cocais e Barão de Melgaço. Já o IQA_{CCME} determina qualidade *média* para os pontos Marzagão, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, córrego Mané Pinto e Porto Cercado e qualidade *Ruim* nos pontos córrego Barbado, córrego São Gonçalo, Ribeirão dos Cocais, Praia do Poço e Barão de Melgaço. Da mesma forma que as análises anteriores como em 2002 não há dados para o parâmetro coliforme fecal. A Figura 4.7 mostra um comportamento diferente e não é inclusa nesta análise.

A Figura 4.8 mostra que o IQA_{NSF} determina a qualidade da água como *Boa* nos pontos, Marzagão, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, Barão de Melgaço e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos córrego Mane Pinto, córrego Barbado, córrego São Gonçalo, Ribeirão dos Cocais e Praia do Poço. Já o $IQA_{CCME(3)}$ determina qualidade *Boa* para os pontos Marzagão, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, córrego Mané Pinto e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos córrego Barbado, córrego São Gonçalo, Ribeirão dos Cocais, Praia do Poço e Barão de Melgaço. O $IQA_{CCME(4)}$ determina a qualidade da água como *Média* em todos os pontos.

A Figura 4.9 mostra que o IQA_{NSF} determina a qualidade da água como *Boa* nos pontos, Marzagão, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, córrego Mane Pinto praia do Poço, Barão de Melgaço e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos, córrego Barbado, córrego São Gonçalo e Ribeirão dos Cocais. Já o $IQA_{CCME(3)}$ determina qualidade *Boa* e *Média* para os mesmo pontos. Já O $IQA_{CCME(4)}$ determina a qualidade da água como *Média* em todos os pontos.

A Figura 4.10 mostra que o IQA_{NSF} determina a qualidade da água como *Boa* nos pontos, Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, córrego Mane Pinto, Praia do Poço, Barão de Melgaço e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos, córrego Barbado, córrego São Gonçalo, Ribeirão dos Cocais. Já o $IQA_{CCME(3)}$ determina qualidade *Boa* para os pontos Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição, Praia do Poço, Barão de Melgaço e Porto Cercado. E qualidade *Média* nos pontos, Marzagão, córrego Mané Pinto, córrego Barbado, córrego São Gonçalo e Ribeirão dos Cocais. Já o $IQA_{CCME(4)}$ determina a qualidade da água como *Boa* apenas nos pontos, Acorizal e Barão de Melgaço. E qualidade *Média* nos demais pontos. Como em 2002 não há dados para o parâmetro coliforme fecal a Figura 4.7 não é inclusa nesta análise.

Como o método CCME é fundamentado nas diretrizes de qualidade é possível justificar este comportamento através do número de observações que não atenderam aos critérios de qualidade. Esta informação está contida na componente F_2 do vetor IQA_{CCME} e pode ser interpretado em termos das frequências com que cada parâmetro de qualidade não atende aos critérios de qualidade.

A Figura 4.11 mostra a frequência com que os parâmetros de qualidade ultrapassaram os critérios de qualidade estabelecidos na estratégia CCME (3) em relação aos pontos de amostragem.

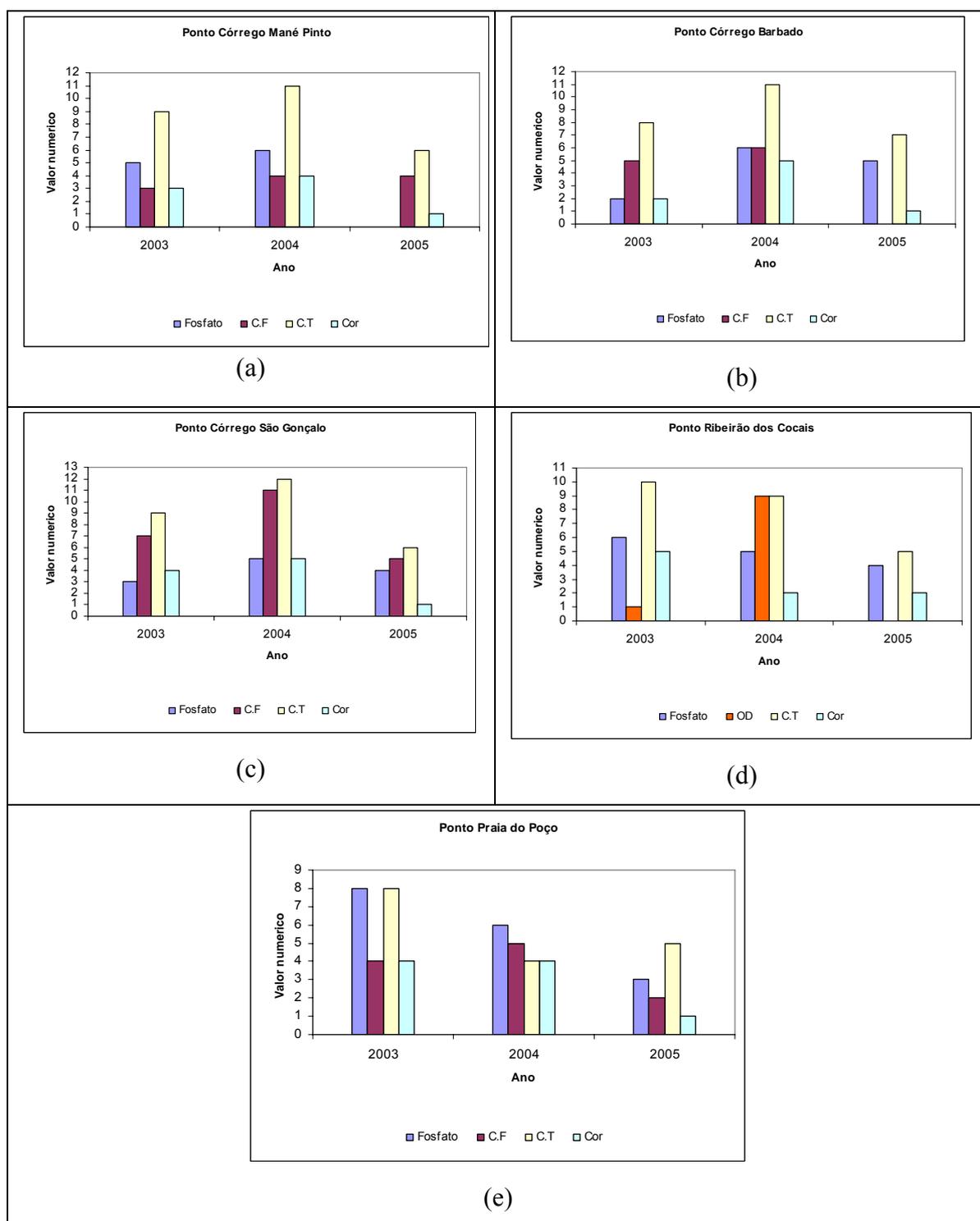


Figura 4.11 – Frequência dos parâmetros que mais falharam nos testes de critérios de qualidade.

De acordo com o método CCME os principais responsáveis pela diminuição do IQA_{CCME} em alguns trechos foram os parâmetros coliformes fecais, coliformes totais, fosfatos e cor. A Tabela 4.1 mostra os pontos de amostragem os valores de IQA_{NSF} , IQA_{CCME} (3) o valor de F_2 e as frequências com que dos parâmetros de qualidade

ultrapassaram os critérios de qualidade estabelecidos para o cálculo do $IQA_{CCME(3)}$. Note que tanto os valores de F_2 quanto a frequência total de observações que não passaram nos testes de critérios e qualidade são sempre maiores para os pontos de amostragem onde a qualidade da água é *Média* ou *Ruim*.

Tabela 4.3 – Pontos de amostragem os valores de IQA_{NSF} , e $IQA_{CCME(3)}$ valor de F_2 e as frequências com que os parâmetros de qualidade ultrapassaram os critérios de qualidade estabelecidos por legislação para o cálculo do $IQA_{CCME(3)}$.

Pontos de Amostragem	IQA_{NSF}	$IQA_{CCME(3)}$	F_2	Cor	CT	OD	CF	Turb	DBO	pH	Res.tot	Fosfa	Total
2001													
Marzagão	68,56	56	21	4	4		2			1		10	21
Rosário Oeste	79,12	65	16	2	4							9	15
Acorizal	77,32	67	18	3	4								7
Passagem da Conceição	73,37	71	13	3			1				2	11	17
Córrego Mené Pinto	66,079	58	23	3	5		4					8	20
Córrego Barbado	59,34	50	28		9		10					10	29
Córrego São Gonçalo	66,59	51	26	3	4		7					9	23
Ribeirão dos Cocais	65,86	50	23	5	4	1	2	1				10	23
Praia do Poço	70,05	42	25	4	6		3			1			14
Barão de Melgaço	67,42	65	19	5	4							9	18
Porto Cercado	74,72	58	22	7	2	2			1			11	23
2002													
Marzagão	85,25	63	17	2				1		1		5	9
Rosário Oeste	83,36	71	18	3						1		6	10
Acorizal	85,89	66	19	3						1		7	11
Passagem da Conceição	88,41	62	16	2				1				8	11
Córrego Mené Pinto	87,88	74	15	2								4	6
Córrego Barbado	83,64	63	17	2							1	7	10
Córrego São Gonçalo	91,53	74	12	2							1	4	7
Ribeirão dos Cocais	90,07	56	20	2					1	1		8	12
Praia do Poço	83,32	56	17	2		1						6	9
Barão de Melgaço	85,15	60	18	3		1			1			6	11
Porto Cercado	77,83	49	24	3		1			2			9	15
2003													
Marzagão	79,7	71	16	5	5	1						6	17
Rosário Oeste	79,6	77	12	4	2							7	13
Acorizal	80,5	80	13	3	5							5	13
Passagem da Conceição	65	64	15	3	7						2	4	16
Córrego Mené Pinto	68,6	64	19	3	9		3					5	20
Córrego Barbado	70,3	72	18	2	8		5					2	17
Córrego São Gonçalo	65	59	23	4	9		7					3	23
Ribeirão dos Cocais	69,4	65	20	5	10	1						6	22
Praia do Poço	74,4	69	23	4	8		4					8	24
Barão de Melgaço	77,5	74	17	4	4	1						9	18
Porto Cercado	78,3	71	13	3	2	2						7	14
2004													
Marzagão	77,2	75	15	5	6							5	16
Rosário Oeste	75,6	79	12	5	7							2	14
Acorizal	81,7	81	11	3	5							3	11
Passagem da Conceição	67,3	67	14	4	8							5	17
Córrego Mené Pinto	68,1	65	21	4	11		4					6	25
Córrego Barbado	71	71	24	5	11		6					6	28
Córrego São Gonçalo	64,6	59	28	5	12		11					5	33
Ribeirão dos Cocais	69,7	69	26	2	9		9					5	25
Praia do Poço	74,7	75	18	4	4		5					6	19
Barão de Melgaço	76	79	14	5	4	1						7	17
Porto Cercado	72,2	71	25	7	9	4						9	29

Continuação da Tabela 4.3

	2005							
Marzagão	67,7	64	21	2	6	1	3	12
Rosário Oeste	76,5	75	12	1	5	1	1	8
Acorizal	80	82	8		5			5
Passagem da Conceição	67,8	60	8	1	4			5
Córrego Mené Pinto	66	63	18	1	6	4	6	17
Córrego Barbado	72,3	58	14	1	3		5	9
Córrego São Gonçalo	64,7	61	26	1	6	5	4	16
Ribeirão dos Cocais	72,4	73	24	1	5	5	4	15
Praia do Poço	77,7	81	18	1	5	2	3	11
Barão de Melgaço	80	79	14	1	3		5	9
Porto Cercado	72,8	68	19	1	5	1	4	12

Observe (em negrito) na Tabela 4.1 que os pontos onde há uma diminuição na qualidade da água apresentam os maiores valores de F_2 . Os demais parâmetros apresentaram valores dentro dos padrões estabelecidos pela Resolução 357/2005 do CONAMA. Os mesmos pontos também apresentam as maiores frequências de testes que não passaram nos critérios de qualidade. Este resultado está de acordo com os mostrados na Figura 4.11. Este resultado mostra que as diretrizes de qualidade empregadas pelo método CCME para calcular IQA_{CCME} reproduz com eficiência o estado de qualidade da água do Rio Cuiabá confirmando a eficiência do método CCME em reproduzir o comportamento da qualidade da água de um corpo hídrico. Porém com uma vantagem em relação ao método NSF. Permite incluir todos os parâmetros de qualidade disponível para caracterizar a qualidade da água de corpo hídrico.

Uma das limitações do método NSF diz respeito a sua aplicabilidade restrita para águas para abastecimento público. Neste sentido foram realizados cálculos para avaliar a eficiência do método CCME na determinação de IQA_{CCME} do diferentes usos. Os critérios de qualidade para diferentes usos utilizados nos cálculos de IQA são mostrados na Tabela 4.2.

Tabela 4.4 – Parâmetros e critérios de qualidade utilizados para calcular IQA_{CCME} para diferentes usos.

Parâmetros	Unidade	Uso Global		Abastecimento		Com. Aquática		Recreação		Irrigação	
		L_i	L_s	L_i	L_s	L_i	L_s	L_i	L_s	L_i	L_s
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg/l O_2		5		5		5		5		10
Temperatura	oC		35				35				
pH		6,5	8,5	6,5	8,5	6	9	6	9	6	9
Turbidez	UNT		100		100		100		100		100
Resíduo Total	mg/l		500		500		500		500		500
Fosfato	mg/l P		0,1		0,1		0,1				0,1
Nitrato	mg/l NO_3		10		10		10				10
Oxigênio Dissolvido	mg/l O_2	5		5		5		5		5	
Coliforme Fecal	NMP/100ml		1000		1000		1000		1000		4000
Condutividade Elétrica	$\mu S/cm$		700				700				700
Coliforme Total	NMP/100ml		5000		5000		5000		5000		20000
Demanda Química de Oxigênio	mg/l O_2	50	150							50	150
Alcalinidade Total	mg/l $CaCO_3$		500		500		500		500		500
Cor	U.C.		15		15		75		75		75

* Critério de qualidade Resolução CONAMA 357/2005, L_i - limite inferior, L_s - limite superior

As Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 mostram os valores de IQA_{CCME} calculados para abastecimento, comunidade aquática, recreação, irrigação e uso global. Para os anos de 2003, 2004 e 2005 respectivamente. O cálculo leva em conta os valores observados em 11 pontos de amostragem ao longo do Rio Cuiabá.

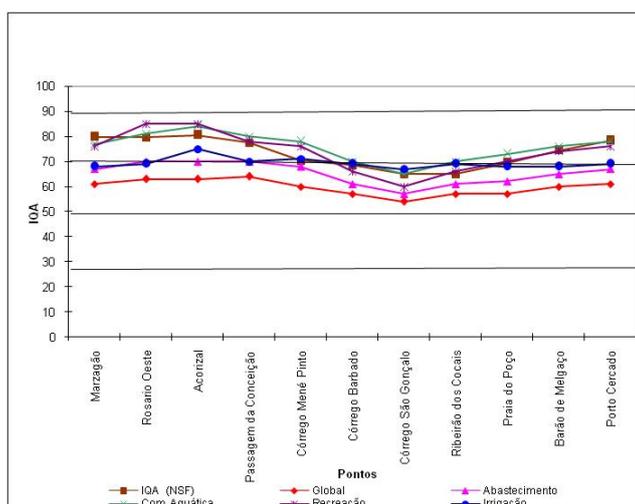


Figura 4.12 - Valores de IQA para diferentes usos em 2003 para 11 pontos de amostragem.

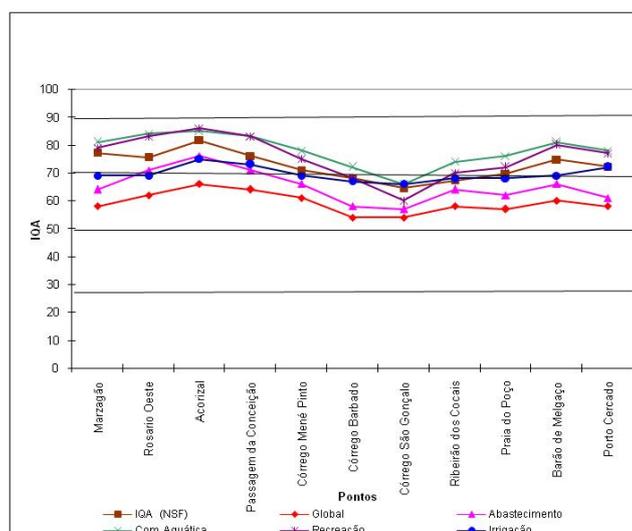


Figura 4.13 - Valores de IQA para diferentes usos em 2004 para 11 pontos de amostragem.

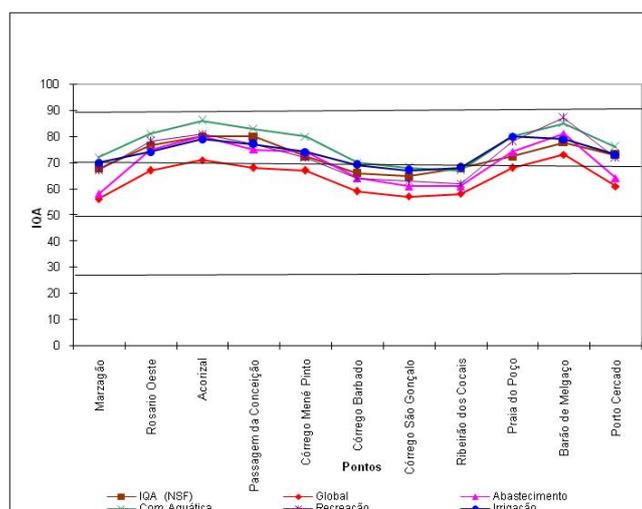


Figura 4.14 - Valores de IQA para diferentes usos em 2005 para 11 pontos de amostragem.

Note que o uso global é o mais restritivo de todos os índices, pois deve atender a todos os critérios de qualidade e por isso as magnitudes dos valores de IQA são sempre menores que para os demais usos. Note também que a qualidade da água para abastecimento calculada com o método CCME e sempre inferior que o método NSF. Novamente isso ocorre por que o cálculo do IQA_{CCME} leva em conta um número maior de parâmetros de qualidade e os critérios de qualidade são mais restritivas que a opinião dos especialistas no método NSF. Como os critérios de qualidade da água para irrigação são

menos restritiva que para abastecimento e uso global os valores de IQA são sempre maiores.

Para finalizar a análise a Figura 4.15 mostra os valores de IQA_{NSF} e $IQA_{CCME(3)}$ para 11 pontos de amostragem entre os anos de 2003 a 2005. Observe que os dois métodos descrevem o mesmo comportamento. Porém sempre há uma predominância dos valores de $IQA_{CCME(3)}$ ser menores que os valores IQA_{NSF} demonstrando assim a eficiência do método CCME para descrever a qualidade da água de corpos hídricos. Logo o objetivo geral e os objetivos específicos foram todos alcançados de maneira satisfatória.

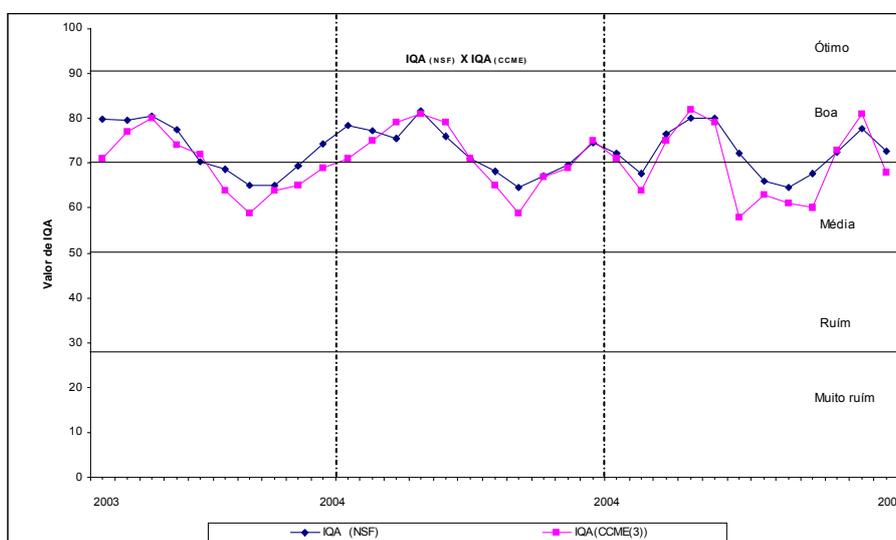


Figura 4.15 - Valores de IQA para 11 pontos de amostragem entre os anos de 2003 a 2005.

O método CCME permite a inclusão de todos os tipos de parâmetros de qualidade disponíveis e avalia a qualidade da água para diferentes usos em diferentes condições. Por ser um método fundamentado na excedência dos critérios de qualidade, não necessita de curvas de calibração, contendo o conhecimento de especialistas como no caso do método NSF. Devido sua simplicidade de uso o método CCME pode ser empregado para uniformizar o cálculo de IQA em programas de monitoramento da qualidade da água no Brasil.

Capítulo 5

Conclusões

Este capítulo descreve a síntese dos principais resultados e conclusões da análise comparativa realizada neste estudo.

O monitoramento da qualidade das águas superficiais é um instrumento usado pelos governos em escala mundial para avaliar a qualidade da oferta hídrica, base para o aproveitamento múltiplo e integrado da água. Porém, segundo a ANA no Brasil não é viável diagnosticar a qualidade da água a nível nacional em termos de IQA_{NSF} . Por que dos 25 estados apenas 12 estados realizam cálculos de IQA_{NSF} . Também por que não há uma uniformidade no cálculo de IQA_{NSF} com relação aos parâmetros de qualidade e método de cálculo entre os Estados (ANA, 2005). Esta limitação esta relacionada com a concepção do método NSF o qual cada parâmetro de qualidade reflete a opinião de especialistas através das curvas de qualidade, as quais são obtidas após um laborioso método de análise de dados. Além das limitações apontadas pela ANA, o método NSF mesmo sendo um método específico para descrever a qualidade águas para abastecimento público, não inclui no cálculo do IQA_{NSF} outros parâmetros importantes para este fim. Desde 1970 nenhuma curva de calibração para novos parâmetros de qualidade foi publicada na literatura. Também o método não pode ser aplicado para determinar a qualidade da água para múltiplos usos (Brown et al., 1970).

Em virtude das limitações do método NSF este estudo objetivou avaliar a qualidade da água do rio Cuiabá, durante um período de cinco anos, usando como métrica o IQA_{NSF} e IQA_{CCME} com o intuito de mostrar a eficiência do método CCME para resolver os problemas de diagnosticar a qualidade da água a nível nacional em termos de IQA .

Conforme os resultados mostrados no capítulo 4, é possível inferir a eficiência do método CCME para solucionar os problemas de avaliação da qualidade da água nos programas de monitoramento da qualidade da água superficiais no Brasil devido às limitações impostas pelo método NSF.

Por ser um método não específico ser fundamentado na excedência dos critérios de qualidade, não necessita de curvas de calibração contendo o conhecimento de especialistas como no caso do método NSF e assim permite incluir novos parâmetros de qualidade sem a necessidade de elaborar novas curvas de calibração.

Os resultados mostram também que os dois métodos de cálculo CCME e NSF reproduzem o mesmo comportamento de qualidade. Porém sob certas condições (número de parâmetros e critérios de qualidade) o método CCME produz valores de IQA com magnitude superior e inferior aos valores calculados com o método NSF. Quando o número de parâmetros e critérios de qualidade são menores ou iguais aos nove parâmetros de qualidade utilizados no método NSF, o método CCME superestima os valores de IQA em relação aos valores calculado pelo método NSF. Esse resultado é mostrado nas Figuras 4.1 e 4.2. Isso acontece por que neste caso o método CCME utiliza uma estratégia menos restritiva que a estratégia NSF (opinião dos especialistas). Conforme é enfatizado no capítulo 4, outro fator que influencia neste comportamento são as situações em que todas as observações passem nos critérios de qualidade e neste caso o método CCME produz um índice que corresponde à qualidade *Ótima* enquanto que para o mesmo conjunto de dados, o método NSF produz uma qualidade *Boa*. Já quando o número de parâmetros e critérios aumenta em relação aos nove utilizados no método NSF ocorre o efeito contrário. Ou seja, a magnitude do IQA_{CCME} decresce em relação aos valores calculados através do IQA_{NSF} . Isso ocorre por que devido o aumento do número de parâmetros e critérios de qualidade o método CCME torna-se mais restritivo que o método NSF e como consequência dos diferentes graus de restrição os dois métodos classificam a qualidade da água de forma diferente. A Figura 4.1 mostra que o método NSF classifica a qualidade da água nos pontos Córrego Barbado e Praia do Poço como *Boa* enquanto o método CCME classifica como *Média*. A Figura 4.3 mostra o mesmo para o ponto Córrego Mané Pinto. A Figura 4.4 mostra que o método NSF classifica a qualidade da água nos pontos Rosário Oeste, Acorizal, Passagem da Conceição como *Boa* e Praia do Poço no limite entre *Boa* e *Média* enquanto o método CCME classifica como *Média* e *Ruim* respectivamente. A Figura 4.6 mostra que o método NSF classifica a qualidade da água nos pontos Rosário Oeste,

Acorizal, Passagem da Conceição, como *Boa* enquanto o método CCME classifica como *Média*. Já nos pontos Corrego Barbado, Corrego São Gonçalo, Ribeirão dos Cocais e Praia do Poço a qualidade da água são classificados como *Média* pelo método NSF e como *Ruim* pelo método CCME. E o ponto Barão de Melgaço e Porto Cercado. As Figuras 4.8, 4.9 e 4.10 mostram situações similares Vários outros. Esse resultado mostra que o simples fato da inclusão de novos parâmetros de qualidade torna o método mais restritivo em relação ao método NSF e assim gerando índices de qualidade com magnitudes menores que as calculadas através do método NSF e neste caso na maioria das vezes ocorre mudança na classificação da qualidade.

Do ponto de vista da interpretação dos valores de IQA em relação ao uso e ocupação da terra, os dois métodos evidenciam o mesmo comportamento, ou seja, a qualidade da água piora no perímetro urbano devido às altas concentrações de coliformes e fosfato os principais responsáveis pela degradação da qualidade da água ao longo do Rio Cuiabá.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi alcançado. Pois, foi mostrado que o método não específico proposto pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* pode ser utilizado para resolver os problemas de não uniformidade no cálculo de IQA nos programas de monitoramento e águas superficiais no Brasil e pode ser utilizado para determinar IQA para diferentes usos. É importante salientar que este é o primeiro estudo realizado utilizando o método CCME para determinar a qualidade da água de um corpo hídrico de uma bacia hidrográfica brasileira.

Sugestões para novos estudos

A falta de dados dos parâmetros de qualidade foi o principal fator que limitou a análise com séries longas de dados. Isto é um reflexo da política de amostragem reduzida que poderia ser revista. Existem várias lacunas nas séries de dados de 1997 até 2000. Uma sugestão seria o preenchimento destas lacunas de acordo com o método empregado por Valero et al. (1996) para preenchimento de lacunas de dados meteorológicos, com séries temporais longas de vários parâmetros meteorológicos. Uma decisão nesse sentido deverá levar em conta, além de questões de logística, outros parâmetros de interesse ambiental que não puderam ser incluídos nas análises constantes deste estudo.

Aplicar o método CCME em estudos da qualidade da água em função da sazonalidade, abastecimento após tratamento convencional e irrigação. Como o método

também permite realizar simulações mudando os valores observados dos parâmetros de qualidade pode ser utilizado em estudos da qualidade da água em ambientes aquáticos como pisciculturas por serem importantes atividades de fonte de renda no estado de Mato Grosso. Outro tema interessante que pode ser analisado através do IQA_{CCME} diz respeito a influência da barragem do Manso na qualidade da água do Rio Cuiabá.

Referências Bibliográficas

ASCE, 1996, *Quality of Ground Water: Guidelines for Selection and Application of Frequently Used Models*, ASCE Manuals and Reports of Engineering Practice Series, Environmental Engineering Division Committee on Ground Water Quality.

ANA, 2005, *Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil*, Caderno de Recursos Hídricos, Brasília, Agência Nacional de Águas, SPR.

Beaulieu, L., Gallichand, J., Duchemin, M., Parent, L.E., 2006, *Sensitivity analysis of a phosphorus index for Québec*, Canadian Biosystems Engineering, 48, 113-124.

Bhargava, D.S., 1983, *Use of a Water Quality Index for river classification and zoning of Ganga River*, Environmental Pollution (Series B), 6, 51-67.

Brown, R.M., McLelland, N.I., Deininger, R.A. and Tozer, R.G. A., 1970, *Water Quality Index – Do we dare?* Water & Sewage Works, 339-343.

Brown, R.M., McLelland, N.I., Deininger, R.A. and Landwehr, J.M., 1973, “*Validating the WQI*”, presented at the National Meeting on Water Resources Engineering of the American Society for Civil Engineers, Washington, D.C., Environmental Indices Theory and Practice”, ed. W. Ott, Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, MI.

CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2006, *A Sensitivity Analysis of the Canadian Water Quality Index*, PN 1355, Technical Report -rpts/042005).

CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001a, *CCME Water Quality Index 1.0*, Technical Report, In Canadian Environmental Quality Guidelines, Winnipeg.

CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment, 2001b, *CCME Water Quality Index 1.0*, User’s Manual. In Canadian Environmental Quality Guidelines, Winnipeg.

Couillard, D. and Lefebvre Y., 1985, *Analysis of water quality indices*, J. Environ. Mgmt, 21, 161-179.

Cude, C.G., 2001, *Oregon Water Quality Index: A tool for evaluating water quality management effectiveness*. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(1), 125-137.

Dinius, S.R., 1987, *Design of an index of water quality*, Water Resources Bulletin, 23(5), 833-843.

Dojlido, J., Raniszewski, J., and Woyciechowska, J., 1994, *Water Quality Index- Application for rivers in Vistula River Basin in Poland*, Wat. Sci. Tech., 30(10): 57-64.

Dunnette, D.A., 1979, *A geographically variable water quality index used in Oregon*, Journal, Water Pollution Control Federation, 51(1), 53-61.

ECOPLAN, 2003, *Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá: relatório final*, vol. 1, tomo I diagnóstico ambiental. Cuiabá, Secretaria de Assuntos Fundiários do Estado de Mato Grosso, vol 1.

FURNAS, 1986, *Sondotécnica. Relatório final do diagnostico da qualidade da água da área de influencia do APM Manso*, Rio de Janeiro.

House, M.A. and Ellis, J.B., 1987, *The development of water quality indices for operational management*, Water Sci. Technol., 19(9), 145-154.

Khan, A.A., Paterson, R., and Khan, H., 2004, *Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador*, Water Qual. Res. J. Canada, 39(3): 285-293.

Khan, F., Husain, T., Lumb, A., 2003, *Water Quality Environment and then Analysis in Selected Watersheds of the Atlantic Region of Canadian*, Environment Monitanng and Assessment 88, 221-241– 2003.

Khan, A.A., Patenon, R., and Khan, H., 2004, *Modification and application of the Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI) for the communication of drinking water quality data in Newfoundland and Labrador*, Water Qual Res. J. Canada, 39(3): 285-293.

Lima, E.B.N., 2001, *Modelagem Integrada para Gestão da Qualidade da Água na Bacia do Rio Cuiabá*, tese de Doutorado, Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.

Lima, G.A.R., 2006, *Relatório de Atividade de Pesquisa*, FAPEMAT, 37p.

Lumb, A., Halliwell, D. Sharna, T., 2006, *Application of CCME Walter Quality Index to monitor Walter Quality: A cane of the Mackentic River Bonin, Canada*, Environment Monitannig and Assessment, 411-429, 113.

Maier, M. H. 1978, *Considerações Sobre Características Limnológicas de Ambientes Lóticos*, B. Inst., Pesca 5 (2), 75-90.

Ministério do Meio Ambiente, 2004, *Programa Nacional do Meio Ambiente II Relatório de atividades 2000-2004*, Brasília, MMA.

Ministério de Saúde, 2005, *Comentário sobre a Portaria MS nº 518 de 2004* – Brasília, Editora do Ministério da Saúde, 92p.

Mitchell, M.K. and Stapp, W.B., 1995, *Field manual for Water Quality Monitoring an Environmental Education Porgram for Schools*, 9th ed. Green Project, Ann Arbor, Mr, 272p.

Palupi, K., Sumengen, S., Inswiasri, S., Agustina, L., Nunik, S.A., Sunarya, W., and Quraisyn, A., 1995, *River water quality study in the vicinity of Jakarta*, Wat. Sci. Tech., 31(9), 17-25.

Porto, M. F. A., 2002, *Sistemas de Gestão de Qualidade das Águas, uma proposta para o caso brasileiro*, Tese de Livre Docencia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo.

Saeger, J., 1994, *Developments in water quality standards and classification schemes in England and Wales*, Water Sci, Technol, 30, 11-19.

SEMA, 2005, Secretaria Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso, *Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia do rio Cuiabá 2003 e 2004*, Cuiabá, MT, 79 p.

SEMA, 2006, Secretaria Estadual do Meio Ambiente de Mato Grosso, *Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia do rio Cuiabá 2005*, Cuiabá, MT, 79 p.

Smith, D.G., 1990, *A better water quality indexing system for rivers and streams*, Wat. Res., 24(10) 1237-1244.

Stat Soft, Inc., 2001, *STATISTICA* (data analysis software system), v6. www.statsoft.com.

Sharifi, M., 1990, *Assessment of surface water quality by an index system in Anzali Basin*. In *The Hydrological Basis for Water Resources Management*, IAHS Publication 197, 163-171.

Smilh, D. G., 1990, *A better water quality indexing system for rivers and streams*, Wat. Res., 24(10), 1237-1244.

Yu, J.K. and Fogel, M. M., 1978, *The development ora combined Water Quality Index*, Water Resources Bulletin, 14 (5), 1239-1250.

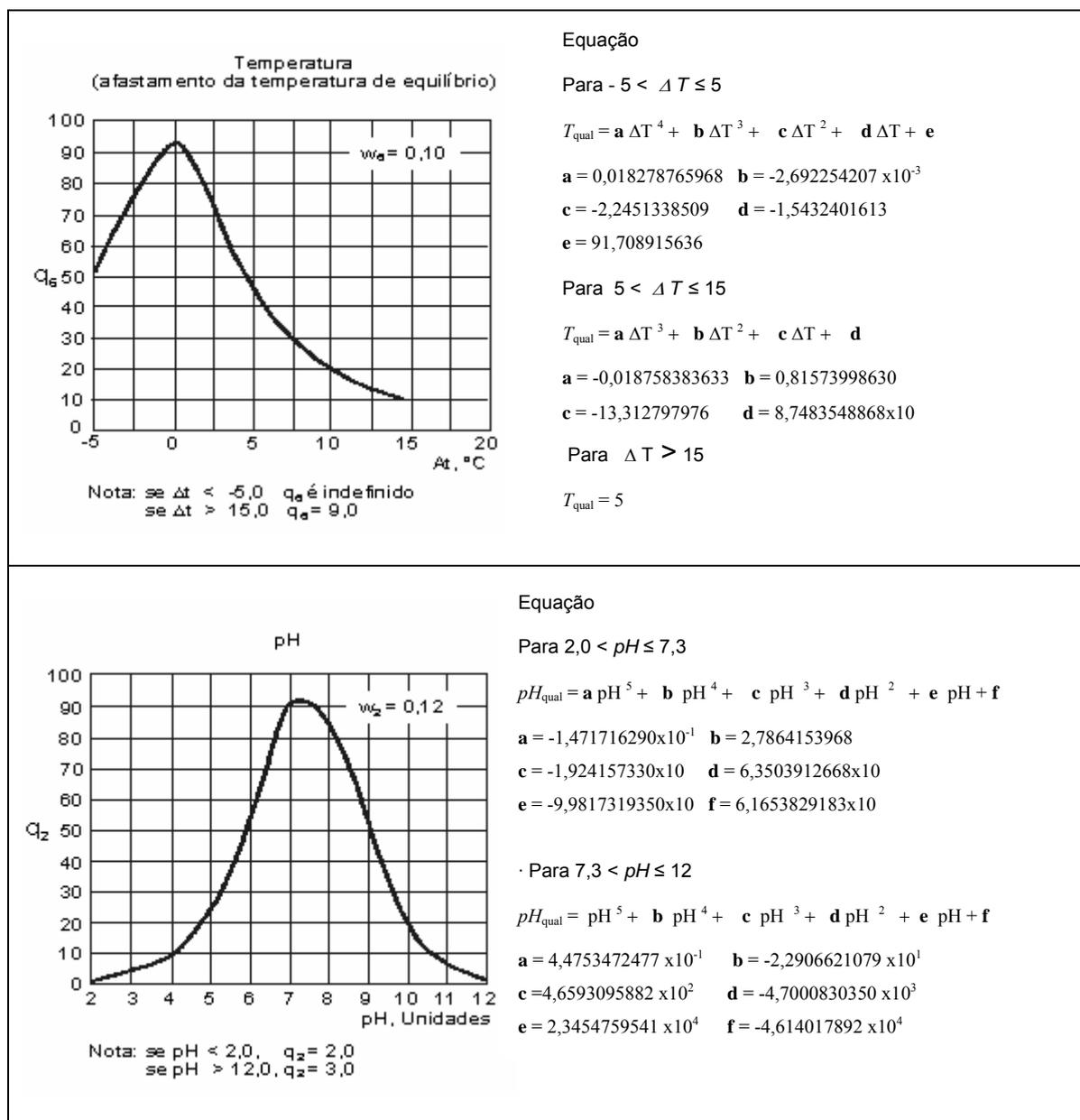
Wills, M. and Irvine, K.N., 1996, *Application afile National Sanitation Foundation Water Quality Index in the Cazenovia Creek, NY, pilot watershed management project*, Middle States Geographer, 29: 95-104.

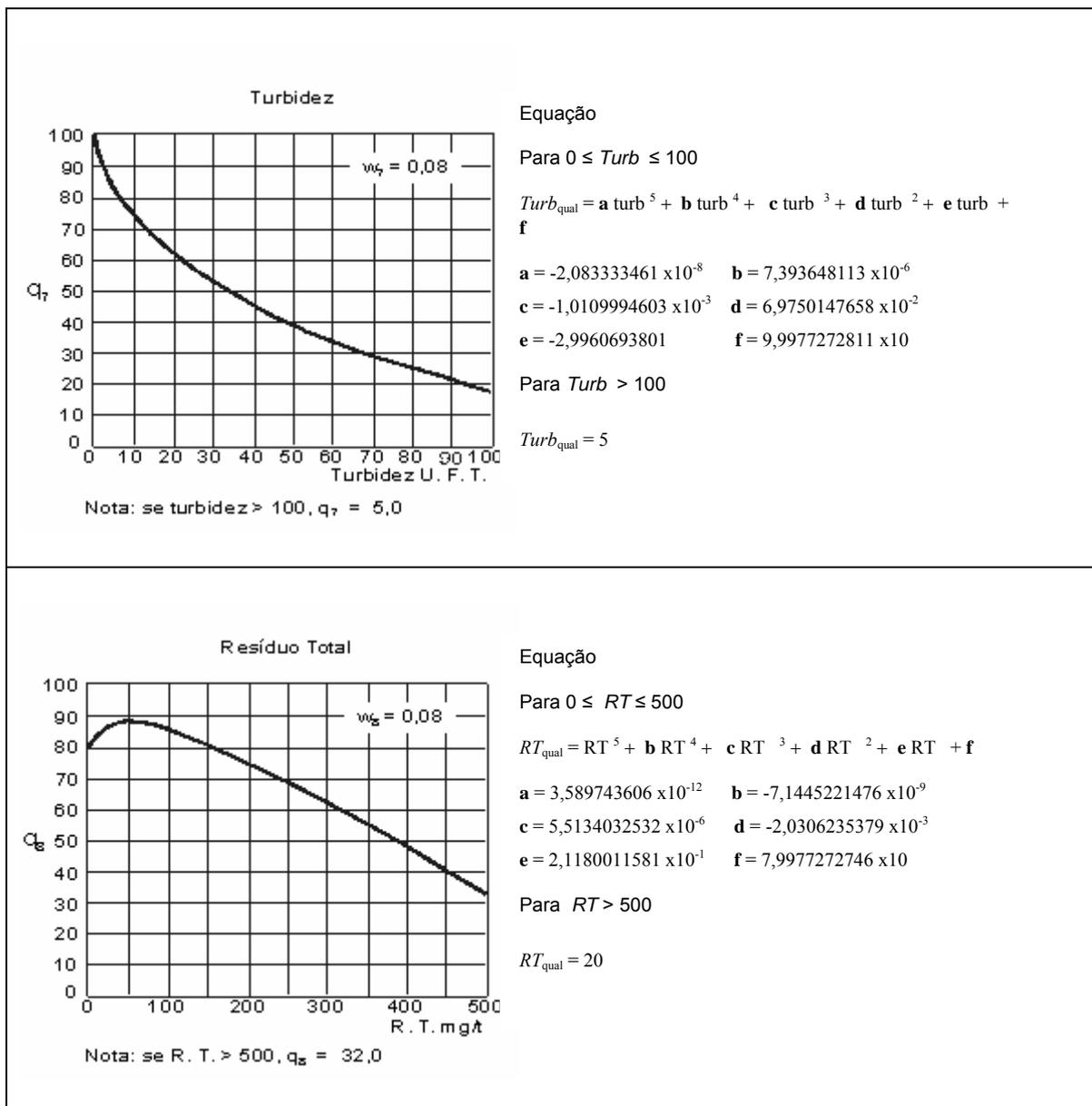
Valero, F.; Gonzalez, F.J.D.; Garcia-Miguel, J.A., 1996, *A method for the reconstruction and temporal extension of climatological time series*, Intern. J. Climatol., 16:213-227.

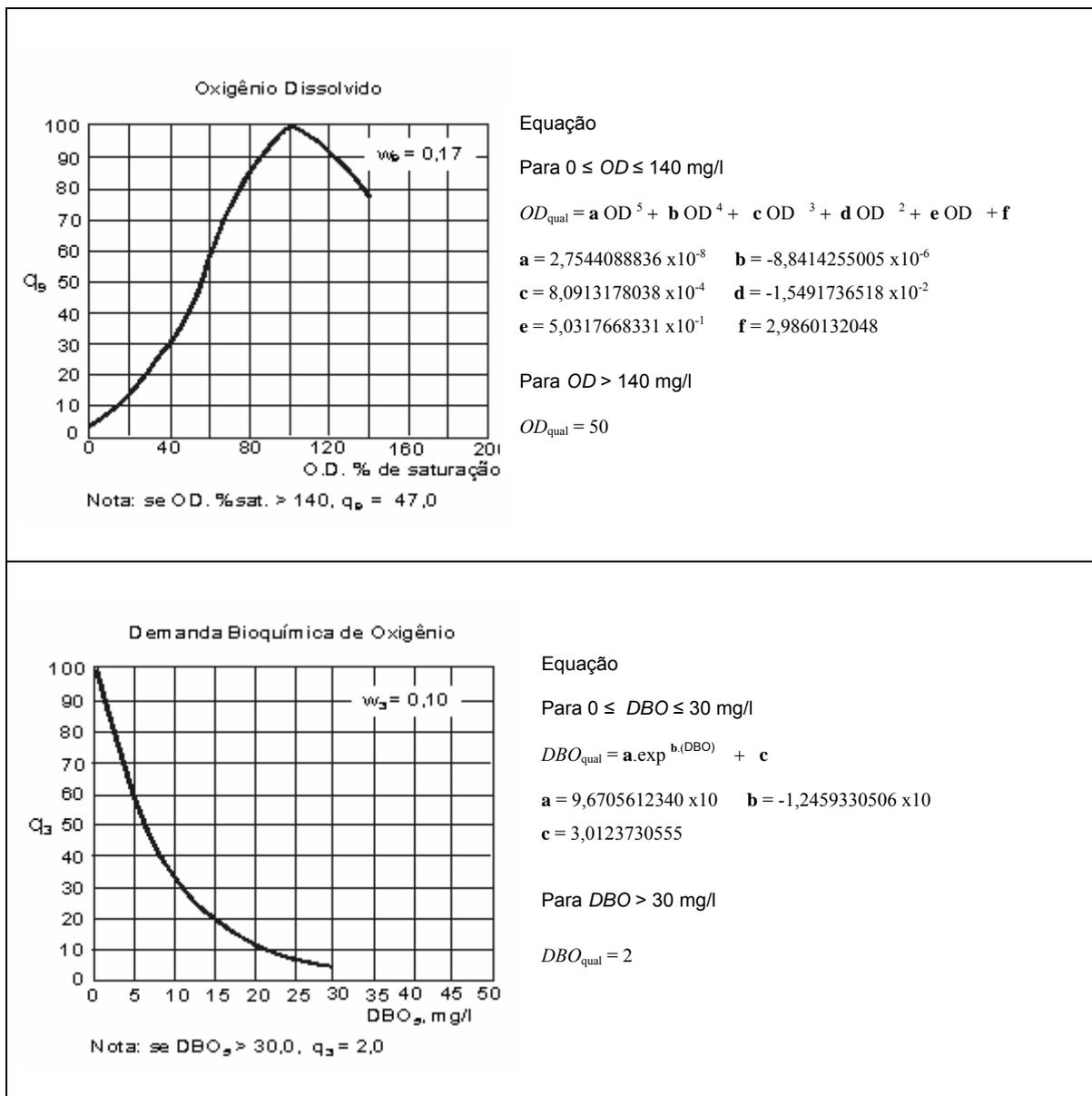
Von Sperling, M., 1996, *Introdução á qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*, 2 ed., Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

Zeilhofer P., Lima, E.B.N.R., Lima, G.A.R., 2006, *Spatial Patterns of Water Quality in the Cuiabá River Basin, Central Brazi*, Environmental Monitoring and Assessment, 123, 41-62.

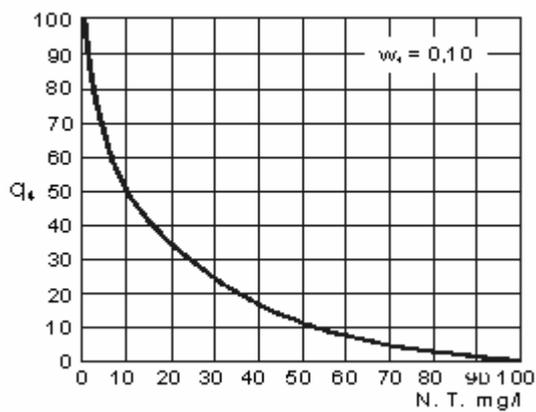
ANEXO A







Nitrogênio Total



Nota: se N. T. > 100,0, $q_4 = 1,0$

Equação

Para $0 \leq \text{Nitra} \leq 100 \text{ mg/l}$

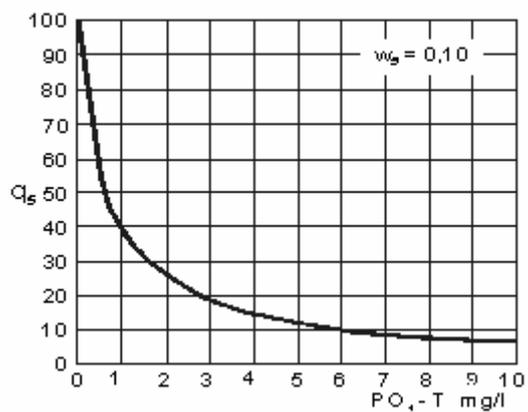
$$NTK_{\text{qual}} = a \cdot \exp^{b(\text{nitrate})}$$

$$a = 9,0892256998 \times 10 \quad b = -4,559064694 \times 10^{-2}$$

Para $\text{Nitra} > 100 \text{ mg/l}$

$$\text{Nitra}_{\text{qual}} = 1$$

Fósforo Total



Nota: se P.O.-T > 10,0, $q_5 = 1,0$

Equação

Para $0 \leq \text{Fosf} \leq 10 \text{ mg/l}$

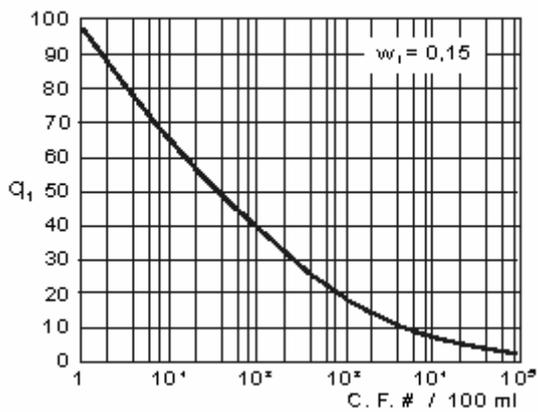
$$\text{Fosf}_{\text{qual}} = \frac{1}{(a + b(\text{fosf}))}$$

$$a = 9,2315245670 \times 10^{-3} \quad b = -1,7176906575 \times 10^{-2}$$

Para $\text{Fosf} > 10 \text{ mg/l}$

$$\text{Fosf}_{\text{qual}} = 2$$

Coliformes Fecais



Equação

Para $1 \leq CF \leq 10^5$ mg/l

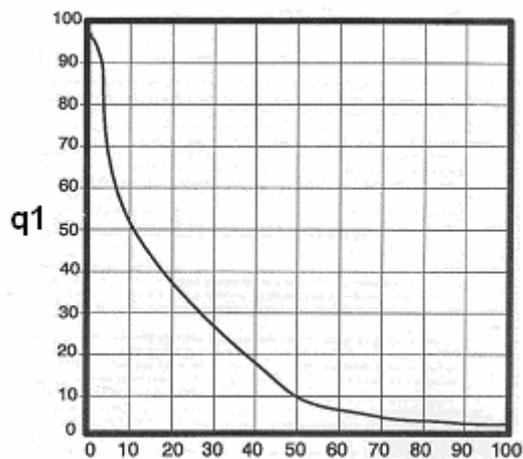
$$CF_{\text{qual}} = a(CF - c)^b$$

$$a = 1,6462871905 \times 10^2 \quad b = -3,1464642727 \times 10^{-1}$$

$$c = -4$$

Para $CF > 10^5$ mg/l

$$CF_{\text{qual}} = 2,0$$

Nitrato (NO_3^-)

Equação

Para $0 \leq \text{Nitra} \leq 100$ mg/l

$$\text{Nitra}_{\text{qual}} = a \cdot \exp^{b(\text{nitrato})}$$

$$a = 9,0892256998 \times 10 \quad b = -4,559064694 \times 10^{-2}$$

Para $\text{Nitra} > 100$ mg/l

$$\text{Nitra}_{\text{qual}} = 1$$

Nota: Se Nitrato $\text{NO}_3^- > 100,0$ $q_1 = 1,0$

