

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

CAROLINA ISHY CANDIA

**A CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR DE QUALIDADE DE
ÁGUA PARA GESTÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA USANDO
ANÁLISE FATORIAL**

Orientador: Prof. Dr. Kennedy Francis Roche

Campo Grande-MS
2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS AMBIENTAIS

CAROLINA ISHY CANDIA

**A CONSTRUÇÃO DE UM INDICADOR DE QUALIDADE DE
ÁGUA PARA GESTÃO DE BACIA HIDROGRÁFICA USANDO
ANÁLISE FATORIAL**

Dissertação apresentada a Banca Examinadora do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Ambientais, área de concentração em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Kennedy Francis Roche

Campo Grande-MS
2007

DEDICATÓRIA

*Agradeço a Deus,
pelo dom da vida e pelo dom da sabedoria. Agradeço de coração a minha família que tanto
me incentivou aos estudos; assim como a todos os meus amigos que sempre me apoiaram e
aos mestres que, como disse Einstein, receberam os estudos como herança, o respeitaram,
o aumentaram e a agora o transmitem.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e por todas as oportunidades de aprimorar o conhecimento por Ele dado.

Agradeço a minha família e ao meu noivo por todo suporte emocional e ao grande incentivo ao estudo.

Agradeço ao Professor Doutor Kennedy Francis Roche pela orientação, disponibilidade a sanar minhas dúvidas e grande paciência demonstrada durante a elaboração desta Dissertação.

Agradeço ao Professor Doutor Peter Cheung e ao Professor Doutor Leandro Sauer por auxiliar no melhor desenvolvimento do presente trabalho.

Agradeço aos meus lindos amigos pelo carinho, força, suporte técnico e incentivo oferecidos a todo o momento.

Aos colegas, professores e funcionários da UFMS, SEMA/MS e principalmente do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia pela imensa colaboração.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de estudo concedida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	ix
LISTA DE SÍMBOLOS	xi
RESUMO	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
1.INTRODUÇÃO	01
2.OBJETIVO	06
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
3.1 O MUNICÍPIO DE BONITO.....	07
3.2 QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS	11
3.3 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL E NO MS	17
3.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA.....	28
3.5 ANÁLISE FATORIAL	38
4.METODOLOGIA.....	46
5.RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
6.CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	88
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.....	02
Figura 2 – Localização do município de Bonito, MS.....	07
Figura 3 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas	30
Figura 4 – Padronização das cores representativas/IQA	30
Figura 5 – Variação espacial longitudinal da qualidade da água do córrego Bonito, baseado no IQA médio, 1996-2004.....	31
Figura 6 – Variação temporal e espacial longitudinal da qualidade da água do córrego Bonito e a tendência da qualidade medida pela média móvel.....	32
Figura 7 – Variação espacial longitudinal da qualidade da água dos córregos Saladeiro e Restinga e a tendência da qualidade medida pela média móvel.....	33
Figura 8 – Variáveis usadas no cálculo do <i>WQI</i> , <i>scores</i> de normalização e relativos pesos.....	36
Figura 9 – Pontos de amostragem na bacia do córrego Saladeiro, Bonito/MS.	47
Figura 10 – Matriz de cargas fatoriais	50
Figura 11 – Imagem CBERS-2, sensor CCD, bandas 1, 2, 3, 4, 5, São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens de Satélite, órbita 163 ponto 123 de 26 de julho de 2004 (acima) e 18 de abril de 2004 (abaixo), disponível em http://www.dgi.inpe.br/CDSR/	55
Figura 12 – Variação espaço temporal da temperatura nas águas da bacia do córrego Saladeiro.	57
Figura 13 – Variação espaço temporal do pH nas águas da bacia do córrego Saladeiro.	58
Figura 14 – Variação espaço temporal do OD nas águas da bacia do córrego Saladeiro.	59
Figura 15 – Variação espaço temporal da DBO nas águas da bacia do córrego Saladeiro.	60
Figura 16 – Variação espaço temporal dos coliformes nas águas da bacia do córrego Saladeiro.	61
Figura 17 – Variação espaço temporal do nitrogênio total nas águas da bacia do córrego Saladeiro.	62

Figura 18 – Variação espaço temporal do fosfato total nas águas da bacia do córrego Saladeiro	63
Figura 19 – Variação espaço temporal do resíduo total nas águas da bacia do córrego Saladeiro	64
Figura 20 – Variação espaço temporal da turbidez nas águas da bacia do córrego Saladeiro	65
Figura 21 – Variação espaço temporal da condutividade específica nas águas da bacia do córrego Saladeiro	66
Figura 22 – Variação espaço temporal da DQO nas águas da bacia do córrego Saladeiro	67
Figura 23 – Variação espaço temporal do ortofosfato nas águas da bacia do córrego Saladeiro	68
Figura 24 – Variação espaço temporal do nitrogênio amoniacal nas águas da bacia do córrego Saladeiro	69
Figura 25– Variação espaço temporal do nitrato nas águas da bacia do córrego Saladeiro	70
Figura 26 – Variação espaço temporal do nitrito nas águas da bacia do córrego Saladeiro	71
Figura 27 – Variação espaço temporal do NTK nas águas da bacia do córrego Saladeiro	72
Figura 28 – Variação espaço temporal do resíduo fixo nas águas da bacia do córrego Saladeiro	73
Figura 29 – Variação espaço temporal do resíduo volátil nas águas da bacia do córrego Saladeiro	74
Figura 30 – Variação espaço temporal dos sólidos dissolvidos totais nas águas da bacia do córrego Saladeiro	75
Figura 31 – Relação linear entre condutividade específica e sólidos dissolvidos totais do córrego Bonito	76
Figura 31 – <i>Scree Plot</i> resultante da análise das 19 variáveis	79
Figura 32 – Relação das duas primeiras componentes principais, F1 e F2, resultante da análise das 19 variáveis	80
Figura 33 – IQAxAno, variação da qualidade da água de diversos pontos da bacia do córrego Saladeiro ao longo do tempo, resultante da análise das 19 variáveis	82
Figura 34 – <i>Scree Plot</i> da resultante da análise das 10 variáveis	84
Figura 35 – Relação das duas primeiras componentes principais, F1 e F2, resultante da análise das 10 variáveis	86
Figura 36 – IQAxAno, variação da qualidade da água de diversos pontos da bacia do córrego Saladeiro ao longo do tempo, resultante da análise das 10 variáveis	88

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Equações para cálculo dos sub-índices do Índice de PRATI.....	34
TABELA 2 - Classificação para o Índice de PRATI.....	35
TABELA 3 - Qualidade das Águas do córrego Bonito, córrego Restinga e córrego Saladeiro segundo cálculo IQA_{CETESB}	54
TABELA 4 - Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água analisados	56
TABELA 5 - Comunalidades estimadas pelo método da análise das componentes principais para 19 variáveis.....	78
TABELA 6 - Variância total aplicada resultante da análise das 19 variáveis.....	78
TABELA 7 - Matriz das componentes principais resultante da análise das 19 variáveis.....	79
TABELA 8 - Matriz de cargas fatoriais resultante da análise das 19 variáveis.....	81
TABELA 9 - Comunalidades estimadas pelo método da análise das componentes principais para as 10 variáveis.....	84
TABELA 10 - Matriz das componentes principais resultante da análise das 10 variáveis.....	85
TABELA 11 - Matriz das cargas fatoriais resultante da análise das 10 variáveis.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DBO - demanda bioquímica de oxigênio

SNRH - Sistema Nacional de Recursos Hídricos

MS – Mato Grosso do Sul

IMAP - Instituto de Meio Ambiente Pantanal

BR - Brasil

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

SEMA - Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul

FUNDTUR - Fundação de Turismo de Mato Grosso do Sul

pH - potencial hidrogeniônico

DQO - demanda química de oxigênio

OD – oxigênio dissolvido

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CECA – Conselho Estadual de Controle Ambiental

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

SUM – Superintendência de Usos Múltiplos

ANA – Agência Nacional de Águas

PNRH – Plano Nacional de Recursos Hídricos

SRH – Secretaria de Recursos Hídricos

MMA – Ministério do Meio Ambiente

ONU – Organização das Nações Unidas

INAMB – Instituto de Preservação Ambiental e Controle Ambiental de Mato Grosso do Sul

MT – Mato Grosso

CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

CIDEMA - Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Integrado das Bacias do Miranda e do Apa

WWF - Fundo Mundial para a Natureza
DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
MME – Ministério de Minas e Energia
IQA - índice de qualidade de água
NSF – National Science Foudation
CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
SP – São Paulo
IS – Índice de Smith
DT – Dureza Total
SDT – Sólidos Dissolvidos Totais
CE – Condutividade Específica
RAS – Relação de Adsorção de Sódio
KMO - Kaiser-Meyer-Olkin
SPSS - Statistical Package for the Social Sciences
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
Temp – Temperatura
Colif – Coliforme termotolerante
Ntotal – Nitrogênio total
Ptotal – Fosfato total
Restotal – Resíduo total
CondEspec – Condutividade Específica
Porto – Ortofosfato
Namon – Nitrogênio Amoniacal
Nnitra – Nitrato
Nnitri – Nitrito
Nktot – Nitrogênio total Kjeldahl

LISTA DE SÍMBOLOS

H^+ - íon de hidrogênio
 OH^- - hidroxila
 N_2 – nitrogênio molecular
 NO_2^- - nitrito
 NO_3^- - nitrato
 NH_3 – amônia na forma livre
 NH_4^+ - amônia na forma ionizada
NTK – nitrogênio total Kjeldahl
 q_i – nota
 i – variável
 w_i – peso da variável
 I_i – sub índice do iésimo parâmetro
 x – concentração do parâmetro
 n – número de parâmetros
WQI – water quality índice
 C_i – valor do parâmetro
F - fator
Z - variáveis padronizadas
PC - componente principal
T – temperatura
 SO_4^- - sulfato
 HCO_3^- - bicarbonato

RESUMO

A crescente expansão demográfica e industrial do último século tem comprometido a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. O Brasil instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e traçou seu Plano de Recursos Hídricos, portanto o atual momento é de busca de ferramentas e metodologias para implementar seus instrumentos. O presente trabalho submeteu dados dos Relatórios de Qualidade das Águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai, publicados entre 1996 e 2004 pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul, a análise fatorial a fim de criar um índice de qualidade de água (IQA) para a bacia do córrego Saladeiro, Bonito/MS. A primeira componente principal que explicou 44,02% da variância total dos dados foi escolhida para representar o índice. Os parâmetros que mais contribuíram com a variação da qualidade da água foram nitrogênio total, nitrogênio total Kjeldahl, ortofosfato, DBO, nitrogênio amoniacal, nitrito, resíduo total, DQO e OD, confirmando o impacto negativo principalmente de lançamentos de efluentes sob a bacia. A análise fatorial foi repetida com os parâmetros que têm limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005 e o índice encontrado apresentou a mesma variação na qualidade de água. O IQA demonstrou tendências temporais e espaciais da qualidade dos córregos estudados, e sua confiabilidade foi confirmada pela análise de cada parâmetro separadamente. O índice calculado apresenta-se como uma ferramenta facilitadora de gerenciamento de recursos hídricos, permite a complementação do diagnóstico da qualidade hídrica da bacia, auxiliando de forma eficaz nas tomadas de decisões.

Palavras chaves: análise multivariada, gestão de bacia hidrográfica, escores fatoriais.

ABSTRACT

The increasing population and industrial growth of the last century has compromised the quantity and quality of water resources. Brazil has instituted a National Water Resources Policy and outlined a Water Resources Plan; therefore, there is now a necessity to procure tools and methodologies to execute these proposals. The present research applied a factorial analysis to the data of the Surface Water Quality Reports of the Upper Paraguay Basin, published between 1996 and 2004, by the Environmental Secretariat of Mato Grosso do Sul State, with the goal of creating a water quality index (WQI) for the Saladeiro River basin, Bonito/MS. The first principal component explained 44.02% of total variance of the data, being chosen, thereby, to represent the index. The parameters that most influenced the water quality variation were total nitrogen, total Kjeldahl nitrogen, orthophosphate, BOD, amoniacal nitrogen, nitrite, total residues, COD and DO, thus indicating that the principal negative impact on water quality is due to effluent discharge in the watershed. The factorial analysis was repeated using only the parameters that have established limits in the CONAMA 357/2005 legislation; the calculated index showed the same water quality variation. The WQI demonstrated temporary and spatial trends in water quality of the studied rivers. Reliability of the WQI was supported by analyses of individual parameters. The index represents a tool to assist in the management of water resources, complementing water quality diagnoses in the watershed, and acting as a support in decision making.

Keywords: multivariate analysis, watershed management, factorial scores.

1. INTRODUÇÃO

A crescente expansão demográfica e industrial do último século tem comprometido a quantidade e a qualidade dos recursos naturais. Muitas pessoas estão sendo despojadas de uma vida digna devido a efeitos adversos da mudança climática; desastres naturais mais frequentes e mais devastadores; poluição do ar, da água e do solo; exaustão de estoques pesqueiros; perda de biodiversidade e desertificação de terras férteis.

Garantir o acesso das futuras gerações a nossa rica diversidade está cada vez mais difícil. O decréscimo da quantidade e qualidade da água doce e o crescimento da demanda exigida pelo conforto da vida moderna não tem sido uma equação fácil de ser resolvida. Necessita-se de capacitação, acesso ao uso de tecnologia, desenvolvimento de recursos humanos, educação e treinamento, além de instituições multilaterais mais eficazes, democráticas e responsáveis para que os objetivos do desenvolvimento sustentável sejam alcançados.

Esse é um contexto global no qual o Brasil está inserido. O principal problema de qualidade da água em âmbito nacional é o lançamento de esgotos domésticos sem prévio tratamento nos corpos hídricos. Segundo o primeiro volume do Plano Nacional de Recursos Hídricos, publicado em 2005, apenas 47% dos municípios brasileiros possuem rede coletora de esgoto, e somente 18% dos esgotos recebem algum tratamento. A carga orgânica doméstica total do país é estimada em 6.389t.DBO₅,₂₀/dia. Índices de perda nos sistemas de água tratada giram em torno de 45%; uso de técnicas ultrapassadas de irrigação são aceitos e baixo investimento em saneamento são outros problemas observados no Brasil (T&C AMAZÔNIA, 2006).

A água é um elemento estratégico para a adoção de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável e a inclusão social. O manejo integrado de bacias hidrográficas tem sido o conceito chave do desenvolvimento sustentável para a gestão das fontes aquáticas. E um dos objetivos do manejo integrado de bacias é a melhora da qualidade de suas águas.

Os primeiros conflitos a respeito de recursos hídricos no Brasil eram causados por problemas de vizinhança e de navegação, mas o processo de industrialização logo trouxe dificuldade no gerenciamento dos múltiplos usos. Então a gestão de recursos hídricos no país deu seu primeiro passo com a promulgação do Código das Águas (1934) e culminou em 1997 com a lei 9.433, atual Política Nacional de Recursos Hídricos.

A lei 9.433/97 instituiu o Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNRH) que é coordenado pela Agência Nacional de Águas (ANA), a qual também tem a função de implementar a Política Nacional de Recurso Hídricos. O SNRH (fig. 1) é monitorado pela Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), parte integrante da estrutura básica do Ministério do Meio Ambiente (MMA), também supervisiona a implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos, integra gestão das águas com a do meio ambiente e promove a cooperação técnico-científica com a política.

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) acompanha a execução do plano nacional; os Conselhos Estaduais de Recurso Hídricos (CERH) tem caráter deliberativo sobre as Políticas Estaduais de Recursos Hídricos e os Comitês de Bacia Hidrográfica promovem discussões públicas a respeito dos recursos hídricos, articulam ações de entidades, podem arbitrar conflitos de usos das águas em primeira instância e aprovam os planos de bacias elaborados pelas Agências de Água.

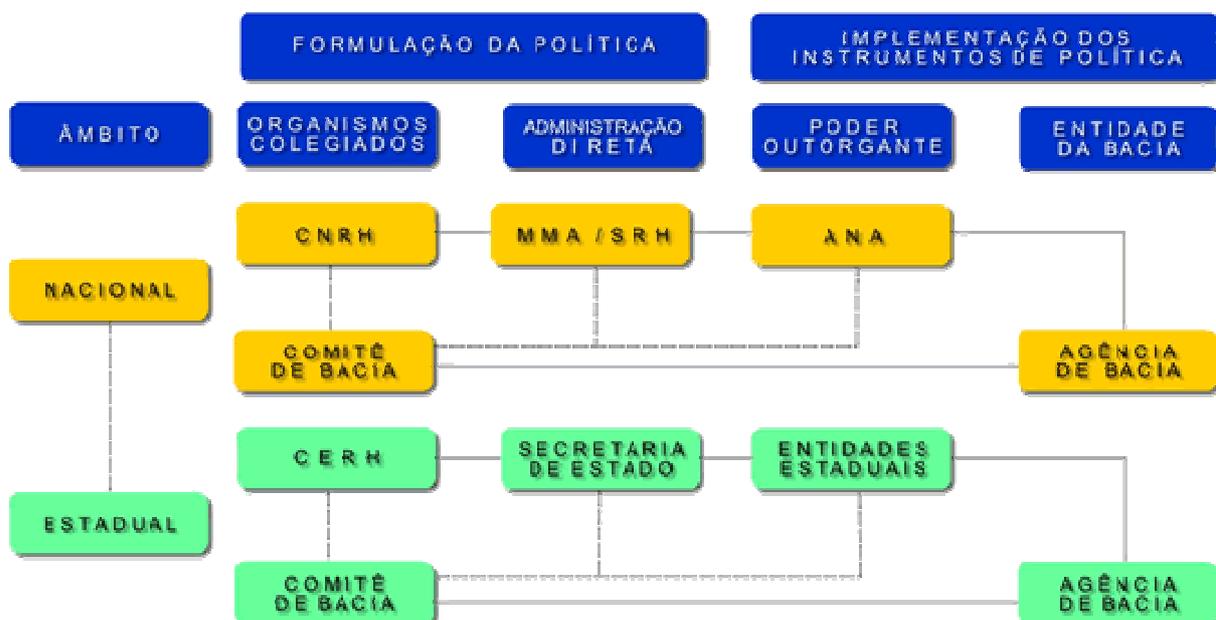


Figura 1: Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
 Fonte: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2007.

A Política Nacional de Recursos Hídricos prevê instrumentos para facilitar a gestão das águas, são eles o enquadramento de corpos d'água, a outorga do uso da água, a cobrança pelo uso da água, os sistemas de informações e o planejamento do gerenciamento dos recursos hídricos. Contudo esses instrumentos estão sendo implantados a passos lentos. O Plano Nacional de Recursos Hídricos já foi publicado, mas a maioria das políticas e planos estaduais está em fase de elaboração.

Como os comitês de bacia são criados vagarosamente outros instrumentos como a cobrança e a outorga estão sendo pouco usados e conseqüentemente as Agências de Água que dependem de viabilidade financeira assegurada pela cobrança pelo uso da água não foram instituídas. E enquanto as instituições presumidas na lei 9.433 não são efetivadas as entidades ou os órgãos da administração pública encarregados da gestão de recursos hídricos tampam algumas lacunas.

O estado do Mato Grosso do Sul (MS) instituiu sua Política Estadual de Recursos Hídricos e seu Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos recentemente pela lei 2.406/2002. O Conselho Estadual de Recursos Hídricos foi regulamentado em 2004 e o primeiro Comitê de Bacia foi criado em 2005, o Comitê da Bacia do Rio Miranda. O Plano Estadual de Recursos Hídricos do MS ainda não foi publicado, assim como de nenhuma das bacias hidrográficas do estado.

O Brasil e o estado do Mato Grosso do Sul instituíram a Política Nacional de Recursos Hídricos, portanto o atual momento é de busca de ferramentas e metodologias para implementar seus instrumentos.

O Instituto de Meio Ambiente Pantanal - IMAP é a instituição de caráter operacional da gestão ambiental e dos recursos hídricos no MS e possui o respaldo do Centro de Controle Ambiental (Laboratórios) que operacionaliza o monitoramento da qualidade das águas superficiais no Mato Grosso do Sul.

O monitoramento está intimamente ligado com a gestão das águas, pois é uma ferramenta para avaliar a saúde do habitat aquático, identificando e avaliando os processos naturais e antrópicos que ocorrem na unidade de gestão, e quem é responsável por ele em âmbito estadual é a Secretaria Estadual de Meio Ambiente.

As regiões com qualidade de água mais crítica localizam-se nas proximidades das regiões urbanizadas confirmando a associação da poluição das águas principalmente ao lançamento de esgotos domésticos. E na bacia hidrográfica do rio Miranda não é diferente, principalmente na região do município de Aquidauana, como observado nos Relatórios de Qualidade das Águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai (1996 – 2004).

As características da água em uma bacia hidrográfica dependem de diversos fatores como precipitação, geologia, topografia, vegetação e atividades antrópicas. Essas características podem ser traduzidas através de parâmetros físico, químicos e biológicos. O monitoramento da qualidade da água utilizando parâmetros gera uma grande quantidade de dados então é comum a aplicação de um índice para agregar essas informações facilitando a interpretação. O índice pode ser elaborado por opinião de especialistas, utilizando-se índices biológicos ou através de métodos estatísticos.

A interdependência dessas variáveis características que traduzem a qualidade da água não permite uma análise univariada sendo necessária uma abordagem multivariada.

A análise fatorial é uma técnica multivariada utilizada para averiguar a variação da qualidade da água de bacias hidrográficas e corpos hídricos no tempo e no espaço, além de ter uso na elaboração de índices para as bacias. Mais que construir um índice de qualidade de água absoluto, a análise fatorial possibilita construir um índice de qualidade de água que possa captar as mudanças relativas ao longo do tempo e a variabilidade observada ao longo de um espaço geográfico.

Diversos estudos na área têm mostrado resultados satisfatórios, portanto aplicaremos a técnica em dados da bacia hidrográfica do córrego Saladeiro localizada no município de Bonito/MS. A cidade de Bonito é conhecida mundialmente pelas suas águas cristalinas, considerada ponto de apoio para o Pantanal do Nabileque, e parte do bioma do Pantanal considerado Patrimônio Natural da Humanidade (1998) e Reserva da Biosfera (2000).

O índice de qualidade de água criado servirá como informação básica para o público em geral, bem como para o gerenciamento dos recursos hídricos podendo ser utilizado na previsão de futuros cenários e mudanças na qualidade da água da bacia. O estudo realizado

com dados históricos da região publicados pela SEMA/MS facilita a escolha dos parâmetros de maior influência local e conseqüentemente promove o monitoramento da área.

Espera-se que o presente trabalho contribua para as novas metas de gerenciamento dos recursos hídricos estabelecidas pelo Estado do Mato Grosso do Sul através da Política Estadual de Recursos Hídricos.

2. OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho são construir um índice de qualidade de água como instrumento de gestão para a microbacia Hidrográfica do córrego Saladeiro, município de Bonito/MS, assim como avaliar variação da qualidade de suas águas.

Dados históricos da qualidade das águas da microbacia foram analisados estatisticamente utilizando-se o método da análise das componentes principais, a fim de demonstrar quais os parâmetros que têm maior influência na variação da qualidade da água.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 O MUNICÍPIO DE BONITO



Figura 2 – Localização do município de Bonito, MS
Fonte: BRAZILIAN TRAVEL BUREAU S.A., 2006

O município de Bonito possui uma área de 4.934 Km², localiza-se no Estado brasileiro do Mato Grosso do Sul (fig. 2) a 350m de altitude em relação ao nível do mar e suas coordenadas cartográficas são 20°55'30" S e 56 °30' W. Os principais acessos a Bonito são pelas rodovias BR 267, BR 163, BR 060 e MS 339 (COMTUR, 2003).

A região do município de Bonito inicialmente habitada por índios da tribo Kaduveo, foi povoada por famílias vindas de São Paulo e Minas Gerais, posteriormente por famílias do Rio Grande do Sul. E elevada à condição de município no ano de 1948 (PIVATTO, 2003).

A geologia apresenta o Grupo Corumbá, o que é composto pelas Formações Bocaina e Cerradinho. A Formação Bocaina constitui-se de calcários dolomíticos e dolomitos, com vênulas de calcita e quartzo. Esses calcários podem ser utilizados na fabricação de cal, como

corretivos de solo, fabricação de refratários e britas. A Formação Bocaina está presente na cabeceira do córrego Bonito e na cabeceira de seu afluente Restinga. O restante da microbacia do córrego Saladeiro insere-se no Grupo Corumbá (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

A topografia da região é diversificada, apresentando-se plana no baixo curso e foz do rio Formoso; ondulada nas proximidades da cidade de Bonito e do córrego São João e no curso inferior do rio Mimoso. Os tipos de solo mais frequentes são Podzólico Vermelho-escuro, Cambissolo, Brunizém Avermelhado, Rendzina, Glei Húmico, Regossolo e Latossolo Vermelho-escuro (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

Índices pluviométricos do município variam de 1.200mm a 1.300mm por ano. As regiões fitoecológicas são região da Savana (Cerrado), região da Floresta Estacional Semidecidual (Tropical Subcaducifólia) e região da Floresta Estacional Decidual (Tropical Caducifólia). Todas essas regiões fitoecológicas estão presentes na bacia estudada. Existe grande diversidade faunística na região, sendo conhecidos mais de 340 espécies de aves, 60 de mamíferos e 50 de peixes (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

O IBGE estimou que em 2005 a população era de 17.841 habitantes e densidade populacional de 3,61 hab/Km². Observa-se um baixo crescimento comparando com o censo de 1991 quando possuía 15.543 habitantes. 76,24% da população do município atualmente é urbana e 23,76% é rural. O censo demográfico do IBGE de 2000 apresentou 4.635 domicílios, sendo 74,35% na área urbana e 25,63% na rural.

O abastecimento de água para a população advém de poços subterrâneos e atende a 99% da população urbana (DIAS, 2002). E o tratamento de efluentes predominante é a fossa rudimentar (61,28%), a rede de coleta pública atende apenas 28,36% das residências e 4,34% não possuem nenhuma forma de tratamento (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

A coleta de resíduos sólidos municipal serve 73,32% dos domicílios e 20, 71% queimam seus resíduos sólidos, destes a maioria localizam-se na zona rural. 19 toneladas de resíduos sólidos são geradas no município. Após coletados os resíduos são dispostos no lixão localizado na Estrada Bonito-Ilha do Padre, Km-1, e os resíduos de serviço de saúde são dispostos em valas sépticas (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

Segundo o censo do IBGE de 2.000 a educação do município conta com 11 estabelecimentos de ensino fundamental, três de ensino médio e um de ensino superior. A área da saúde possui uma rede ambulatorial de seis unidades ambulatoriais, sendo cinco públicas e uma unidade filantrópica além da rede hospitalar.

O município possui Unidades de Conservação, que são áreas delimitadas e destinadas a proteção dos recursos ambientais presentes nas mesmas, como Trevo, uma Reserva Particular do Patrimônio Natural instituída pelo IBAMA e a São Geraldo que foi instituída pelo IMAP (Instituto de Meio Ambiente Pantanal) (PEREIRA et al, 2004).

A área destinada à produção agrícola do município reduziu visto que em 1990 haviam 32.813 hectares destinados à lavoura temporária e permanente, em 2004 apenas 14.664 hectares foram destinados a lavoura, o que equivale a uma redução de 55,31%. O principal produto agrícola é a soja, seguida do milho e do arroz. Segundo PEREIRA et al (2004) há uma área 150ha destinada a produção de arroz irrigado no município de Bonito.

A pecuária, ao contrário da agricultura, cresceu no município. Em 1990 o efetivo dos rebanhos (cabeças) era de 345.390 aumentando para 462.986 em 2004. O gado bovino aumentou 34,05%, as galinhas 147,04% e os ovinos 53,15% (IBGE, 2006).

O setor secundário mostra alterações, pois as atividades ligadas ao turismo assumiram maior destaque na economia local. O turismo demandou infra-estrutura dos serviços principalmente de alojamentos e de alimentação o que impulsionou o setor da construção civil. A atividade extrativa mineral, importante atividade do município, possuía quatro unidades no ano de 1995 correspondendo a 28,57% do setor e em 2004 havia três unidades correspondendo a 13,64% do setor (IBGE, 2006).

Bonito apresentou um aumento do número de unidades voltadas a atividades do setor terciário (comércio varejista e serviços de alojamento e alimentação) entre os anos de 1995 e 2004, correspondendo a 327%. Principalmente devido ao crescimento do número de estabelecimentos de 13 para 108 de serviços de alojamento e alimentação. Esse setor representava 23% dos empregos formais em 1995 e passou para 53% em 2004 (IBGE, 2006).

Pesquisa realizada pela FUNDTUR (Fundação de Turismo de Mato Grosso do Sul) mostra que um dos fatores negativos relatados pelos turistas está relacionado ao meio ambiente, pois existem muitas áreas de pastagens, poucos animais e muitas áreas alagadas, além da falta de informação sobre as diferenças entre o Pantanal e Bonito (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

O município possui uma área de 4.934Km², como já mencionado, e desse total 4.624,4Km² (93,7% da área do município) faz parte da bacia do rio Miranda. 10,3% da bacia do rio Miranda está no município de Bonito. A demanda de água no município de Bonito é de 42,9L/s para a zona urbana, 4,4L/s para a rural; 69,0L/s são necessários para a irrigação, 184,6L/s para dessedentação de animais resultando em 300,9L/s na totalidade. (PEREIRA et al, 2004).

A bacia do rio Miranda possui uma grande diversidade física, diferentes formações litológicas e geológicas, e conseqüente complexo hídrico, favorecendo a atividade de ecoturismo na região. As formações calcárias ao mesmo tempo em que favorecem o ecoturismo também são ambientes muito frágeis aos impactos antrópicos negativos (PEREIRA et al, 2004).

A bacia do rio Formoso possui um ecossistema frágil e é de grande importância para o setor turístico regional. A microbacia do córrego Saladeiro, um dos principais efluentes do rio Formoso, necessita de uma boa gestão, visto que corpos hídricos que objetivam o uso para recreação de contato primário exigem controle rigoroso de sua qualidade, e grandes alterações na microbacia do córrego Saladeiro desencadearão alterações na qualidade das águas do rio Formoso.

O projeto “Bacia hidrográfica do rio Formoso”, coordenado pela SEMA e publicado em 2002, detectou processos erosivos e passagem de bovinos em leito de cursos d’água na cabeceira do córrego Bonito, além disposição inadequada de resíduos sólidos nas margens do córrego Saladeiro.

O fator sazonalidade do fluxo de turistas também deve ser considerado na gestão dos recursos hídricos. Os meses de janeiro, julho, outubro e dezembro são os que registraram maiores índices de visitação. Em 1996 a Secretaria Municipal de Turismo de Bonito estimou

um fluxo de 35.547 turistas e em 2004 estimou-se 74.240 turistas, sendo o maior fluxo em 2003 de 76.284 turistas (FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON, 2006).

Observando as mudanças ocorridas no município durante o período de 1991 a 2004 conclui-se que é necessário aprimorar a gestão dos recursos hídricos locais visto que a demanda para diferentes usos da água como abastecimento humano, turismo, irrigação, lançamento de efluentes e dessedentação de animais, que exigem qualidades de água diversas, podem causar conflitos na região.

3.2 QUALIDADE DE ÁGUA EM RIOS

PORTO et al (1991) afirmam que qualidade da água não se refere ao grau de pureza absoluto, mas ao padrão tão próximo quanto ao natural, isto é, como se encontra nos rios e nascentes, anteriormente ao contato antrópico. Segundo VON SPERLING (1998) a qualidade das águas de um determinado local é de maneira geral consequência do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica, ou seja, das intervenções humanas, somadas aos fatores naturais locais.

Em função do uso previsto para determinado curso hídrico pode-se esperar uma determinada qualidade, que às vezes é diferente da qualidade que o mesmo apresenta (VON SPERLING, 1998). As características físicas, químicas e biológicas da água podem ser avaliadas pelos componentes que ela apresenta. No entanto avaliar todos os componentes seria impossível, por isso são utilizados parâmetros para traduzir suas características.

Os parâmetros de qualidade de água são considerados ferramentas fundamentais na avaliação de impactos antrópicos sobre o meio ambiente (MOLOZZI et al, 2006). Existem valores padrões estabelecidos (mundialmente, pelos países, estados ou municípios) para diversos parâmetros que por método comparativo são utilizados para verificar as condições da qualidade da água.

Alguns desses parâmetros são temperatura; turbidez; condutividade específica; pH; nitrogênio; fósforo; demanda bioquímica de oxigênio (DBO); demanda química de oxigênio

(DQO); oxigênio dissolvido (OD); sólidos; resíduo; coliformes fecais e termotolerantes (VON SPERLING, 1998).

O pH, potencial hidrogeniônico, é um parâmetro físico que representa o quanto de íons H^+ está presente na água, indicando condições de alcalinidade, acidez ou neutralidade (VON SPERLING, 1998). pH baixo em um corpo d'água pode representar característica corrosiva, e valores elevados possibilidade de incrustações nas tubulações (MOTA, 1997).

BORGES et al (2003) detectaram dentre os pontos de amostragem de seu estudo no córrego Jaboticabal (Brasil) os mais baixos valores de pH naquele em que o ambiente natural da água apresenta concentrações de H^+ e OH^- influenciadas por sais, ácidos e bases presentes no meio em que a cobertura vegetal original é do tipo cerrado e há presença de plantações de cana-de-açúcar. Concluíram que a maior presença de H^+ pode ser devido à área estudada inserir-se na formação geológica Botucatu e a presença de ácidos minerais e orgânicos dissolvidos, advindos de fonte alóctone (adubo) ou autóctone.

É um indispensável indicador de qualidade para a vida aquática, pois a maioria dos organismos vive em valores de pH entre 6 e 9, apesar de determinados animais aquáticos sobreviverem a valores de pH abaixo de 5,0. Este valor aumenta da possibilidade de toxidez porque há maior solubilização de metais (BRANCO, 1986).

A condutividade relaciona-se com a presença de substâncias dissolvidas e dissociadas em ânions e cátions, o que promove a capacidade da água em transmitir corrente elétrica. Este parâmetro pode estar diretamente ligado à concentração de sólidos dissolvidos totais, caso predomine um determinado íon no corpo hídrico (PORTO et al, 1991).

PETERSON et al (2001) observaram a relação indireta entre a condutividade e a vazão no estudo realizado na bacia hidrográfica do rio Elbe, Alemanha, pois o processo de diluição dos sais presentes na água diminuiu a condutividade específica da mesma.

A penetração da luz na água é alterada por partículas em suspensão que provocam a difusão e absorção da luz, essa alteração é denominada turbidez. Suas causas podem ocorrer, por exemplo, devido à presença de plâncton, bactérias, argilas, silte em suspensão, entre

outras partículas finas advindas, por exemplo, de lançamentos de efluentes (PORTO et al, 1991).

A intensidade de calor influencia processos biológicos, reações químicas e bioquímicas que ocorrem na água e também outros processos como a solubilidade dos gases dissolvidos e sais minerais. Segundo VON SPERLING (1996) a origem natural da temperatura é transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo), mas também pode ter origem antropogênica quando há despejos industriais ou lançamentos de águas de torres de resfriamento.

Todos os contaminantes, com exceção dos gases dissolvidos, contribuem com a carga de sólidos (resíduos) existente na água. Os sólidos são classificados conforme sua natureza física (em suspensão, coloidais ou dissolvidos) ou química (orgânicos ou inorgânicos). Sólidos suspensos estão entre 100 e 103 μm , coloidais de 10⁻³ a 100 μm e dissolvidos de 100 a 10⁻⁶ μm (VON SPERLING, 1996).

Em águas naturais, os sólidos dissolvidos estão relacionados com as taxas de desgaste das rochas por intemperismo. A salinidade também está incluída como sólidos dissolvidos totais. E se tratando de sólidos suspensos, os mesmos estão ligados aos valores de turbidez. Seu aumento interfere nos aspectos estéticos da água e produtividade do ecossistema pela diminuição da penetração da luz, além de servir de abrigo para microorganismos patogênicos (VON SPERLING, 1996).

O parâmetro oxigênio dissolvido permite a análise da capacidade de autodepuração do recurso hídrico, pois a presença de matéria orgânica causa a redução ou eliminação do mesmo, quando os microrganismos decompositores o utilizam em sua respiração. E uma consequência da redução do teor de oxigênio dissolvido na água pode ser a morte de organismos aeróbios (VON SPERLING, 1996).

A concentração em torno de 8mg/L é considerada ideal, sendo que em torno de 4 a 5mg/L morrem os peixes mais exigentes e 0mg/L existe anaerobiose (VON SPERLING, 1996). Temperatura, salinidade, velocidade da água, turbulência da água, pressão atmosférica e atividade de fotossíntese no corpo d'água são fatores que interferem na concentração de OD.

O nitrogênio pode ser encontrado no meio aquático em diversas formas como nitrogênio molecular (N_2), nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão), amônia (NH_3), nitrito (NO_2^-), e nitrato (NO_3^-) (VON SPERLING, 1996). A amônia é o primeiro estado do nitrogênio na fase nitrogenada da oxidação da matéria orgânica, essa passa à forma de nitrito e depois a nitrato por ação de bactérias quimiossintetizantes (MOTA, 1997). E as principais fontes de nitrogênio são de despejos domésticos, despejos industriais, excrementos de animais e fertilizantes (VON SPERLING, 1996).

Concentrações de nitrogênio e amônia dentro da bacia do rio Miranda não mostraram sazonalidade na pesquisa de OLIVEIRA & FERREIRA (2003) os quais concluíram que as variações detectadas no trecho superior da bacia têm origem na entrada de materiais alóctones, aporte de efluentes domésticos e/ou agroindustriais.

Outro termo utilizado em qualidade de água é Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), que corresponde ao método Kjeldahl de analisar a concentração de nitrogênio orgânico e de amônia em uma amostra de água.

O fósforo, um elemento essencial para o crescimento de algas, é encontrado na água nas formas de ortofosfato, polifosfato e fósforo orgânico. No entanto o excesso do mesmo causa a eutrofização. A dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica, esgotos domésticos e industriais, fertilizantes, detergentes, excrementos de animais contribuem para a concentração de fósforo no corpo hídrico (MOTA, 1997).

O aporte de fósforo e nitrogênio no rio Santo Antônio, um dos afluentes do rio Miranda, tem origem nos despejos de frigoríficos instalados em suas margens segundo estudo realizado por OLIVEIRA & FERREIRA (2003).

A concentração de nutrientes no rio Elbe, Alemanha, é monitorada há 20 anos e apresenta crescente concentração de nutrientes do leste em direção ao mar do Norte devido a fontes urbanas, industriais e agropecuárias. (PETERSON et al, 2001).

A quantidade de matéria orgânica presente na água é medida indiretamente pelo parâmetro DBO, que segundo MOTA (1997) é a quantidade de oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica biodegradável, por ação de bactérias aeróbias. E a quantidade de

oxigênio necessária à oxidação da matéria orgânica, através de um agente químico é medida pela DQO.

A medida da quantidade do grupo de bactérias coliformes termotolerantes na água, parâmetro biológico, é utilizada para indicar provável contaminação fecal e assim possível presença de bactérias patogênicas.

Segunda a resolução CONAMA 357/2005, que substituiu a CONAMA 20/86, coliformes termotolerantes são bactérias gram-negativas, em forma de bacilos, oxidase-negativas, caracterizadas pela atividade da enzima β -galactosidase. Podem crescer em meios contendo agentes tenso-ativos e fermentar a lactose nas temperaturas de 44° - 45°C, com produção de ácido, gás e aldeído. Além de estarem presentes em fezes humanas e de animais homeotérmicos, ocorrem em solos, plantas ou outras matrizes ambientais que não tenham sido contaminados por material fecal.

A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 é a legislação brasileira que classifica o corpo hídrico conforme as características apresentadas por este ou as desejadas para seus usos, ficando a cargo dos órgãos públicos responsáveis a decisão de classificação pelas características apresentadas ou as desejadas. Esta classificação varia quanto a salinidade (doce, salina ou salobra) e quanto ao uso preponderante (classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 ou classe 4). Seguindo a resolução CONAMA 20/86, a qual antecede a CONAMA 357, o córrego Saladeiro e seus afluentes foram classificados como sendo de classe 2, e a cabeceira do córrego Bonito como classe especial.

Corpos d'água classificados como classe dois são destinados ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho, por exemplo); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer como os quais o público possa vir a ter contato direto; à aquicultura e atividade de pesca. E as águas classificadas como de classe especial são destinados ao abastecimento público sem prévia ou simples desinfecção e preservação das comunidades aquáticas, segundo o CONAMA 357/05.

Deliberação nº. 003 do Conselho Estadual de Controle Ambiental (CECA), de 20 de junho de 1997, dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do

Estado de Mato Grosso do Sul (enquadramento e classificação dos corpos d'água da Bacia Hidrográfica do Alto Paraguai e do córrego Imbiruçu). Porém esta deliberação está embasada na CONAMA 20/86, e ainda não foi substituída.

A Portaria n.º 518, de 25 de março de 2004 é a legislação brasileira responsável por estabelecer os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. A legislação auxilia na popularização do conhecimento a respeito da qualidade e propicia a democratização de sua gestão, assim como aumenta o acesso aos usos múltiplos dos corpos hídricos.

A microbacia do córrego Saladeiro possui múltiplos usos do solo como pecuária, urbanização, lavoura de soja, mineração, recreação e prática do ecoturismo, além da existência de vegetação nativa. O desmatamento da mata ciliar para atender a demanda de pescueiros e campings, o lançamento de efluentes nos corpos d'água, erosão do solo e disposição inadequada de lixo nas margens dos rios ameaçam a qualidade das águas do município de Bonito (DIAS, 2002). O manejo inadequado do pasto para a criação de gado bovino pode ocasionar erosão do solo e conseqüente carreamento de sedimentos para a calha do rio em solos frágeis como os da bacia do Alto Paraguai (TUCCI et al, 2000).

DIAS (2002) avaliou o comportamento do córrego Bonito, componente da bacia do córrego Saladeiro, utilizando técnicas laboratoriais de análise físico, químicos e biológicos de suas águas, realizadas durante o ano de 2000. Foram escolhidos quatro pontos do córrego Bonito para o estudo (cabecera, após receber córrego Restinga, após receber córrego Saladeiro e foz). E trabalho mostrou o impacto negativo da zona urbana do município de Bonito como conseqüência da descarga de esgoto.

Existem vários estudos publicados a respeito da qualidade das águas, como é o caso de ZEILHOFER et al (2006) que analisaram a tendência espacial do uso do solo e sua relação com a qualidade da água da bacia do rio Cuiabá em Mato Grosso, um dos principais rios afluentes do Pantanal. Sendo que a degradação da qualidade da água foi verificada em áreas com presença de fazendas com criação extensiva de gado (elevados nutrientes e coliformes); áreas agrícolas (alta concentração de DQO e nitrogênio); atividade pesqueira (elevada

concentração de nitrogênio) e alta degradação química e biológica nas proximidades das áreas urbanas de Cuiabá e Várzea Grande.

ALAM et al (2007) estudaram a qualidade das águas do rio Surma, cuja bacia cobre a parte ocidental de Bangladesh. Os pesquisadores analisaram parâmetros como condutividade, dureza, pH, sólidos dissolvidos e totais, DBO, DQO, OD, amônia, coliformes, ferro, sódio, chumbo, magnésio, cálcio, cobre, zinco, cromo de setembro de 2001 a julho de 2003. ALAM et al (2007) compararam os resultados com padrões de Bangladesh e internacionais, observando que o único parâmetro que apresentou valores acima dos padrões foi o ferro. A turbidez foi alta no período das monções, assim como DBO e coliformes no período da seca. ALAM et al (2007) concluíram que apesar de ser uma bacia onde habitam oito milhões de pessoas apresentando diversas atividades antrópicas e efluentes industriais, as águas do rio Surma apresenta qualidade perfeitamente aceitável para todos os usos exceto o consumo humano sem prévio tratamento.

O monitoramento da qualidade das águas é realizado em muitos países do mundo, mas as condições gerenciais da rede de monitoramento dependerão do país, e observa-se que é comum existirem coletas em áreas críticas (TUCCI et al, 2000).

A análise e interpretação dos dados amostrados que caracterizam a água é fundamental para auxiliar na gestão dos recursos hídricos. No Brasil, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) possui uma rede básica e realiza coletas periódicas em diferentes pontos do país, no entanto muitos dos órgãos estaduais que possuem atribuições para fiscalização não possuem rede específica para controle das condições dos rios de sua área de atuação. E quando os órgãos estaduais possuem rede de monitoramento a maioria das vezes não medem a vazão o que não permite o cálculo da carga, pois só tem o valor da concentração dos poluentes (TUCCI et al, 2000).

3.3 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL E NO MS

Qualquer forma de uso dos recursos hídricos influencia a vida dos ecossistemas aquáticos. Poluição, escassez, aumento da demanda e o elevado custo para tratamento e

distribuição pública são alguns dos problemas a respeito do uso das águas. Esses usos são distribuídos da seguinte forma 69% para agricultura, 23% na indústria e 8% para uso doméstico, a nível mundial (BANCO MUNDIAL, 1998).

O Brasil é um país com mais de 8,5 milhões de quilômetros quadrados de área, detém 12% da reserva de água doce do mundo, e a disponibilidade hídrica total no país é de 168.790m³/s. No entanto a reserva de água é desigualmente distribuída, pois 68% da água do país encontram-se na região norte, a qual possui menor densidade demográfica (7% da população nacional) e onde estão presentes 43 e 29% da população do país, regiões sudeste e nordeste, localizam-se apenas 3 e 7% dos corpos hídricos respectivamente (CARVALHO & MAGRINI, 2006).

Os primeiros conflitos relacionados à água no Brasil restringiam-se a empecilhos à navegação e problemas com a vizinhança (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006). A gestão das águas no Brasil teve seu marco inicial com a promulgação do Código das águas, em 10 de julho de 1934, após discussões ocorridas no Congresso Nacional a respeito de conflitos de uso das águas devido ao processo de industrialização do país. No entanto caracterizava-se como um modelo burocrático (PEREIRA et al, 2004).

Em 1978 um avanço foi dado com criação do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas, composto por representantes de órgãos federais e estaduais, com a finalidade de promover a utilização racional dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios federais, por meio da integração dos planos e dos estudos setoriais em desenvolvimento pelas diversas instituições. A partir deste foram implantados comitês executivos em diversas bacias hidrográficas como o Comitê do rio Paraíba do Sul, do rio Guafba e do rio Paranapanema; nos quais se iniciou a participação de representantes da sociedade (PEREIRA et al, 2004).

Desde meados da década de 80 o governo brasileiro, juntamente com especialistas, tenta estabelecer base para um moderno sistema de gestão de recursos hídricos no Brasil. Outro grande passo na gestão das águas veio com o a Constituição de 1988 quando se aboliu a propriedade privada e dividiu o domínio das águas entre União e Estado, além de determinar ser competência da União a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos bem como definir critérios de outorga de direito de uso dos recursos hídricos. E todo

esse processo culminou em um modelo sistêmico de integração participativo inspirado no modelo adotado na França, em que a unidade de gestão é a bacia hidrográfica (CARVALHO & MAGRINI, 2006).

Segundo DUARTE NETO (2005) o artigo 11 da Carta Européia da água de maio de 1968 já norteava a gestão dos recursos hídricos inserida no âmbito da bacia hidrográfica natural e não nas fronteiras administrativas e políticas.

Atualmente a gestão de recursos hídricos no Brasil está embasada na lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997, Política Nacional de Recursos Hídricos, que cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH), regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. A entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos é a Agência Nacional de Águas - ANA, que foi criada pela lei 9.984, de 17 de julho de 2000 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

A lei 9.433/97 possui princípios como a descentralização, participação pública e usos múltiplos, ou seja, todos os usos têm igual direito ao acesso a água, com exceção a situação de escassez que a prioridade será o abastecimento público e dessedentação de animais. A Política Nacional de Recursos Hídricos prevê diversos instrumentos para facilitar a gestão das águas como o enquadramento de corpos d'água, a outorga do uso da água, a cobrança pelo uso da água, os sistemas de informações e o planejamento do gerenciamento dos recursos hídricos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

O enquadramento é um instrumento facilitador da gestão, pois os corpos d'água devem atingir ou permanecer na classe de qualidade determinada. O enquadramento e o sistema de informações são essenciais ferramentas no auxílio dos processos de outorga. A outorga dá o direito de uso por prazo determinado, segundo condições especificadas no ato e poderá ser suspensa parcialmente ou totalmente. A cobrança pelo uso das águas foi previsto já no Código das Águas de 1934 e tem a finalidade de reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor, além de promover a racionalização d'água e angariar fundos para investimentos em projetos e intervenções na bacia hidrográficas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

O Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos serve como base para a utilização dos outros instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e a disseminação de informações confiáveis auxiliará nas tomadas de decisões das comunidades, usuários e poder público. O Plano de Bacia é uma ferramenta que auxilie o manejo para maximizar o uso dos recursos hídricos de forma racional através de ações que assegure uma gestão ambiental adequada. Por meio de concessões os usuários da bacia recebem licenças para fazer o uso do corpo hídrico conforme diretrizes descritas no plano de bacia hidrográfica (CARVALHO & MAGRINI, 2006).

A Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente deve coordenar a elaboração e auxiliar no acompanhamento da implementação do Plano Nacional de Recursos Hídricos assim como monitorar o sistema, integrar a gestão dos recursos hídricos e do meio ambiente, promover a cooperação técnica e científica relacionada com a Política Nacional de Recursos Hídricos. O órgão superior desse sistema é o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, o qual acompanha a execução e aprovação do plano e é formado por Ministérios e Secretarias da Presidência da República, Conselhos Estaduais, setores usuários e sociedade civil. Em âmbito estadual suas respectivas legislações definem as responsabilidades (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos têm função deliberativa a respeito de critérios e diretrizes da Política Estadual de Recursos Hídricos, outorga, cobrança e outros instrumentos e os Comitês de Bacia Hidrográfica de promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes, bem como arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos, aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia atribuídos às Agências de Água, acompanhar sua execução e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Quando não houver agências os planos podem ser feitos pelas entidades gestoras e aprovados pelos comitês. Se não houver comitês as competentes entidades ou os órgãos da administração pública encarregados da gestão de recursos hídricos serão responsáveis, com a participação dos usuários de água e das entidades civis de recursos hídricos, pela elaboração da proposta de Plano de Bacia, bem como deverão implementar as ações necessárias à criação

do respectivo Comitê, que será responsável pela aprovação do referido Plano (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

E os conflitos são mediados pela Superintendência de Usos Múltiplos (SUM), órgão pertencente à ANA, assim como situações de escassez ou cheia, recuperação e preservação de bacias hidrográficas, controle de processos erosivos em estradas vicinais, plantio direto e integração lavoura e pecuária, recuperação e preservação das nascentes (ANA, 2006).

Conforme a SUBSECRETARIA DE COMUNICAÇÃO INSTITUCIONAL DA SECRETARIA-GERAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (2006) o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), previsto na Lei 9.433/97, foi publicado em 22 de março de 2005. Elaborado durante dois anos e meio de forma participativa entre governo federal, governos estaduais e municipais, membros da sociedade civil e usuários de recursos hídricos sendo coordenado pela Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA), com o apoio da Agência Nacional de Águas (ANA).

Esse plano objetiva guiar as ações para o uso racional da água até 2020, seguindo as orientações da I e II Conferências Nacionais do Meio Ambiente (2003 e 2005), e atende a proposta da Agenda da Cúpula de Joanesburgo (2002), na qual a ONU (Organização das Nações Unidas) determinou que até 2005 os países deveriam elaborar planos de gestão para reduzir à metade o número de pessoas sem acesso a água potável e ao saneamento básico, com meta para 2015 (SUBSECRETARIA DE COMUNICAÇÃO INSTITUCIONAL DA SECRETARIA-GERAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2006).

O PNRH foi elaborado em quatro volumes: panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil; águas para o futuro: cenários para 2020; diretrizes; e programas nacionais e metas; tudo com base nas 12 regiões hidrográficas do Brasil: Amazônia, Tocantins-Araguaia, Atlântico Nordeste Ocidental, Parnaíba, Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Atlântico Leste, Atlântico Sudeste, Atlântico Sul, Uruguai, Paraná e Paraguai (SUBSECRETARIA DE COMUNICAÇÃO INSTITUCIONAL DA SECRETARIA-GERAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, 2006).

No Estado do Mato Grosso do Sul (MS) a gestão ambiental iniciou em 1979, após a divisão do mesmo, com a criação do Instituto de Preservação Ambiental e Controle

Ambiental de Mato Grosso do Sul (INAMB) (PEREIRA et al, 2004). Ao longo do tempo esse instituto sofreu alterações de caráter político e econômico, e atualmente chama-se Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) com competência para proposição e gestão da política de meio ambiente; articulações para obtenção de recursos financeiros e técnicos com a finalidade de preservação e conservação do meio ambiente; incentivo a coleta seletiva de resíduos sólidos; planejamento e fiscalização de processos erosivos; elaboração do plano estadual de manutenção e preservação dos recursos hídricos; entre outras (PEREIRA et al, 2004).

A lei estadual n.º 2.406/2002 instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e criou Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Os instrumentos de gestão dos recursos hídricos estaduais são os mesmos que a lei nacional prevê (planejamento, enquadramento, outorga, cobrança, sistema de informações), no entanto o setor agropecuário ficou isento da cobrança pelo uso da água após forte oposição durante os debates que antecederam a instituição da lei 2.406/2002.

O processo produtivo agropecuário foi considerado insignificante na Política Estadual de Recursos Hídricos e ficou isento de cobrança, assim como as agroindústrias que dispuserem de sistema de captação próprio, tratamento e reciclagem da água, e produtores que comprovem aumento da produtividade e não poluição da água ao utilizarem sistemas de irrigação. Estes itens da legislação estadual devem ser revisados e quando necessário perfeitamente fiscalizado devido aos impactos qualitativos e quantitativos que a agropecuária causa nos corpos hídricos também utilizados para a pesca, uma atividade muito desenvolvida no ecoturismo regional (PEREIRA et al, 2004).

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do MS ainda não foi publicado, assim como de nenhuma das bacias hidrográficas do estado. Está previsto na lei 2.406/2002 que o Plano Estadual de Recursos Hídricos seja elaborado pela SEMA, por bacia hidrográfica e seja aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Segundo FREITAS¹ (2007) a SEMA elaborou o Termo de Referência necessário para o início da elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos que será feito em parceria com o estado do Mato Grosso (MT), o qual compartilha o bioma do Pantanal com o MS.

O estado do MT iniciou a elaboração de parte do Plano Estadual de Recursos Hídricos após solicitar à Secretaria de Recursos Hídricos (nacional) a contratação de um Consultor Nacional de Recursos Hídricos. Da mesma forma o MS solicitou a contratação do mesmo consultor, quem já analisou e reelaborou o Termo de Referência citado anteriormente (FREITAS, 2007).

O enquadramento foi realizado nas águas superficiais da bacia do Alto Paraguai e no córrego Ibiruçu, conforme a deliberação CECA 003/1997, antes mesmo da instituição da lei 2.406/2002. A CECA 003/1997 está embasada na legislação federal CONAMA 20/86 que foi substituída pela CONAMA 357/05, então os corpos d'água que já foram enquadrados podem ser reenquadrados se necessário.

A SEMA possui uma minuta para o instrumento de outorga, porém ainda não a publicou (FREITAS, 2007). A dificuldade do estado do MS em implantar a outorga é a falta de dados de vazão dos corpos d'água de seu território em quantidade suficiente para estudos.

A maneira como a lei 2.406/2002 faz referência a casos insignificantes que deverão substituir a outorga por uma comunicação merece atenção:

“[...] Art. 11. § 1º A outorga, nos casos de usos insignificantes, deverá ser substituída por Comunicação de Obra ao Órgão Concedente, sempre que tiver formulário próprio assinado por responsável técnico, excetuados os casos de usos dos recursos hídricos com potencial de grande interferência no meio ambiente [...]”

Caso a substituição por comunicação de obra não for seriamente fiscalizado poderão ocorrer abusos quanto ao volume de água captada, já que a legislação não cita quantidades

¹Bióloga do Setor de Gerência de Recursos Hídricos do IMAP/SEMA-MS, entrevistada dia 01/03/2005 às 10:00h.

limites, e pode haver descaracterização da classe em que o corpo d'água foi enquadrado se elevadas cargas de poluentes forem lançados na água.

Segundo a Política Estadual dos Recursos Hídricos os órgãos estaduais de meio ambiente têm como competência a conservação e preservação da qualidade das águas de domínio estadual. A SEMA-MS é responsável pelo controle da qualidade das águas superficiais no Estado de Mato Grosso do Sul, conforme a Lei Estadual nº. 90, de 2 de junho de 1980, Decreto Estadual nº. 4.625, de 7 de junho de 1988, e Lei Estadual de Recursos Hídricos nº. 2.406, de 29 de janeiro de 2002. E o Conselho Estadual de Recursos Hídricos foi instituído pela lei 2.406/2002 e regulamentado em 2004 pelo decreto 11.621.

O primeiro organismo de bacia no MS teve suas discussões iniciadas em 1996 e foi consolidado em 1997 com a criação do Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Sustentável da Bacia do Rio Taquari. Em seguida foi criado o Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Rio Miranda e Apa. Os consórcios intermunicipais foram uma inovação da década de 80 e tinham a finalidade de prestar serviços integrados aos municípios (PEREIRA et al, 2006).

A estrutura institucional sofreu alterações e os conselhos de município deram lugar aos conselhos de bacia. E finalmente o Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Miranda – MS foi criada pela resolução CERH/MS n.º 002 em 23 de Novembro de 2005 (publicada no Diário Oficial nº 6614 de 28/11/05). Esse é o primeiro comitê de bacia no MS e na bacia do Alto Paraguai e o terceiro na região Centro-Oeste, foi criado através de uma parceria entre o Fundo Mundial para a Natureza (WWF-Brasil), o Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Integrado das Bacias do Miranda e do Apa (CIDEMA) e a Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul (SEMA-MS).

O Comitê da Bacia do rio Miranda está em fase de implantação, foi legalmente instituído, seus membros foram empossados e o regimento interno elaborado (FREITAS, 2007).

Como existe apenas o Comitê da bacia do rio Miranda no estado do MS outros instrumentos como a cobrança e a outorga ainda não são usados e conseqüentemente as

Agências de Água que dependem de viabilidade financeira assegurada pela cobrança pelo uso da água não foram instituídas.

A continuidade e o sucesso da política dos recursos hídricos dependem da conscientização da sociedade a respeito da conservação e uso sustentável das águas iniciando pela criação dos comitês de bacia que deve partir da sociedade e não ser imposta pelo setor público, cumprindo a descentralização que é um dos princípios da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos.

A lei 2.406/2002 cria também o Fundo Estadual dos Recursos Hídricos para auxiliar a execução da política estadual e ações correspondentes. As receitas do Fundo Estadual dos Recursos Hídricos terão origem das cobranças pelo uso da água, cobrança por infrações, dos Estados e municípios por disposição legal, transferência da União ou de outros países destinadas a planos e programas na área, exploração hidroenergética, doações, e outras receitas destinadas aos recursos hídricos.

O Instituto de Meio Ambiente Pantanal - IMAP é a instituição de caráter operacional da gestão ambiental e dos recursos hídricos no MS e possui o respaldo do Centro de Controle Ambiental (Laboratórios) que operacionaliza o monitoramento da qualidade das águas superficiais no Mato Grosso do Sul.

Segundo a Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), o monitoramento ambiental é um dos instrumentos da Política Nacional dos Recursos Hídricos. Este monitoramento é quem fornecerá informações sobre a qualidade dos recursos hídricos e dará suporte à tomada de decisão para um melhor gerenciamento da qualidade e quantidade dos recursos hídricos nacionais.

A Política Estadual dos Recursos Hídricos do MS responsabiliza a SEMA pelo desenvolvimento, atualização e manutenção do Sistema de Informações dos Recursos Hídricos, exigindo publicações bianuais de relatórios sobre a qualidade e quantidade dos recursos hídricos do estado. Os dados terão acesso garantido ao público e serão incorporados no Sistema Nacional de Informações dos Recursos Hídricos.

TUCCI et al (2000) citam que para o planejamento adequado é fundamental a coleta de dados hídricos. No Brasil a coleta está centralizada em órgãos federais e englobam territórios muito extensos. As pequenas bacias que são importantíssimas para o gerenciamento de demandas para abastecimento humano, irrigação e conservação, no entanto geralmente não são contempladas com programas de monitoramentos, o que pode gerar conflitos a respeito dos múltiplos usos (TUCCI et al, 2000).

O Plano Nacional de Recursos Hídricos revela que o MS possui 117 estações pluviométrica; 2 evaporimétrica; 1 fluviométrica; 60 fluviométrica com medição de descarga; 11 sedimentométrica; 43 de qualidade de água; 22 pluviógrafo; 13 fluviógrafo e 18 telemétrica (sensores automáticos). Atualmente, apenas nove unidades da Federação possuem sistemas de monitoramento da qualidade da água considerados ótimos ou muito bons incluindo MS. E segundo a ANA o MS possui 75 redes de monitoramento da qualidade da água, sendo o órgão responsável o IMAP, com 20 parâmetros analisados 3 vezes ao ano (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

O estudo de PEREIRA et al (2004) mostram que há 12 estações fluviométricas na bacia do rio Miranda cadastradas, no Inventário das estações fluviométricas do DNAEE/MME, todas possuem observação de nível d'água, 7 apresentam medidas de descarga líquida, 3 apresentam medidas de qualidade da água e 2 são telemétricas e não existem medições de descargas sólidas.

A avaliação da qualidade das águas do Pantanal é feita desde 1992 devido à iniciativa Rede Básica de Monitoramento da Qualidade das Águas dos Rios da Bacia do Alto Paraguai que hoje é operacionalizada pelo Centro de Controle Ambiental/IMAP e conta com 74 pontos de amostragem distribuídos nas seis sub-bacias do Alto Paraguai. Esse monitoramento objetiva avaliar a evolução da qualidade da água da bacia hidrográfica ao longo do tempo; realizar o enquadramento dos corpos d'água e subsidiar estudos e programas de recuperação e preservação local (PEREIRA et al, 2004).

O artigo 3º da Política Nacional de Recursos Hídricos prevê a gestão integrada das águas e do uso do solo. O município de Bonito possui legislação que dispõe sobre o uso, ocupação e parcelamento do solo e dá providências, a lei nº. 947 de 17 de dezembro de 2002,

uma ferramenta facilitadora do complexo planejamento da gestão dos recursos hídricos da microbacia do córrego Saladeiro.

“[...]Art. 5º Ficam criadas as Áreas de Uso e Ocupação do Solo, subdivididas e definidas pela área urbana proposta, da seguinte forma:

I – áreas de Proteção Ambiental: destinadas à preservação, conservação e manutenção da drenagem natural e da estabilidade geotécnica de nascentes e corpos d’água, compreendendo os rios Bonito, Restinga e Marambaia, afluentes do Formoso e suas margens, bem como o Banhado, que apresentam os ecossistemas parcialmente modificados, com dificuldades de regeneração natural pela supressão ou modificação de alguns de seus componentes, em razão de ações antrópicas, assentamentos urbanos e abertura de acessos, sendo seu uso compatível com as atividades de lazer coletivo e atividades de interesse turístico, tais como parques, praças, atividades de cultura e esporte, bem como instituições ligadas ao ensino e pesquisa ambientais, cujos parâmetros quanto ao uso e ocupação devem ser determinados com vista à manutenção das características naturais do local;[...]” (Lei nº. 947 de 17 de dezembro de 2002).

A lei de uso e ocupação do solo de Bonito, lei nº. 947/2002, prevê que devem ser destinados para infiltração 50% da área de cada empreendimento de todos os usos, em todas as Áreas de Uso e Ocupação. Essa é uma ferramenta que garante a recarga do lençol freático e consequentemente dos corpos hídricos sendo muito importante para um município em que a captação de água para abastecimento público é feito através de poços.

SILVA e PORTO (2003) citam que o planejamento territorial e o uso e ocupação do solo é uma esfera de atuação do município e não do setor de recursos hídricos, o que mostra que é essencial a integração dessas duas esferas do poder para controle do processo de ocupação e uso do solo. Observam também que a gestão integrada leva em consideração perspectivas de usos dos recursos hídricos em longo prazo e equilíbrio entre aumento da capacidade e gerenciamento da demanda das águas. Assim como o controle da poluição na fonte é um dos elementos desse tipo de gestão (SILVA e PORTO, 2003).

Grandes metrópoles como São Paulo apresenta problemas com a exclusão da população de baixa renda para a periferia e conseqüente expansão desordenada, assim falta infra-estrutura urbana gerando problemas nas áreas de proteção de mananciais e várzeas. Os centros urbanos, onde a infra-estrutura está consolidada, se esvaziam e as periferias enchem-se aguardando a expansão das redes de água, esgoto e coleta de resíduos sólidos (SILVA e PORTO, 2003).

Cidades pequenas como a de Bonito devem observar esses históricos e organizar o uso e ocupação do solo a fim de prevenir problemas com perdas de mananciais por contaminação ou falta de recarga devido à impermeabilização do terreno, aumento do custo do tratamento de água para abastecimento público, perdas de infra-estrutura consolidada e enchentes.

Manter o equilíbrio entre o desenvolvimento sócio-econômico e a preservação da natureza é o objetivo da gestão de recursos hídricos, já que uma das maiores fontes de renda do município é o turismo. É necessário um plano de monitoramento devido à dinâmica da modificação do uso do solo na bacia do rio Saladeiro.

Segundo TUCCI et al (2000) o Brasil necessita tratar seus efluentes, proteger seus mananciais, aumentar disponibilidade hídrica em regiões críticas, controlar adequadamente as enchentes urbanas, além de conservar o solo na zona rural, para alcançar suas metas sustentáveis.

Informações a respeito dos recursos hídricos locais são necessárias para que se tomem decisões bem sucedidas para o gerenciamento dos mesmos (BANCO MUNDIAL, 1998). A Política Nacional de Recursos Hídricos foi criada e o Plano Nacional de Recursos Hídricos traçado, portanto o presente momento é de busca de ferramentas e metodologias para implementar instrumentos da 9.433/97. Aproveitamos os dados publicados pela SEMA/MS sobre a qualidade da água da microbacia do córrego Saladeiro, para criar uma ferramenta facilitadora de gerenciamento desses recursos hídricos, a fim de monitorar mudanças de qualidade e auxiliar no processo de tomadas de decisões.

3.4 ÍNDICES DE QUALIDADE DE ÁGUA

O índice de qualidade de água (IQA) é um instrumento facilitador da transmissão pública de informações a respeito da qualidade dos recursos hídricos, além de mostrar possíveis tendências temporais dessa qualidade, e permitir comparar diversos cursos d'água (PORTO et al, 1991). Além disso, podem-se utilizar os IQAs para verificar obediência a legislação, alocação de fundos, prioridades de usos, comparação de condições ambientais em diferentes locais, avaliar degradação ou melhora na qualidade do corpo hídrico. Os mesmos

proporcionam agregar, resumir informações contidas em diversos parâmetros facilitando a interpretação.

Esses estão associados ao uso que se deseja de um corpo d'água e podem ser elaborados a partir da opinião de especialistas, utilizando-se índices biológicos ou através de métodos estatísticos. IQA de Prati, Horton, Sueco, NSF, Bascarán, Smith, Harkins, de Poluição Potencial, de Poluição do Rio, são alguns índices de qualidade de água utilizados no mundo e, geralmente, suas escalas de variação estão entre zero e 100, podendo crescer ou decrescer com a poluição da água (PIMENTEL, 2003b).

O Índice de Qualidade da Água modificado pela CETESB (IQA) é muito utilizado no Brasil com o objetivo de avaliar o curso d'água para fins de produção de água potável, ou seja, para abastecimento urbano e seu cálculo é feito conforme a equação (eq. 1):

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i}, \text{ sendo que } \sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (1)$$

Em que q_i é a “qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva curva média de variação qualidade em função de sua concentração ou medida”; w_i equivale ao peso correspondente do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, atribuído em função da sua importância para a conformação global da qualidade; e n é o número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

Os parâmetros de qualidade considerados pela CETESB no cálculo do IQA são temperatura; OD; DBO; pH; número mais provável de coliformes; nitrogênio total; fosfato total; turbidez e sólidos totais. Curvas médias de variação de qualidade das águas, parâmetro versus peso, foram desenvolvidas por 142 especialistas da National Science Foundation para o cálculo do IQA (fig. 3).

A classificação da qualidade da água (nota) é feita de forma que o resultado do IQA entre 0 e 9 indica que a mesma é imprópria (péssima), de 20 a 36 imprópria para tratamento convencional (ruim), de 37 a 51 aceitável, 52 a 79 boa e de 80 a 100 ótima (fig. 4).

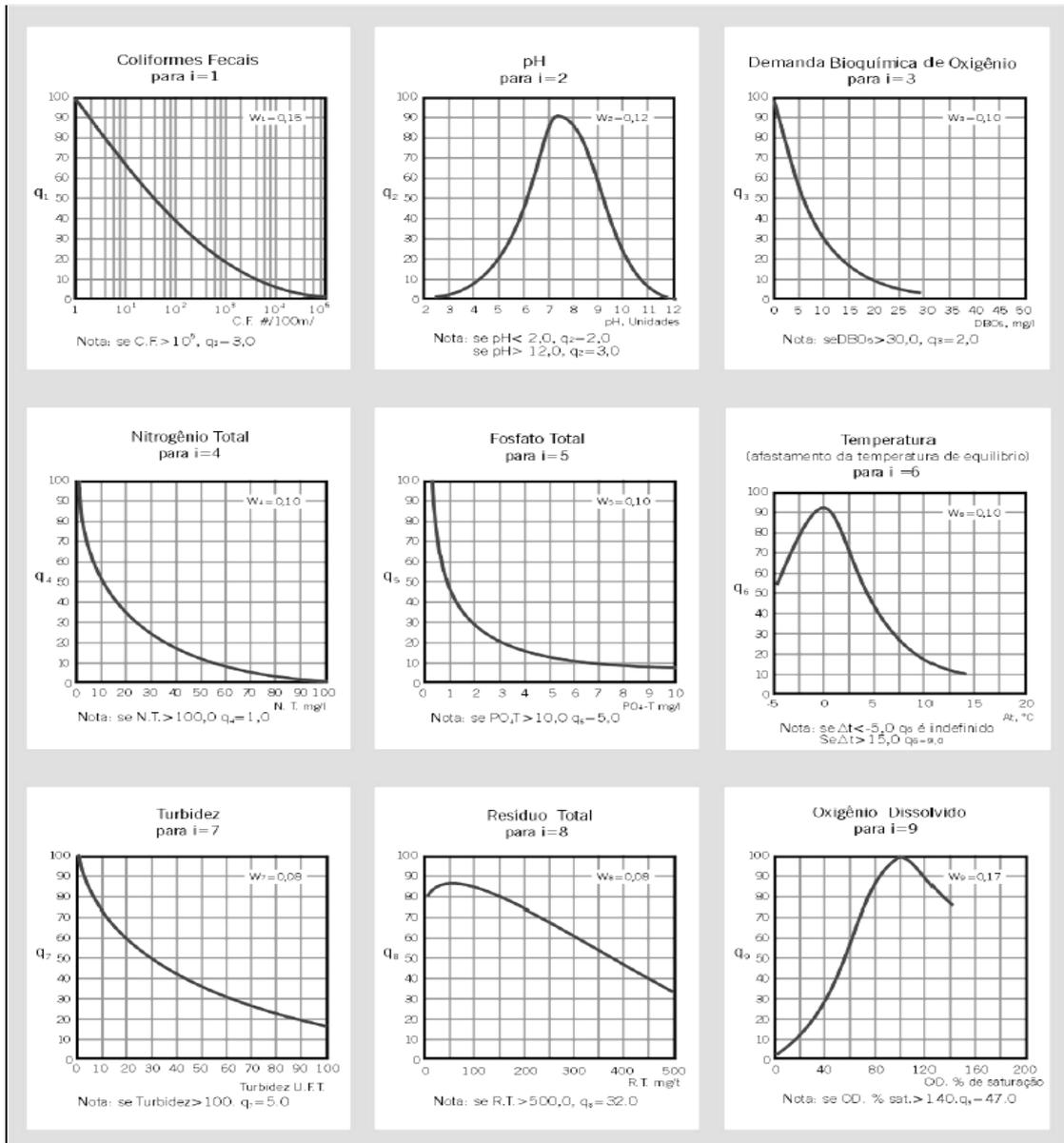


Figura 3 - Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas
 Fonte: MATO GROSSO DO SUL (2004).

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	$90 < IQA \leq 100$
Bom	$70 < IQA \leq 90$
Médio	$50 < IQA \leq 70$
Ruim	$25 < IQA \leq 50$
Muito Ruim	$0 \leq IQA \leq 25$

Figura 4 – Padronização das cores representativas/IQA
 Fonte: SEMAD (2005)

Conforme o Plano Nacional de Recursos Hídricos o Índice de Qualidade das Águas (IQA) é o principal indicador utilizado no país. A Companhia de Tecnologia de Saneamento

Ambiental (CETESB) de São Paulo utiliza, desde 1975, uma versão do IQA adaptada da versão original do National Sanitation Foundation, dos Estados Unidos. Após quase trinta anos outros Estados brasileiros adotaram esse índice para indicar a condição de seus corpos d'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).

MATO GROSSO DO SUL (2005) realizou estudo na bacia do Alto Paraguai utilizando o IQA adaptado pela CETESB. A aplicação do deste índice no córrego Bonito (fig. 5) para avaliar a variação espacial longitudinal de sua qualidade confirma o impacto da ação antrópica na qualidade da água observado no ponto BO2010, situado na área urbana da cidade de Bonito. Observando que BO2014 localiza-se na nascente do córrego Bonito; BO2010 no córrego Bonito a montante do córrego Restinga; BO2008 no córrego Bonito a montante do córrego Saladeiro; e BO2000 na foz do córrego Bonito com o rio Formoso.

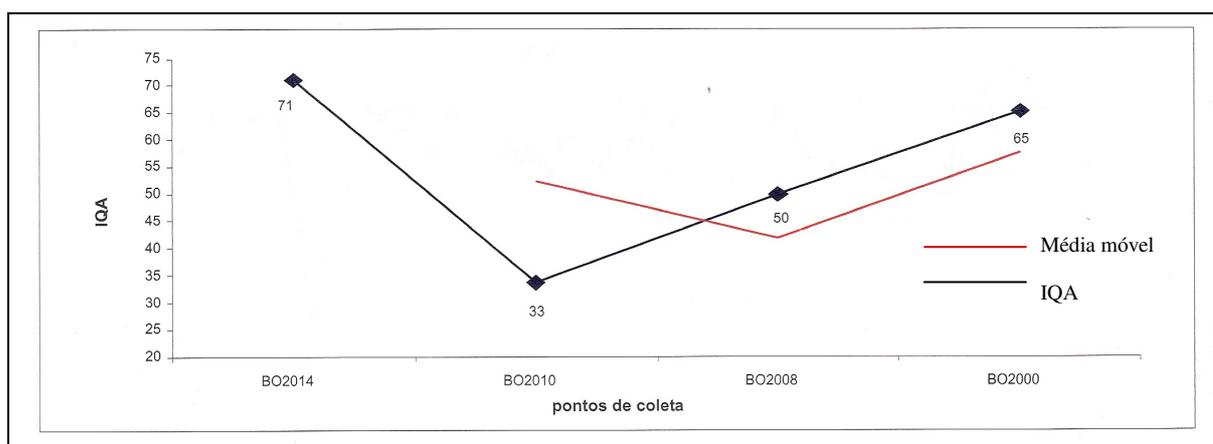


Figura 5 – Variação espacial longitudinal da qualidade da água do córrego Bonito, baseado no IQA médio, 1996-2004.

Fonte: MATO GROSSO DO SUL (2005)

O mesmo estudo de MATO GROSSO DO SUL (2005) analisou a variação espacial longitudinal e temporal média do córrego Bonito ao longo de seu percurso (fig. 6) e confirmou a alta variabilidade da qualidade da água espaço temporal. Verifica-se a piora da qualidade em todos os pontos do córrego Bonito, reforçando a necessidade de monitoramento freqüente para controlar a poluição evitando que também o córrego Formoso, conhecido mundialmente por suas águas cristalinas, seja poluído, visto que o Bonito é afluente do mesmo.

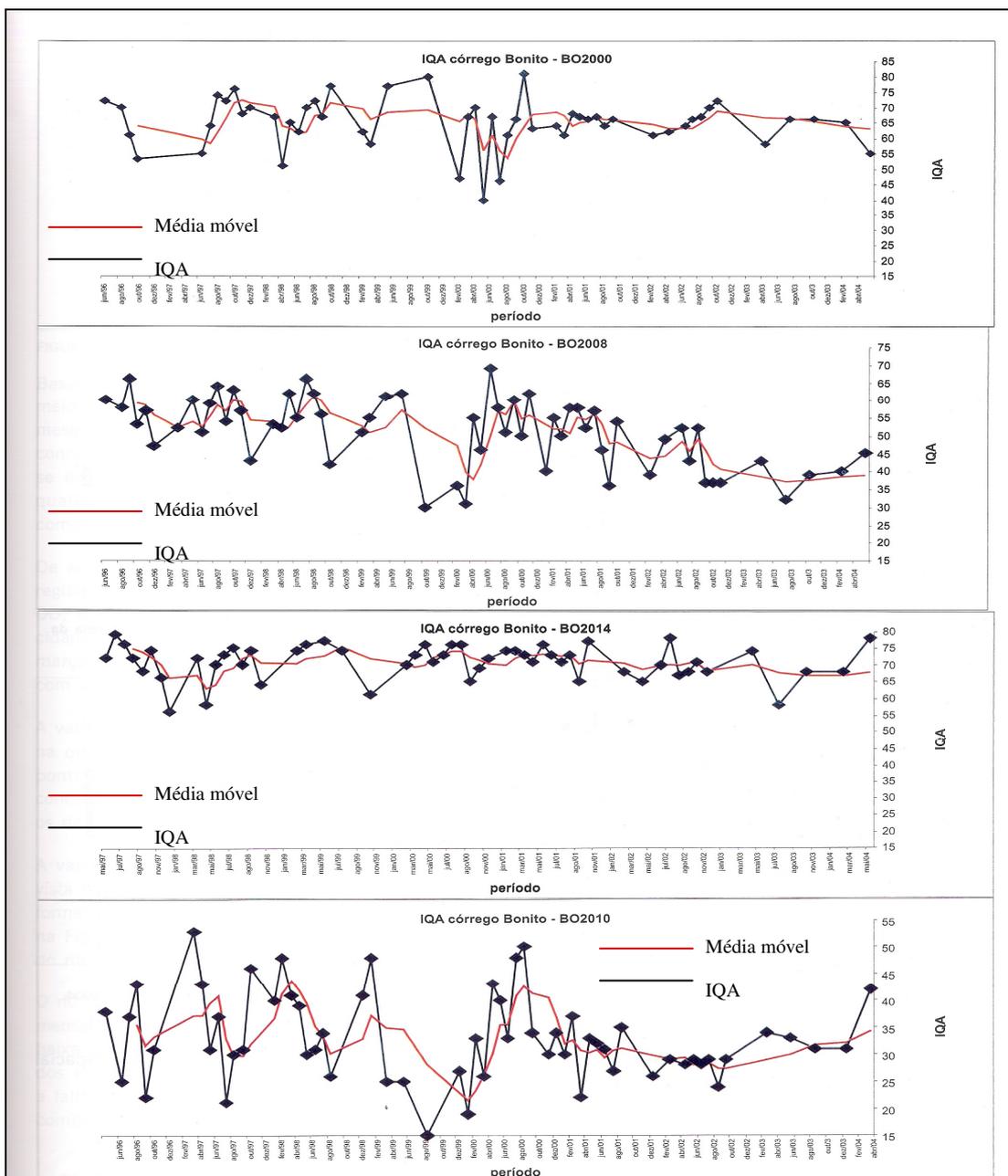


Figura 6 – Variação temporal e espacial longitudinal da qualidade da água do córrego Bonito e a tendência da qualidade medida pela média móvel.

Fonte: MATO GROSSO DO SUL (2005)

Os córregos Restinga e Saladeiro, os quais drenam o município de Bonito também, foram incluídos no estudo de MATO GROSSO DO SUL (2005) (RE2000 ponto de amostragem na foz do córrego Restinga com o córrego Bonito e SA2000 na foz do córrego Saladeiro com o córrego Bonito). A análise mostrou variabilidade de sua qualidade das águas e alguns meses de valores muito baixos do IQA (fig. 7), principalmente o Restinga, que recebe lançamentos clandestinos de água residuárias na área urbana do município de Bonito. O córrego Saladeiro apresentou piora a partir do final de 2001.

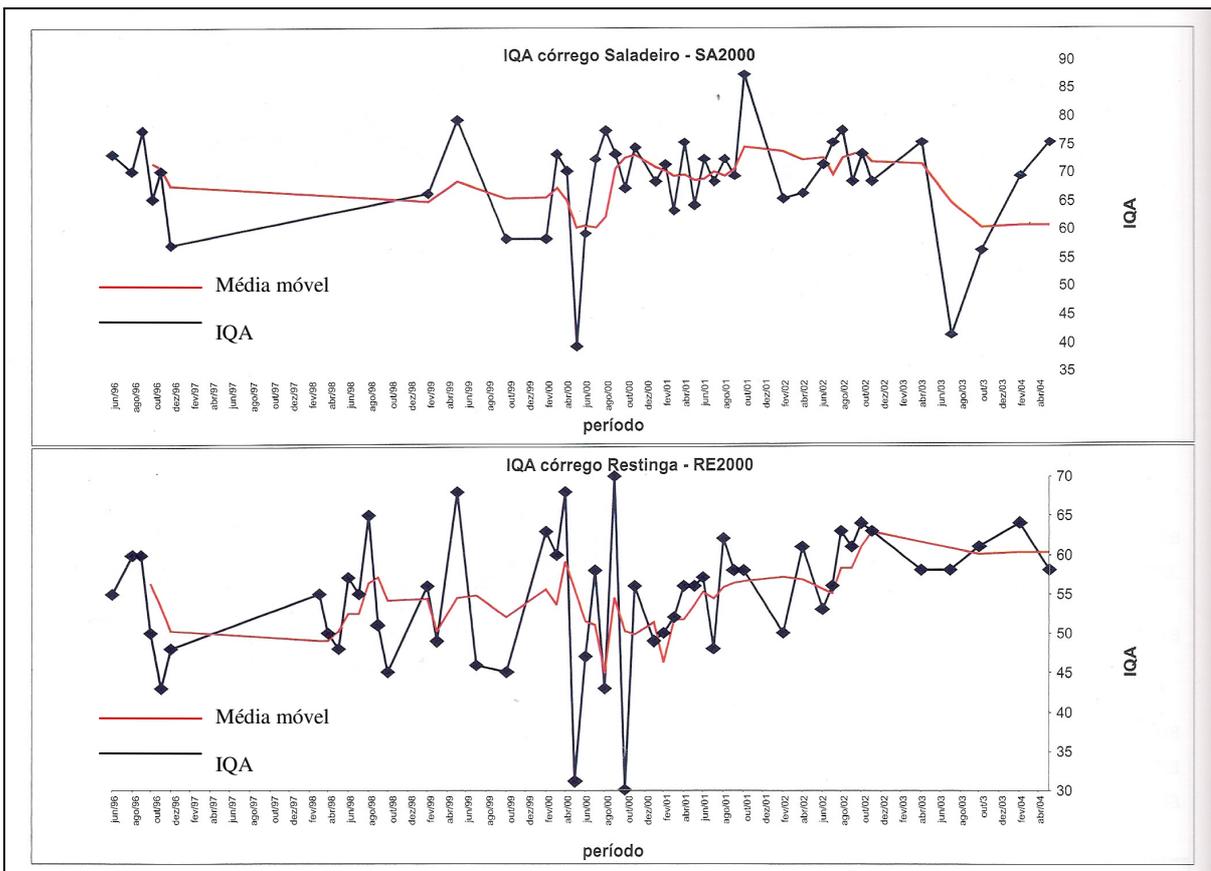


Figura 7 – Variação espacial longitudinal da qualidade da água dos córregos Saladeiro e Restinga e a tendência da qualidade medida pela média móvel.
 Fonte: MATO GROSSO DO SUL (2005)

Esse índice foi desenvolvido pela CETESB para avaliar a qualidade das águas, visando o abastecimento público como sua principal utilização e considerando aspectos relativos ao tratamento dessas águas. Os parâmetros de qualidade das águas que compõem o cálculo do IQA refletem, sobretudo, a contaminação dos corpos hídricos relacionada ao lançamento de esgotos domésticos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Desta maneira, a avaliação da qualidade da água utilizando-se do IQA adaptado pela CETESB apresenta limitações como considerar apenas sua utilização para o abastecimento público. Além disso, o IQA não analisa certos parâmetros importantes para o abastecimento público, tais como os compostos orgânicos com potencial mutagênico, as substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água, o potencial de formação de trihalometanos e a presença de parasitas patogênicos (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2006).

Outro índice muito utilizado é o Índice de Qualidade da Água de Smith (IS) (eq. 2) que é composto de dois ou mais Sub-Índices, em escala decrescente, diferentemente do produto ponderado do IQA adaptado pela CETESB.

$$IS = \min\{I_1, I_2, \dots, I_n\} \quad (2)$$

Onde IS é o valor do Índice de Smith; \min equivale ao menor valor entre os sub-índices encontrados e I_i são os valores dos sub-índices do IS .

O IQA Smith encontra o parâmetro que apresentar a pior qualidade, a pior situação. Sendo sua classificação de 79 a 100 qualidade ótima; de 51 a 79 qualidade boa; 36 a 51 qualidade regular; de 19 a 36 qualidade ruim 19 e menor que 19 qualidade péssima.

O Índice de Prati é baseado nos sistemas de classificação de águas superficiais de diversos países, apresentando uma escala de 0 a 14, da melhor para a pior qualidade. O índice pode ser calculado pela equação 3:

$$IQA_{PRATI} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i \quad (3)$$

Sendo IQA_{PRATI} = Índice de PRATI; n = número de parâmetros e I_i = sub-índice do i ésimo parâmetro. Os sub-índices são calculados conforme as equações da tabela 1 e classificados segundo a tabela 2:

Tabela 1 – Equações para cálculo dos sub-índices do Índice de PRATI.

<i>Parâmetro</i>	<i>Equações dos sub-índice PRATI</i>
Oxigênio Dissolvido	$I_i = - 0,08x + 8$
pH	$I_i = x^2 - 14x + 49$ (para $7 \leq x < 9$)
DBO	$I_i = 0,666667x$
Nitrogênio amoniacal	$I_i = 2^{[2,1 \log (10,x)]}$
Nitrogênio Nitrato	$I_i = 2^{[2,1 \log (0,25,x)]}$
Demanda Química de Oxigênio	$I_i = 0,1x$

x = concentração do parâmetro.

Tabela 2 – Classificação para o Índice de PRATI.

<i>Parâmetros</i>	<i>Excelent</i>	<i>Aceitável</i>	<i>Levemente poluído</i>	<i>Poluído</i>	<i>Muito Poluído</i>
Índice de Qualidade	1	2	4	8	> 8
Oxigênio Dissolvido (% sat.)	88 - 112	75 - 125	50 - 150	20 - 200	< 20 a > 200
pH	6,5 - 8	6 – 8,4	5 - 9	3,9 – 10,1	< 3,9 a > 10,1
DBO (mg de O ₂ .L ⁻¹)	1,5	3	6	12	> 12
Nitrogênio Amoniacal (mg de NH ₃ .L ⁻¹)	0,1	0,3	0,9	2,7	> 2,7
Nitrogênio Nitrato (mg de NO ₃ ⁻ .L ⁻¹)	4	12	36	108	> 108
DQO (mg de O ₂ .L ⁻¹)	10	20	40	80	> 80

DIAS et al (2004) avaliaram a qualidade da água do rio Formoso no Balneário Municipal, na Ilha do Padre e na foz utilizando comparação entre IQA_{PRATI} e IQA_{CETESB}. Enquanto o IQA_{CETESB} classificou a água como ótima e boa, o IQA_{PRATI} resultou em aceitável. Os autores chegaram a conclusão da necessidade de se utilizar mais de um índice na avaliação da qualidade de corpos hídricos para evidenciar a poluição média existente.

A aplicação de muitos desses índices pode ser dificultada devido aos parâmetros exigidos em seus cálculos, além de terem sido elaborados às condições do hemisfério norte. Os índices construídos através de métodos estatísticos são mais flexíveis, proporcionando a adequação dos parâmetros existentes ao mesmo.

Nas últimas décadas o Chile tem um crescente interesse pelo monitoramento de suas águas devido ao aparecimento de problemas ambientais causados pelo crescimento econômico desordenado e uso excessivo da água afetando sua qualidade e disponibilidade (DEBELS et al, 2005). DEBELS et al (2005) avaliaram a qualidade da água da bacia do rio Chillán, que é utilizado para abastecimento urbano, recebe efluentes sem prévio tratamento e drena uma importante bacia agrícola, onde consideráveis quantidades de suas águas são retiradas para a irrigação.

Foram amostrados oito pontos no rio Chillán e 10 pontos em seus tributários. Os dados coletados durante o intervalo de aproximadamente um ano (Janeiro-Novembro 2000) foram submetidos à análise das componentes principais a fim de serem escolhidos parâmetros para compor um índice de qualidade de água para a bacia do rio Chillán. A equação (eq. 4) aplicada para o cálculo do índice foi:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (4)$$

Em que n representa o número do parâmetro; C_i o valor do parâmetro i após a normalização, e P_i é o peso do parâmetro (um indicador de sua importância do uso da água para a vida aquática/humana, fig. 8). Na equação a cima o WQI foi calculado através da soma dos diferentes *scores* dos subíndices (DEBELS et al, 2005).

Variável	Peso Relativo (P_i)	Fator de normalização										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
OD (mg L ⁻¹)	0.18	≥7.5	>7.0	>6.5	>6.0	>5.0	>4.0	>3.5	>3.0	>2.0	≥1.0	<1.0
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	0.17	<0.5	<2.0	<3.0	<4.0	<5.0	<6.0	<8.0	<10.0	<12.0	≤15.0	>15.0
Amônia (mgN L ⁻¹)	0.13	<0.010	<0.025	<0.050	<0.100	<0.200	<0.300	<0.500	<0.750	<1.000	≤1.250	>1.250
Nitratos (mgNO ₃ L ⁻¹)	0.07	<0.5	<2.0	<4.0	<6.0	<8.0	<10.0	<15.0	<20.0	<40.0	≤70.0	>70.0
Nitritos (mgNO ₂ L ⁻¹)	0.07	<0.005	<0.008	<0.010	<0.040	<0.075	<0.100	<0.150	<0.200	<0.250	≤0.500	>0.500
Ortofosfato (mgP L ⁻¹)	0.12	<0.025	<0.050	<0.100	<0.200	<0.300	<0.500	<0.750	<1.000	<1.500	≤2.000	>2.000
Temperatura (°C)	0.10	<20.0	<21.0	<22.0	<24.0	<26.0	<28.0	<30.0	<32.0	<36.0	≤40.0	>40.0
pH	0.10	7.0	6.9-7.5	6.7-7.8	6.5-8.3	6.2-8.7	5.8-9.0	5.5-9.5	5.0-10.0	4.5-10.5	4.0-11.5	<4.0; >11.5
Condutividade (µScm ⁻¹)	0.06	<600	<700	<850	<1000	<1250	<1500	<2000	<2500	<3000	≤3500	>3500
DQO (mgN L ⁻¹)	0.17	<1.2	<5.0	<7.5	<10.0	<12.5	<15.0	<20.0	<25.0	<30.0	≤40.0	>40.0

Figura 8 – Variáveis usadas no cálculo do WQI , *scores* de normalização e relativos pesos. Fonte: DEBELS et al, (2005).

Valores de WQI entre 100 e 80% foram considerados como tendo qualidade muito boa e seguindo o intervalo de 20% classificou-se como razoavelmente boa; deteriorada; ruim e muito ruim (DEBELS et al, 2005). A maioria dos pontos mostrou WQI a cima de 80% e os poucos (três do total de 17) que apresentaram valores abaixo deste sofrem influência de descargas de efluentes municipais.

Segundo TOLEDO & NICOLELLA (2002) a avaliação da qualidade da água em microbacias sob diferentes usos pode ser feita pelo uso de técnicas estatísticas multivariadas. Cada corpo hídrico possui características próprias, o que torna difícil estabelecer um único índice geral que explique a qualidade de qualquer sistema hídrico.

“Varias técnicas para elaboração de índice de qualidade de água têm sido usadas, sendo a mais empregada àquela desenvolvida pela National Sanitation Foundation Institution e usada em países como EUA, Brasil, Inglaterra (OLIVEIRA, 1993; OREA, 1998 apud TOLEDO, 2002). Outros índices foram desenvolvidos baseados

em características físico-químicas da água, como o de Liebmann, Harkins; além de índices baseados em características biológicas, comumente associados ao estado trófico dos rios. Todos estes índices contemplam um grau de subjetividade, pois dependem da escolha das variáveis que constituirão os indicadores principais das alterações da qualidade de água. Índices baseados em técnicas estatísticas favorecem a determinação dos indicadores mais característicos do corpo de água em estudo, embora não permitam generalizações para todos os corpos de água, já que cada sistema hídrico, em princípio, possui sua característica peculiar (HAASE et al., 1989 apud TOLEDO, 2002)” (TOLEDO & NICOLELLA, 2002).

A análise fatorial, método da análise das componentes principais, demonstra os parâmetros que têm maior influência na variação da qualidade da água, reduzindo a quantidade de dados originais, facilitando a interpretação dos mesmos de uma maneira global. O fator poder ser representado posteriormente pelo escore fatorial, uma medida criada para cada observação sobre cada fator extraído na análise fatorial. Essa medida composta utiliza os pesos fatoriais em conjunção com os valores da variável original, resultando no escore de cada observação (HAIR, 2005). Esta metodologia está sendo utilizada em diversos lugares do mundo para auxiliar na gestão dos recursos hídricos.

TOLEDO & NICOLELLA (2002) aplicaram a análise fatorial em uma amostra de dados coletada entre os anos de 1995 e 1996, para criar um índice de qualidade de água para a microbacia do ribeirão Jardim no município de Guairá, SP. Os resultados demonstraram uma diferença entre os índices nos pontos de amostragem antes e depois do município de Guairá. Dentre os dez parâmetros analisados oxigênio dissolvido, fósforo, amônia e condutividade foram os que mais contribuíram para a construção do índice. E o primeiro fator, que explicou 47% da variância total dos dados, foi escolhido para a construção do índice de qualidade de água da bacia.

As variáveis medidas no estudo de TOLEDO & NICOLELLA (2002) foram fósforo total, amônia, nitrato, turbidez, sólidos totais em suspensão, fósforo dissolvido, oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, clorofila. O índice de qualidade de água, sendo Z as variáveis padronizadas descritas respectivamente anteriormente, é representado pela equação (eq. 5):

$$IQA = F = 0,152Z_1 + 0,166Z_2 + 0,181Z_3 + 0,169Z_4 + 0,157Z_5 - 0,077Z_6 - 0,322Z_7 + 0,031Z_8 + 0,081Z_9 + 0,057Z_{10} \quad (5)$$

Um índice de qualidade da água tem grande utilidade para ações de planejamento, estabelecimento de medidas corretivas que possam recuperar a qualidade do curso d'água (PORTO et al, 1991). Entretanto, não substitui a análise dos parâmetros individualmente em estudos mais detalhados.

Segundo PORTO et al (1991), o índice de qualidade d'água pode ser estabelecido escolhendo-se, inicialmente, o uso do corpo d'água a ser representado, então os parâmetros que afetam a utilização estabelecida são escolhidos, depois relaciona-se a intensidade do parâmetro com a qualidade da água e finalmente uma ordem de importância entre os parâmetros através de um sistema de pesos é considerada.

Os diversos indicadores recentemente utilizados para avaliar as condições da água, sua disponibilidade e papel no desenvolvimento mostram a necessidade de mudança nas formas de planejar e gerenciar os corpos d'água, caso contrário haverá enorme pressão sobre o futuro da humanidade e todo o planeta (DUARTE NETO, 2005).

3.5 ANÁLISE FATORIAL

A técnica de análise fatorial é uma das técnicas de análise multivariada, permite que um grande número de variáveis correlacionadas entre si sejam agrupadas em fatores não correlacionados, ou seja, condensar a informação contida nas diversas variáveis originais em um pequeno grupo de novas dimensões ou fatores com o mínimo de perda de informação (HAIR et al, 2005).

A análise das componentes principais, uma das técnicas de ordenação dentro da análise multivariada, foi desenvolvida por K. Pearson em 1901 e por H. Hotelling, independentemente, em 1933, sendo um dos métodos mais utilizados até os dias atuais (BINI, 2004).

A análise fatorial é uma técnica estatística na qual as variáveis estudadas não são divididas em dependentes e independentes, pois é uma técnica de interdependência em que as variáveis são analisadas como um único conjunto (HAIR, 2005).

Os fatores, vetores ou componentes principais são obtidos utilizando-se do método das componentes principais.

“A análise de componentes principais consiste essencialmente em reescrever as coordenadas das amostras em outro sistema de eixo mais conveniente para a análise dos dados. Em outras palavras, as n-variáveis originais geram, através de suas combinações lineares, n-componentes principais, cuja principal característica, além da ortogonalidade, é que são obtidos em ordem decrescente de máxima variância, ou seja, a componente principal 1 detém mais informação estatística que a componente principal 2, que por sua vez tem mais informação estatística que a componente principal 3 e assim por diante” (MOITA & MOITA, 1998).

A primeira componente principal detém a parte comum mais importante dentre as variáveis, é o fator que melhor resume a relação linear exibido pelos dados originais, a segunda componente é independente da primeira e contém a variância residual que não foi incluída no primeiro fator, assim sucessivamente acontece com os demais eixos (RODRIGUES & RODRIGUEZ, 2003).

Duas componentes principais explicaram a maior parte da variabilidade dos dados no estudo de PETERSON et al (2001) que submeteu a análise estatística multivariada as series temporais (1993 a 1995) de concentração de nutrientes e outros parâmetros de qualidade de água coletados ao longo do rio Elbe na Alemanha. A análise fatorial resultou em duas componentes fatoriais para explicar 59% da variabilidade dos dados, sendo a primeira relacionada com o meio biológico (39%) e a segunda com a vazão (20%)

A pesquisa de HAASE et al (2003) determinaram três componentes principais que resumiram os dados com 27,2; 18,8 e 16,6% da variância total e através dessas foram originadas três IQAs. O primeiro evidenciou a influência marinha por ter as variáveis pH, condutividade e cloretos como de maior influência. O segundo fator apresentou alta variabilidade dos escores em torno da média evidenciando apenas aspectos temporais, e expressou a forte associação inversa que ocorre entre temperatura e OD. O terceiro fator destacou as variáveis nitrogênio amoniacal e fosfato total, assim foi considerado como o mais relevante para a identificação de áreas poluídas nesse estudo.

PIMENTEL (2003a) utilizou o método da análise de componentes principais para reduzir seus dados originais, as medidas dos parâmetros pH, cloreto, condutividade, OD, temperatura e DBO, do rio Ipojuca, localizado no estado do Pernambuco. A primeira componente principal (PC1) explicou 44,5% das informações e a segunda (PC2) 28,5%. Em PC1 pH, cloreto, condutividade, OD possuem pesos positivos e temperatura e DBO possuem pesos negativos. E a única variável com peso negativo em PC2 foi OD refletindo o contraste entre OD e DBO.

Os fatores correlacionam-se com as variáveis originais e essa relação é representada por cargas fatoriais. E as cargas fatoriais ao quadrado resultam qual percentual de variância em uma variável original é explicada por um fator (HAIR, 2005).

LAUREANO & NÁVAR (2002) analisaram concentração de metais pesados (Al, Sb, Ba, B, Cd, Cu, Cr, Sn, Fe, Li, Mg, Mn, Ni, Ag e Zn) e parâmetros físicos-químicos (alcalinidade, cloreto, sulfato, dureza total, fosfato, nitrato, OD, pH, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, sólidos totais, cor, condutividade e turbidez), além da vazão do rio San Juan localizado na divisa do México com os Estados Unidos que é essencial para o desenvolvimento do nordeste mexicano e sua qualidade está sendo rapidamente degradada devido à poluição agrícola, urbana e industrial. A bacia hidrográfica do rio San Juan é considerada a terceira mais poluída do país.

Após a análise das componentes principais observou-se a separação dos pontos de amostragem em dois grupos, os que apresentaram maiores cargas fatoriais em F1 representam fontes pontuais de poluição e as maiores cargas fatoriais em F2 relacionam-se com os locais onde existem fontes não pontuais de poluição (LAUREANO & NÁVAR, 2002). LAUREANO & NÁVAR (2002) aplicaram também a análise das componentes principais para a análise temporal do fluxo de massa dos metais pesados e o resultado foi a divisão das amostras entre os períodos de seca e cheia.

Os fatores principais, também chamados de variável estatística, representam combinações lineares das variáveis originais, resumindo ou explicando as variáveis originais. E o índice de qualidade de água pode ser o fator principal que explica a maior variância dos dados ou os primeiros fatores principais que expliquem as maiores variâncias (HAIR, 2005).

RODRIGUES & RODRIGUEZ (2003), testaram o uso da análise fatorial na criação de um índice de qualidade para representar o grau de poluição de metais pesados no sedimento da bacia do rio Caí, Rio Grande do Sul. As variáveis iniciais foram substituídas por três componentes principais, que preservaram a maior quantidade de informações contidas nas variáveis originais, aproximadamente 67% da variância total. O índice encontrado possui média zero e variância um, sendo esperado que 99% dos valores calculados fiquem entre -3 e +3. Valores extremos demonstram qualidade ruim.

Em RODRIGUES & RODRIGUEZ (2003) os fatores (componentes principais) foram associados a fontes de poluição por metais pesados, sendo que o primeiro fator indica a contribuição natural de rochas basálticas e o segundo indica a contribuição das indústrias metalúrgica, de galvanoplastia e têxtil, além de compostos de cobre utilizados na viticultura e o terceiro a poluição por curtumes.

A utilização da análise fatorial para a construção de índices é flexível na escolha dos parâmetros e possibilita adequação de dados existentes, ou seja, há a possibilidade do mesmo ser composto por qualquer parâmetro de qualidade de água.

HAASE et al (2003) selecionaram apenas variáveis temperatura, OD, pH, condutividade, cloreto, DBO, fósforo total e nitrogênio amoniacal, pois eram os parâmetros que possuíam um número mínimo de dados perdidos em sua pesquisa. Estudaram a qualidade das águas superficiais do litoral norte e médio do Rio Grande do Sul e construíram índices de qualidade da água com o objetivo de subsidiar decisões e ações de gerenciamento ambiental, auxiliando comitês de bacia a enquadrar os corpos hídricos e definir planos de bacia.

Os usos das águas superficiais do litoral norte e médio do Rio Grande do Sul são irrigação, balneabilidade, abastecimento público e, principalmente, nas proximidades das áreas urbanas, diluição de esgotos domésticos e industriais. Os resultados foram descritos graficamente com categorização cromática dos índices, classificando os locais de coleta e facilitando a interpretação do público.

A análise fatorial também pode auxiliar na otimização do plano do monitoramento como a questão de redução na frequência de amostragem nas estações de coleta que foi analisada nos estudos de PIMENTEL (2003a) e os resultados obtidos com a análise de dados

coletados mensalmente e bimestralmente foram muito semelhantes, o que mostra a possibilidade da implementação da política de amostragem reduzida em futuros monitoramentos. No entanto é necessário observar questões logísticas e outros parâmetros de interesse ambiental que não possam ser excluídos.

O uso da técnica da análise fatorial no auxílio da gestão dos recursos hídricos pode ser observada em vários outros trabalhos como os de TOLEDO et al (2002), OUARDA et al (2004), BRITO et al (2006), e BOYACIOGLU (2006).

TOLEDO et al (2002) avaliaram o possível impacto da cultura do arroz irrigado sobre a qualidade das águas do Rio Camboriú (Camboriú/SC), única fonte de abastecimento de água do município, através do estabelecimento de um índice de qualidade de água (IQA) por análise multivariada. O monitoramento foi realizado de agosto de 1999 a março de 2001 e as variáveis medidas foram oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, nitrato, amônia, nitrito, ferro total, fósforo total e dissolvido, turbidez, pH, coliformes fecais e totais, dureza, alcalinidade, cálcio, magnésio e temperatura.

O cálculo do IQA foi mais influenciado por nitrito, turbidez, fósforo dissolvido e nitrato, respectivamente. O índice mostrou uma degradação da qualidade da água no sentido cabeceira-foz, e a diferença dentre os valores da região de lavoura e foz não foram significativos levando a conclusão de que o impacto a cultura de arroz não é maior do que a soma das outras atividades que também influenciam na qualidade da água da bacia estudada por TOLEDO et al (2002).

OUARDA et al (2004) estudaram a bacia hidrográfica do rio Richibucto. 36 pontos da bacia foram analisados, incluindo seu estuário, durante o período de 1996 a 2001, sendo amostrados de 1 a 26 vezes na época que suas águas não estão congeladas. Através da análise da condutividade específica 15 estações foram classificadas como de água doce e o restante como de água salina. Todas os pontos de amostragem apresentaram OD acima do padrão nacional estabelecido, 5,5 mg/L.

A primeira análise fatorial dos dados de todas as estações mostrou altas cargas fatoriais em F1 para vazão e condutividade específica. Esse resultado levou a decisão de dividir os dados em dois subgrupos, água doce e água salina. Apenas oito parâmetros

(carbono total, pH, nitrogênio total, condutividade, OD, nitrato, fósforo total e vazão diária) foram analisados no subgrupo água doce devido as falhas nos dados, pois a análise fatorial exige uma matriz de dados completa (OUARDA et al, 2004).

A primeira componente principal (PC1) para água doce associou-se com carbono total e pH e a segunda componente (PC2) com nitrato e fósforo. A análise para a água estuariana resultou em fósforo, nitrito e nitrato altamente correlacionado com PC1 e o OD mostrou uma carga positiva relativamente alta para a mesma componente. PC2 pode relatar a interface água doce/água salina devido a alta carga (0,9) da condutividade específica (OUARDA et al, 2004).

O trabalho de OUARDA et al (2004) mostrou que a alta concentração de nutrientes e a salinidade da água variam com o fluxo e com o curso sendo importantes fatores que determinam a variação da qualidade da água do rio Richibucto. Isto determina que os parâmetros de qualidade de água que explicaram a maior variância pela análise de componentes principais precisam ser monitorados com mais atenção, pois são elementos chave para entender a variabilidade da qualidade da bacia hidrográfica do rio Richibucto.

A análise de cluster aplicada mostrou que a altas concentrações de fósforo e nitrato são encontradas nas áreas onde se encontram a vegetação de turfa, tributários que recebem efluentes de tratamentos municipais e zonas lânticas. Águas margeadas por áreas de turfa também mostraram acidez (OUARDA et al, 2004).

BRITO et al (2006) utilizaram a análise multivariada para classificar os rios da Bacia do rio Salitre (norte da Bahia) conforme suas características após identificar as variáveis de maior influência para a qualidade da água. O principal uso do solo da bacia é a agricultura e conseqüente uso da água para irrigação. Foram avaliados rio/riachos (ambiente lótico) e barragens/açudes (ambiente lântico).

O ambiente lântico apresentou três componentes relacionados a salinidade (Na, SDT, Ca, Cl, CE), alcalinidade (SO_4 , Mg, DT – dureza total, HCO_3 , T para época chuvosa e HCO_3 , T para época seca), e nutricional (OD, relação adsorção de sódio, Fe em época de chuva e K na seca) explicando aproximadamente 80% da variância total (BRITO et al, 2006) .

O ambiente lótico também apresentou três componentes com aproximadamente a mesma porcentagem de variância. No período da chuva a primeira componente relaciona com a salinidade (Cl, Na, SO₄) e na seca as variáveis de maior influência foram DT e HCO₃. A segunda componente agregou HCO₃, DT, Mg, CO₃, Ca e Fe) com influência negativa e Na, RAS (Relação de Adsorção de Sódio) e Cl em ambos os períodos, seca e chuva. A terceira componente para o período de chuvas é formada por T, pH e OD, sendo OD negativo e OD, T e NH₄ para o período sem chuvas (BRITO et al, 2006).

A análise fatorial aplicada a bacia do rio Salitre por BRITO et al (2006) priorizaram as variáveis relacionadas a salinidade, então foi concluído que as ações da gestão na bacia devem ser direcionadas a redução da concentração de íons de sais, aumentando a disponibilidade da água na região.

Na bacia do rio Buyuk Menderes, Turquia, após estudo aplicando a análise fatorial observou-se que a qualidade da água dos corpos hídricos sofrem influencia da agricultura na época do baixo fluxo (verão) e da urbanização na época do alto fluxo (inverno) (BOYACIOGLU, 2006).

A análise no período do baixo fluxo resultou em três fatores principais explicando 85,88% da variância dos dados. Sendo o primeiro caracterizando a influencia da agricultura devido à alta correlação com Mg⁺², Ca⁺², SO₄⁻². O período do alto fluxo teve relação positiva com os efeitos da diluição da água superficial pela chuva, por outro lado o escoamento superficial aumenta a concentração de poluentes diminuindo a qualidade desta água. Três fatores explicaram 81,33% da variância na época da chuva, sendo F1 influenciado por K⁺, Na⁺, sólidos dissolvidos totais e condutividade específica. BOYACIOGLU (2006) supôs que este fator estava relacionado com a influência do uso do solo urbano.

O autor concluiu que o trabalho aplicando a análise fatorial na bacia do rio Buyuk Menderes guiará a seleção de medidas preventivas no manejo adequado da água superficial da bacia (BOYACIOGLU, 2006).

A análise fatorial pode ser incrementada com outras técnicas para melhorar seu uso na gestão de bacias hidrográficas como foi feito por WARNER et al (2003) que utilizou também a análise de cluster e análise discriminante.

WARNER et al (2003) estudaram quinze bacias hidrográficas de Porto Rico. Utilizou a análise multivariada para prever a qualidade da água das bacias para condições não monitoradas, devido limitações econômicas, baseando-se em suas características físicas. Poucas bacias são monitoradas na ilha e seu monitoramento é orientado para determinação de concentração de poluentes e suas possíveis fontes.

O sistema de informações geográficas (SIG) e o sensoriamento remoto foram as ferramentas utilizadas por WARNER et al (2003) para descrever hidrologia, geologia, geomorfologia, clima, vegetação, e cobertura vegetal. 15 constituintes químicos juntamente com a temperatura foram utilizados como indicadores da qualidade da água. A análise fatorial resultou em seis fatores que explicaram 77,2% da variância das 15 variáveis.

F1 foi influenciado por condutividade, alcalinidade, dureza, cálcio e magnésio, sendo relacionado com a contribuição iônica para o fluxo. F2 mostrou associação com a situação de urbanização devido à influência do cloreto, sódio e sulfeto. F3 representou a presença de nutrientes já que as maiores cargas estavam ligadas a nitrogênio total, nitrato, nitrito e fósforo. Apenas a sílica apareceu em F4 associada com o intemperismo geológico. F5 descreveu condições de oxido redução na água porque incluiu pH e OD. Finalmente F6 incluiu a vazão (WARNER et al, 2003).

As bacias hidrográficas foram agrupadas utilizando-se a análise de cluster, sendo aplicada nos constituintes selecionados na análise fatorial. Cinco grupos de bacia foram encontrados, bacia com florestas densas e formação geológica plutônicas; com longas histórias de contaminação; presença de formação geológica calcária; florestas densas; e uma bacia ficou sozinha devido a similaridade tanto com a bacia de floresta densa com formação geológica plutônica quanto de formação calcária (WARNER et al, 2003). E através da análise discriminante WARNER et al (2003) calcularam equações para os grupos de bacias, mas somente três foram significantes.

4. METODOLOGIA

A técnica de aplicação da análise multivariada, método das componentes principais foi escolhida para a análise da qualidade da água da bacia do córrego Saladeiro e conseqüente formulação de um índice da qualidade de suas águas devido a sua constante aplicação em vários locais do mundo obtendo-se bons resultados nos diversos estudos publicados, como descrito anteriormente.

O método da análise das componentes principais possui a vantagem de não exigir nenhuma suposição de distribuição estatística (MARTINS, 2001) (normal, log-normal, gama, gumbell, weibull, etc), além da flexibilidade da utilização de parâmetros de qualidade da água já utilizados no monitoramento local para a construção do índice e da mesma forma os indicadores serão mais característicos da área em estudo.

Selecionou-se a bacia do córrego Saladeiro para o presente estudo porque a mesma está localizada em um importante município do estado do MS, Bonito, que mostra um alto potencial turístico e enorme diversidade biológica, além de ser considerado apoio para o Pantanal do Nabileque e a porta de entrada para os países vizinhos Paraguai e Bolívia.

O córrego Bonito será o mais enfatizado, pois o mesmo apresenta grande parte de suas margens urbanizadas e possui maior número de dados coletados. A qualidade das águas do córrego Bonito sofre alterações significativas devido ao lançamento de esgotos domésticos e águas residuárias de empreendimentos econômicos situados na área de drenagem (MATO GROSSO DO SUL, 2005).

O córrego Bonito é um dos principais afluentes do rio Formoso, o qual faz parte da sub-bacia do rio Miranda, que por sua vez é uma dos componentes da bacia do rio Paraguai. Os usos do solo predominantes na microbacia do córrego Saladeiro são pecuária, urbanização, lavoura de soja, mineração, recreação e prática do ecoturismo, além da existência de vegetação nativa.

Os dados analisados foram retirados dos Relatórios de Qualidade das Águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai, publicados entre 1996 e 2004 pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Mato Grosso do Sul (SEMA), através do Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai. A SEMA realizou coletas em quatro pontos no córrego Bonito, um no córrego Restinga e um no córrego Saladeiro, sendo BO2014 na nascente do córrego Bonito; BO2010 no córrego Bonito a montante do córrego Restinga; BO2008 no córrego Bonito a montante do córrego Saladeiro; BO2000 na foz do córrego Bonito com o rio Formoso; RE2000 na foz do córrego Restinga com o córrego Bonito e SA2000 na foz do córrego Saladeiro com o córrego Bonito (fig. 9).

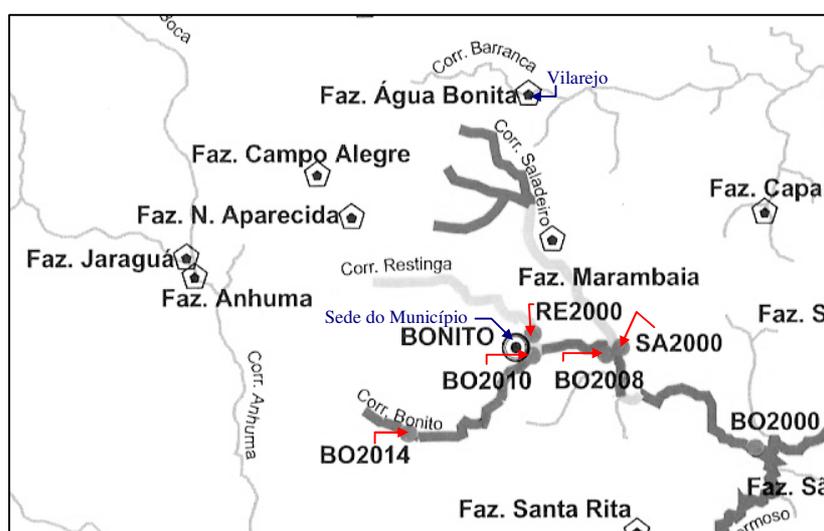


Figura 9 – Pontos de amostragem na bacia do córrego Saladeiro, Bonito/MS.
Fonte: MATO GROSSO DO SUL (2003).

Os parâmetros de qualidade da água analisados no referido projeto foram temperatura da água, temperatura do ar, pH, OD, DBO, coliformes fecais, nitrogênio total, fosfato total, resíduo total, turbidez, condutividade específica, DQO, ortofosfato, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, nitrogênio total Kjeldahl, resíduo fixo, resíduo volátil e sólidos dissolvidos totais. O parâmetro temperatura do ar não foi incluído na análise por opção de serem inseridos apenas parâmetros relacionados diretamente a água.

As amostragens da SEMA não tiveram regularidades quanto aos meses do ano em que foram coletadas as amostras, pois houveram anos com coletas em apenas dois meses e outros em dez meses. Entretanto, existiu regularidade quanto às estações de seca e cheia. Portanto foi

decidido em obter médias dos determinados períodos, para maior organização dos dados, facilitando os cálculos e a interpretação.

Após a organização do banco de dados foi aplicada a estatística descritiva em todos os parâmetros seguida da análise fatorial, técnica escolhida para analisar os dados com o objetivo de reduzi-los e observar tendências espaço temporais. O estudo foi realizado no pacote computacional SPSS 13.0 *for Windows*, o mesmo utilizado no estudo de FEPAM (2005).

O primeiro passo da análise fatorial é a construção da matriz de correlação de Pearson, a qual possui o objetivo de eliminar o efeito das diferenças entre unidades de medidas das variáveis originais (BINI, 2004). A partir da matriz de correlação podem ser observadas as variáveis mais significativas na avaliação da qualidade da água, pois aquelas que possuem maiores valores de coeficiente de correlação com o maior número de variáveis são as mais expressivas na determinação do índice.

Por exemplo, no estudo realizado por HAASE et al (2003) a matriz de Pearson mostrou dois grupos de variáveis bem correlacionadas, que sugerem influência marinha (condutividade, cloretos e pH) e contribuição de despejos de natureza orgânica (fosfato e amônia), possivelmente de origem urbana e agrícola.

O próximo passo da análise fatorial é a aplicação dos testes KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) e de esfericidade de Bartlett que mostram se os dados serão adequados a análise ou não. A medida de adequância da amostra KMO é a estatística que indica a proporção de variância das variáveis que é variância comum, ou seja, que podem ser explicadas pelos fatores principais. Valores altos (maiores que 1,0) geralmente indicam que a análise fatorial pode ser aplicável aos dados, no entanto se forem menores que 0,5 a análise não será aplicável.

O teste estatístico de esfericidade de Bartlett indica se a matriz de correlação é uma matriz identidade, em caso positivo mostra que suas variáveis são desassociadas, ou seja, não apresentam qualquer relação e a análise fatorial não pode ser aplicada. O nível de significância dá o resultado do teste, sendo que valores muito pequenos (menores que 0,05) indicam relações significantes entre as variáveis e valores maiores que 0,10 mostram que a relação entre as variáveis é insignificante (SPSS Inc., 2004).

Os testes de Bartlett e KMO aparecem juntos, em uma mesma tabela, no *output* do programa estatístico SPSS 13.0 *for Windows*.

E em seguida são obtidos os autovetores e autovalores da matriz de correlação. BINI (2004) explica que os autovetores fornecem coeficientes para serem utilizados na construção de equações lineares dos dados originais, e tais combinações lineares são chamadas de componentes principais. O autovalor indica a importância de cada componente principal ou fator encontrado. Observa-se que a análise das componentes principais é o método utilizado para a extração dos fatores.

A escolha das componentes principais que representarão os dados originais da melhor forma pode ser realizada pela utilização de diversos métodos como a retenção dos fatores que possuem autovalores maiores que um; escolha das componentes sucessivamente até que se obtenha a porcentagem de explicação da variância desejada; através do *screen plot*; ou pelo uso da lógica difusa como foi estudado por SCREMIN (2003). Neste estudo optou-se pela porcentagem de variância e pelo *screen plot*.

A representação da relação entre os fatores extraídos e as variáveis originais é representada por uma matriz de cargas fatoriais, que é apresentada na seqüência dos cálculos obtidos pelo método da análise das componentes principais.

A matriz de carga fatorial resultante do estudo de TOLEDO & NICOLELLA (2002) mostra a relação dos fatores extraídos e as variáveis originais (fig. 10). Nota-se que o primeiro fator é altamente influenciado por fósforo total, amônia, oxigênio dissolvido (indiretamente), condutividade específica e turbidez.

O seguinte passo é a obtenção de uma matriz de coeficientes de escores, pelo método de Bartlett (1962), os quais serão utilizados para o cálculo dos escores fatoriais de cada parâmetro que somados resultarão no índice final (eq. 6).

$$IQA = \text{scorefatorial} \cdot Z_1 + \text{scorefatorial} \cdot Z_2 + \dots + \text{scorefatorial} \cdot Z_n \quad (6)$$

Variável	Matriz de carga fatorial		
	F1	F2	F3
PTOT	0,856	0,009	0,029
NH ₄	0,839	0,205	-0,111
NO ₃	0,464	0,693	0,304
TURB	0,705	-0,461	0,305
STS	0,666	-0,525	0,278
PO ₄	0,547	0,670	-0,042
OD	-0,781	0,153	0,500
pH	-0,404	0,048	0,357
COND	0,776	-0,081	-0,266
CHLA	0,429	0,014	0,678

Figura 10 – Matriz de cargas fatoriais.
 Fonte: TOLEDO & NICOLELLA (2002).

Em que Z são as variáveis padronizadas e os subíndices (1, 2, ...n) referem-se às variáveis na mesma ordem em que forem estabelecidas. E os escores fatoriais, ou seja, os IQAs são calculados para cada local na data analisada (unidade amostral), após a obtenção dos coeficientes dos escores fatoriais.

“A substituição dos valores assumidos pelas variáveis originais nas combinações lineares retidas para interpretação fornece os escores. Os escores dos diferentes componentes principais são as novas variáveis, que expressarão as informações contidas nas diferentes unidades amostrais em diagramas uni, bi ou tridimensionais. A interpretação básica consiste em observar quais unidades amostrais localizadas próximo ao diagrama são mais similares de acordo com o conjunto de variáveis relacionadas ao eixo. Para verificar quais são essas variáveis, basta correlacioná-las com os escores. Variáveis altamente correlacionadas com o eixo e com sinais iguais também são altamente inter-relacionadas” (BINI, 2004).

O gráfico de escores, em PIMENTEL (2003a), das duas primeiras componentes principais da análise de todos os dados mostrou que parte da variância explicada por PC1 está relacionada à mudança de estação, verão-inverno, então foi decidido analisar separadamente os dados das diferentes estações.

“Os escores fatoriais evidenciam a separação dos pontos em relação às variáveis que os caracterizaram, permitindo desta forma associá-los as possíveis fontes de contaminação” (FEPAM, 2005).

O índice obtido como uma combinação linear de variáveis deve conter o máximo de informação fornecida pelas variáveis em conjunto, ou seja, tenha a maior variância possível (KUBRUSLY, 2001).

O índice final tem distribuição com média zero e variância um. Portanto é esperado que em torno de 99% dos valores estejam entre -3 e +3. O valor +3 representa então uma situação crítica de qualidade da água caso as variáveis de maior influência (valores mais elevados) possuir cargas com sinal positivo (FEPAM, 2005).

A análise de componentes principais é um dos métodos utilizados para isso, e o qual foi escolhido para a construção do índice de qualidade da água da microbacia do Córrego Saladeiro.

A elaboração de gráficos auxiliou na melhor visualização dos resultados obtidos, assim como análise temporal e local das mudanças da qualidade da água na microbacia do córrego Saladeiro.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados dos Relatórios de Qualidade das Águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai da SEMA/MS amostrados durante o período de 1996 a 2004 mostraram que alguns parâmetros analisados apresentam valores fora dos limites estabelecidos pelo CONAMA 357/2005 para classe 2 e classe especial (apenas na cabeceira do córrego Bonito).

A cabeceira do córrego Bonito mostrou melhor qualidade de água dentre os pontos analisados, com apenas um valor de OD a baixo do permitido e 5,5% do fosfato total acima do limite, no entanto 25,9% dos valores para coliformes termotolerantes estavam a cima do padrão. No projeto Bacia Hidrográfica rio Formoso – qualidade das águas (BRASIL, 2002) foi detectado na área da cabeceira do córrego Bonito a existência de travessias de animais em leitões de cursos d'água, o que pode ser uma das explicações para o elevado nível de coliformes fecais encontrado.

Esta última observação exige maior atenção dos gestores, visto que a área de cabeceira do córrego Bonito está classificada como especial e pode ser destinada ao abastecimento público sem prévia ou simples desinfecção, além do destino a preservação das comunidades aquáticas.

O ponto de amostragem BO2010, que está localizado a montante do córrego Restinga, após ter recebido o efluente da estação de tratamento de esgoto municipal, apresentou 66,6% dos valores de OD abaixo do limite para classe 2 (5,0mg/L O₂); 54,9% dos valores de DBO a cima do permitido (5,0mg/L O₂); 100,0% das amostras de coliformes estavam a cima do padrão (1.000 coliformes termotolerantes/100mL em 80,0% das amostras coletadas de dois em dois meses no decorrer de um ano); 96,0% das amostras de fosfato total mostraram valores acima do limite (0,1mg/L P) e 76,5% dos valores para amônia excederam o permitido (3,7mg/L N, para pH ≤ 7,5; 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0; 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5; 0,5 mg/L N, para pH > 8,5).

Valores não conforme a legislação CONAMA 357 também estão presentes no ponto BO2008, a montante do córrego Saladeiro, pois 21,6% das amostras de OD apresentaram-se abaixo do valor estabelecido; 15,0% da DBO estão acima do permitido, assim como 96,6% do coliforme; 88,3% do fosfato e 18,3% da amônia mostram valor fora do limite estabelecido pela legislação.

BO2000, localizado na foz do córrego Bonito com o Formoso, apresentou 62,2% das amostras de coliformes acima de 1.000 coliformes/100mL de amostra e 53,33% de fosfato acima do padrão previsto em legislação. Os resultados em BO2000 devem receber muita atenção, pois mostra a qualidade final do córrego Bonito e a qual será recebida pelo rio Formoso.

O córrego Restinga (RE2000) mostrou 11,6% do OD abaixo de 5mg/L; 95% de coliformes e 31,6% de fosfato acima do limite. Este córrego sofre o impacto negativo da urbanização de suas margens como lançamento de esgoto clandestinos em suas águas, por isso apresenta alto valores para coliformes e fosfato.

E o córrego Saladeiro (SA2000) teve 7,32% dos dados de OD abaixo do permitido; 31,7% de coliformes e 7,32% de fosfato acima do valor limite. BRASIL (2002) (projeto Bacia Hidrográfica rio Formoso – qualidade das águas) detectou depósito inadequado de resíduos sólidos próximo as margens do córrego Saladeiro, o que compromete a qualidade de suas águas.

Todos os pontos analisados na bacia do córrego Saladeiro apresentaram percentagens de valores para coliformes termotolerantes e fosfato total acima dos padrões CONAMA 357. Observa-se que a qualidade do córrego Bonito inicialmente é boa, ao entrar na área urbana é degradada e conforme recebe seus afluentes Restinga e Saladeiro em direção a foz a qualidade de suas águas volta a melhorar por processo de diluição e autodepuração.

Conforme os Relatórios de Qualidade das Águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai a degradação observada na qualidade das águas da bacia do córrego Saladeiro tem origem nos lançamentos clandestinos em rede de drenagem pluvial de efluentes domésticos e de postos de gasolinas, além do lançamento da ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) municipal e da drenagem urbana.

O projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai (ANA/GEF/PNUMA/OEA). Subprojeto 1.6 MS – Gerenciamento de Recursos Hídricos nas Vizinhanças da Cidade de Corumbá (MS) avaliou a qualidade da água dos córregos da bacia do Saladeiro segundo o IQA utilizado pela CETESB e a síntese dos resultados é apresentada a seguir na tabela 3.

Tabela 3 – Qualidade das Águas do córrego Bonito, córrego Restinga e córrego Saladeiro segundo cálculo IQA_{CETESB}.

<i>Ano/Local</i>	<i>Bonito nascente</i>	<i>Bonito montante do Restinga</i>	<i>Bonito montante do Saladeiro</i>	<i>Bonito foz</i>	<i>Restinga</i>	<i>Saladeiro</i>
1996	ótima	ruim	aceitável	boa	boa	boa
1997	ótima	ruim	aceitável	boa	boa	boa
1998	ótima	ruim	aceitável	boa	boa	boa
1999	ótima	péssima	ruim	boa	aceitável	boa
2000	boa	ruim	ruim	aceitável	aceitável	boa
2001	boa	ruim	aceitável	boa	aceitável	boa
2002	boa	ruim	aceitável	boa	boa	boa
2003	boa	ruim	ruim	boa	aceitável	aceitável
2004	boa	ruim	aceitável	boa	boa	boa

A figura 11 mostra imagens de satélite da bacia do córrego Saladeiro na qual é possível notar que a região está bastante desmatada, mas ainda se observa a presença de matas ciliares nas cabeceiras dos córregos e próximo a foz com o rio Formoso, e se observa também o aumento da urbanização na margem direita do córrego Bonito ocorrido entre os anos de 2000 e 2004.

O uso do solo e a qualidade das águas estão intimamente ligados, no entanto o Brasil ainda não possui uma política específica para uso e conservação do solo e da água apenas formas indiretas como a lei 8.171/81 que dispõe a Política Agrícola; lei 9.433/97 Política Nacional de Recursos Hídricos; lei 9.785/99 que altera a lei 6.766/79 no fracionamento do solo urbano; Ato Presidencial S/N de 28/12/2001 que institui o grupo BRAZIL. Este grupo é formado por órgãos públicos federal e regional com capacidade instalada e experiência acumulada (CUNHA et al, 2005). A criação de uma política específica para uso e conservação do solo e da água poderia ser mais um instrumento facilitador da gestão dos recursos hídricos.

A estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água analisados (tab. 4) apresenta, de forma geral, uma alta variação dos dados. A média e o desvio padrão para coliformes termotolerantes são altíssimos; o máximo valor para condutividade é bastante

elevado; mostrando que é necessário observar a presença de valores extremos ou possíveis erros de medida ou de impressão.

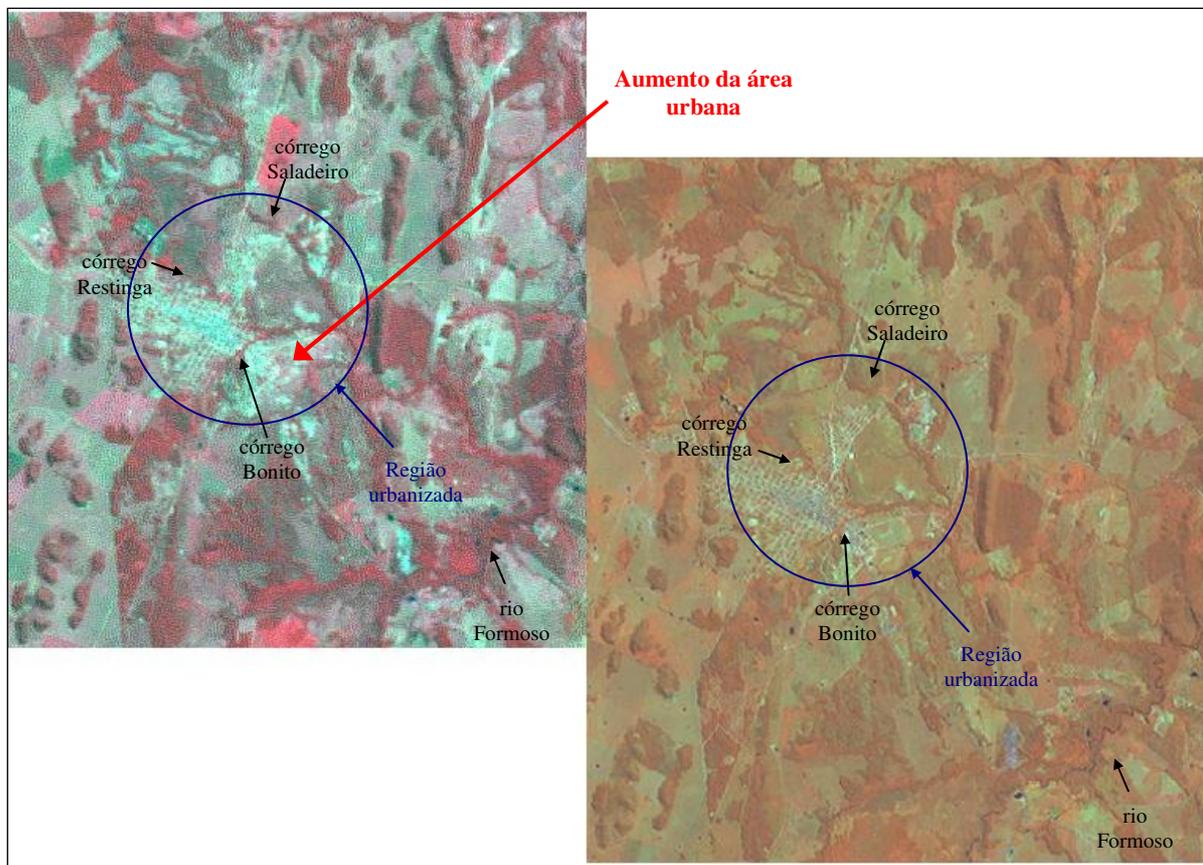


Figura 11 – Imagem CBERS-2, sensor CCD, bandas 1, 2, 3, 4, 5, São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Imagens de Satélite, órbita 163 ponto 123 de 26 de julho de 2004 (acima) e 18 de abril de 2000 (abaixo), disponível em <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

A fim de facilitar o estudo, todos os parâmetros analisados nos quatro pontos do córrego Bonito foram avaliados separadamente através de gráficos espaço temporais conforme apresentado a seguir (fig. 12 a 30).

A partir das tendências espaço temporais observadas foi possível confirmar a degradação do córrego Bonito com o impacto negativo da área urbana (BO2010) e sua melhora (BO2000) devido ao aumento de sua vazão e a autodepuração ocorrida no trecho até a foz com o rio Formoso.

O OD no ponto BO2010 apresentou melhora a partir do ano de 2000, o que poderia ter origem na implantação do novo sistema de tratamento de esgoto do município, que substituiu

o sistema de gramíneas por um reator anaeróbio. No entanto houve aumento nos valores de praticamente todos os outros parâmetros, podendo ser explicado pelo aumento da urbanização e até mesmo do próprio tipo de tratamento de efluentes adotado, pois o tratamento anaeróbio não remove os nutrientes e nem organismos patogênicos.

Tabela 4 – Estatística descritiva dos parâmetros de qualidade da água analisados.

<i>Parâmetros</i>	<i>Dados Analisados</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>
Temperatura (Temp)	317	11,0	30,0	22,63	3,39
pH	317	7,21	8,99	8,11	0,32
OD	316	0,20	11,20	6,39	1,77
DBO	310	0,00	25,00	2,84	3,36
Coliforme (Colif)	314	34,00	3,00.10 ⁷	3,86.10 ⁵	2,12.10 ⁶
Nitrogênio total (Ntotal)	317	0,00	40,91	3,09	5,93
Fosfato total (Ptotal)	315	0,00	37,87	0,686	2,88
Resíduo total (Restotal)	315	76,00	669,00	338,95	78,65
Turbidez	315	0,76	476,00	11,69	36,52
Condutividade Especifica (CondEspec)	312	3,51	1066,00	462,04	181,16
DQO	311	0,00	155,00	11,77	15,68
Ortofosfato (Porto)	282	0,00	5,38	0,329	0,65
Nitrogênio amoniacal (Namon)	316	0,00	24,40	1,45	3,59
Nitrato (Nnitra)	316	0,00	7,12	0,66	0,955
Nitrito (Nnitri)	316	0,00	0,67	0,068	0,12
Nitrogênio total Kjeldahl (NKtot)	315	0,00	39,02	2,33	5,44
Resíduo Fixo (Resfix)	302	22,00	634,00	266,74	80,07
Resíduo Volátil (Resvol)	301	3,00	371,00	73,34	45,85
Sólidos dissolvidos totais (SolDTot)	280	1,74	570,00	231,68	96,81

Nota-se também certa semelhança entre as tendências temporais dos parâmetros sólidos dissolvidos totais e condutividade. Portanto foi verificada a existência de uma correlação linear e obteve-se um bom ajuste ($R^2=0,8599$) conforme apresentado graficamente (fig. 31).

A grande quantidade de dados apresentados nos Relatórios de Qualidade das Águas superficiais da Bacia do Alto Paraguai, medidas de dezenove variáveis, dificulta a avaliação da inter-relação existente entre os parâmetros medidos e a visualização de uma forma geral da qualidade das águas da bacia do córrego Saladeiro. A fim de facilitar a interpretação dos dados o presente trabalho avaliou a aplicabilidade da análise fatorial nos 19 parâmetros medidos (variáveis).

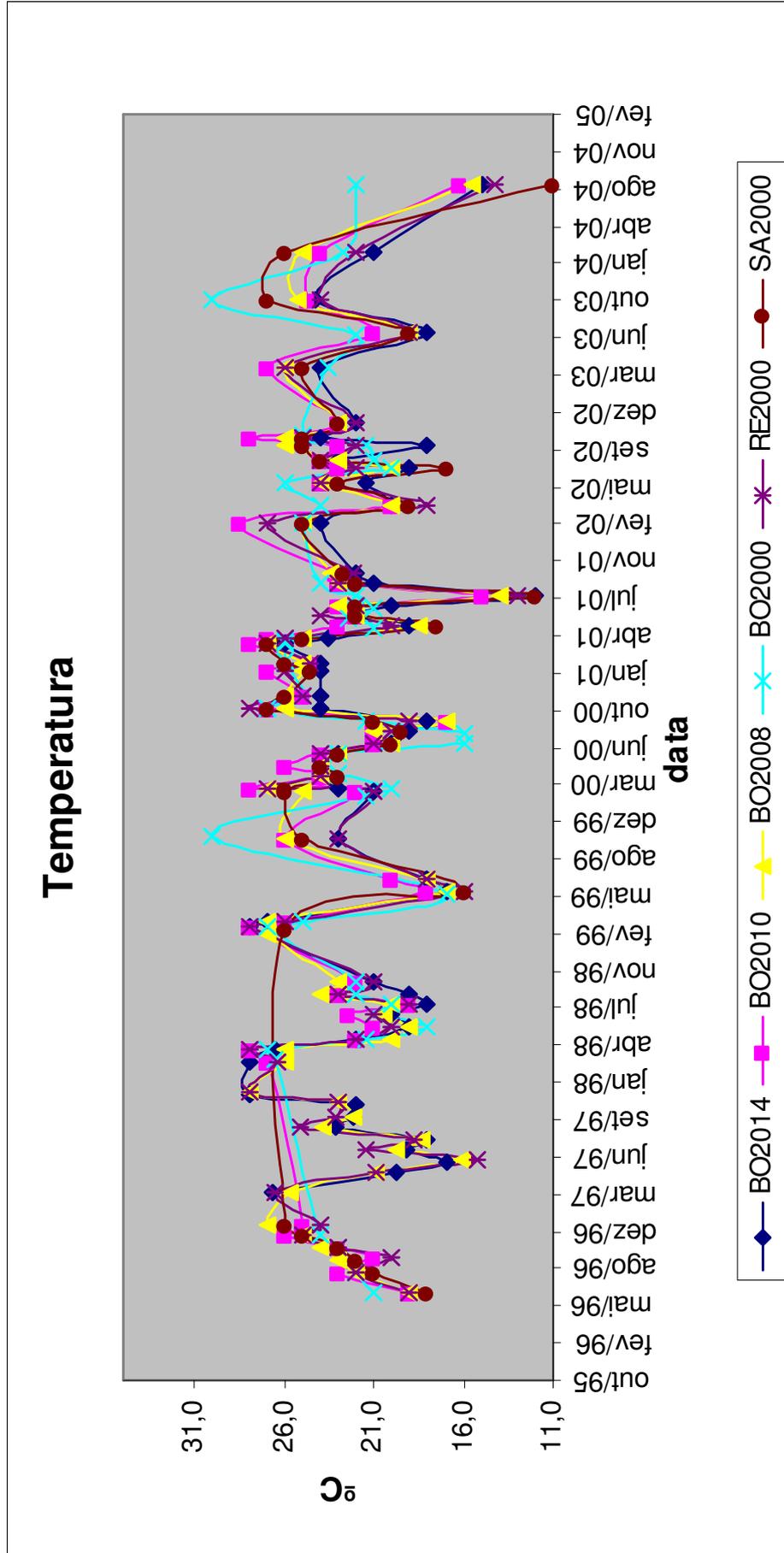


Figura 12 – Variação espaço temporal da temperatura nas águas na bacia do córrego Saladeiro.

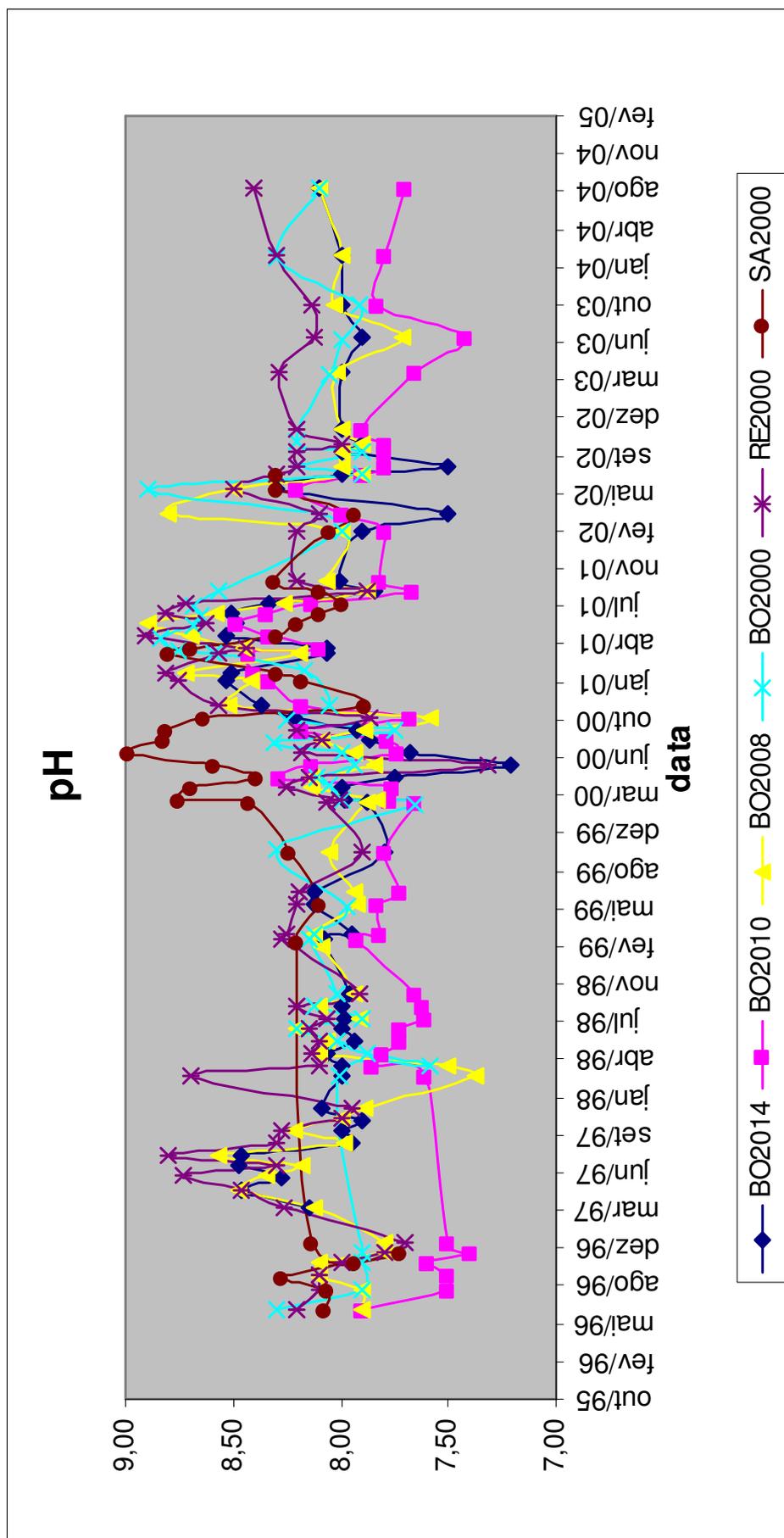


Figura 13 – Variação espaço temporal do pH nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

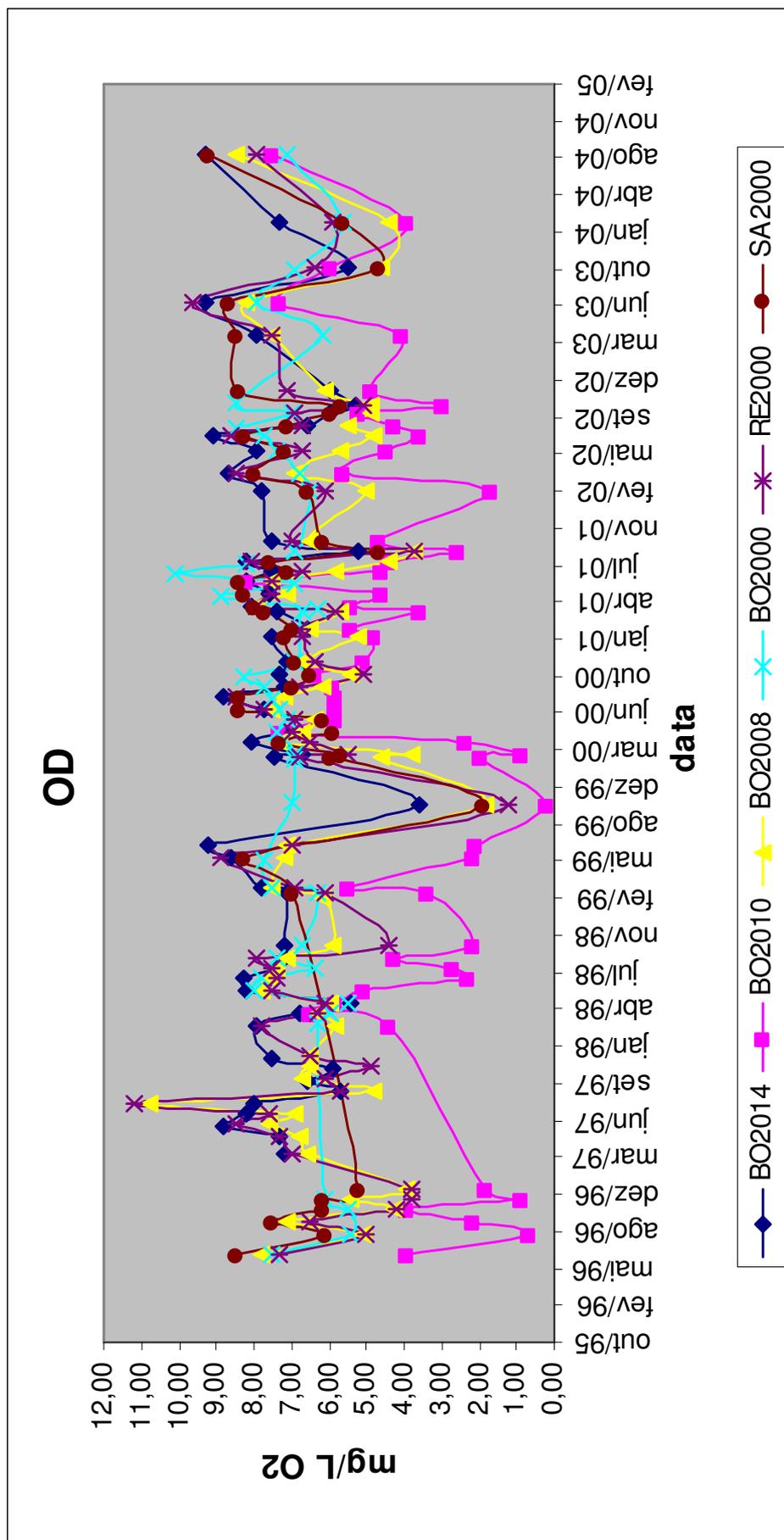


Figura 14 – Variação espaço temporal do OD nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

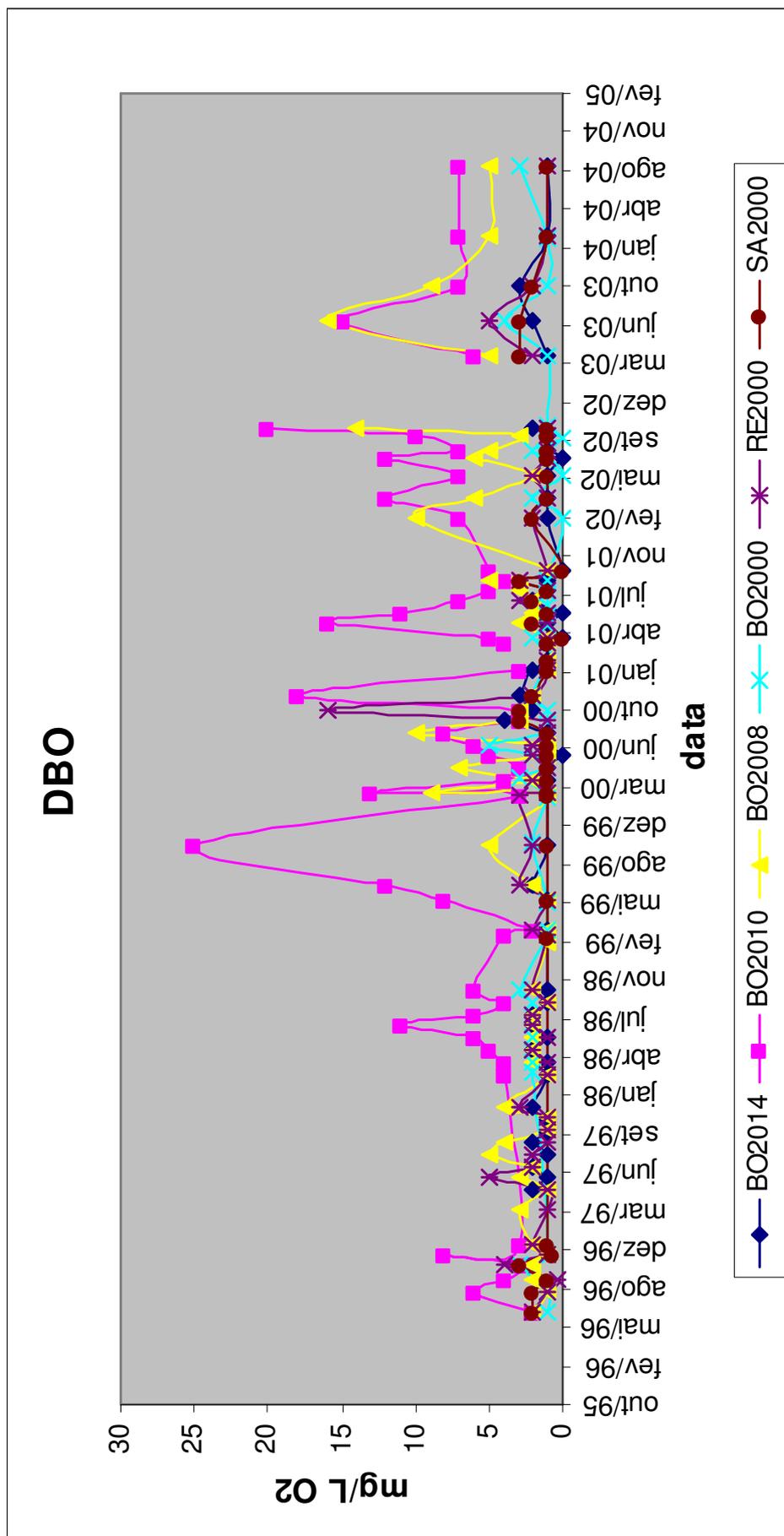


Figura 15 – Variação espaço temporal da DBO na águas da bacia do córrego Saladeiro.

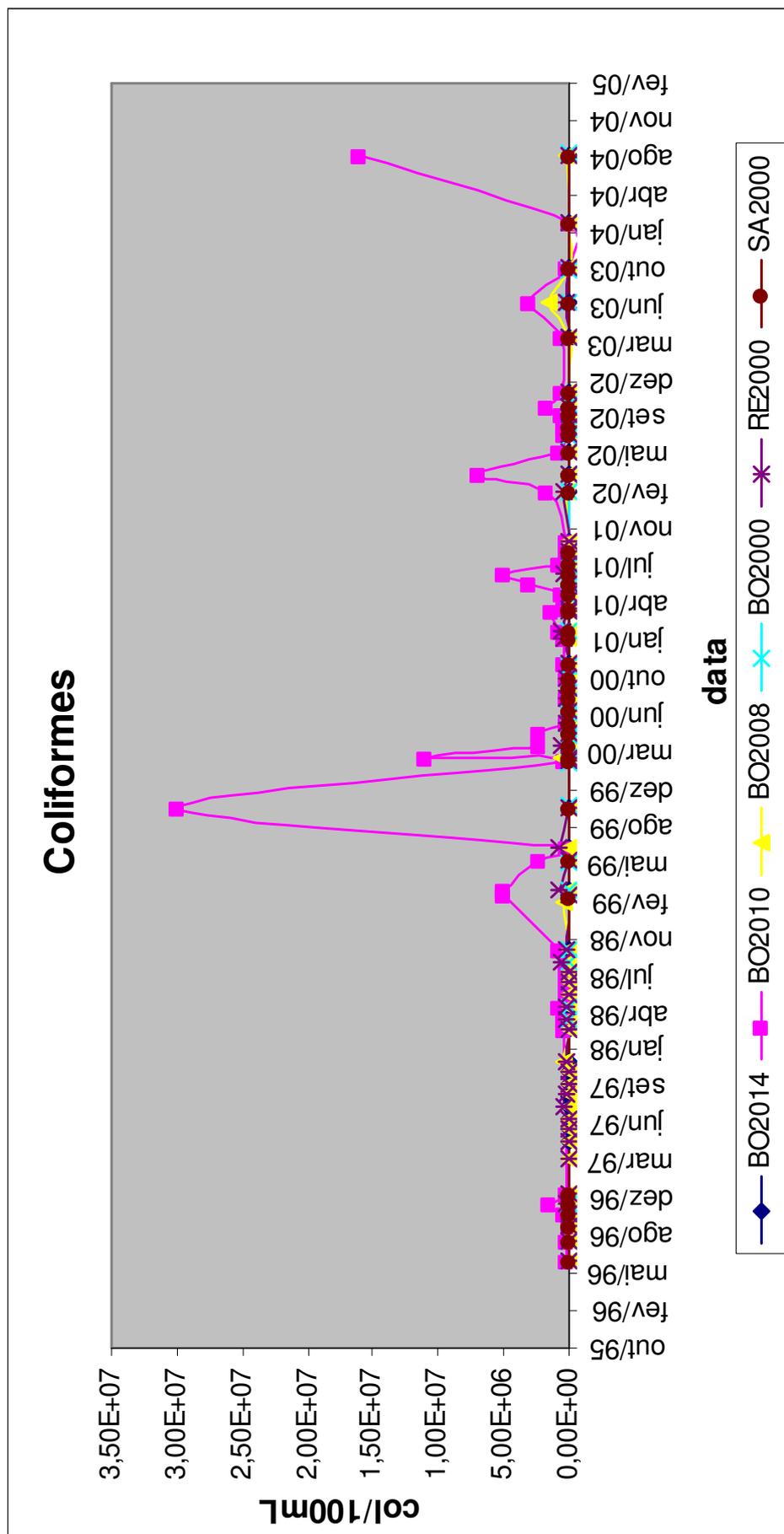


Figura 16 – Variação espaço temporal de coliformes nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

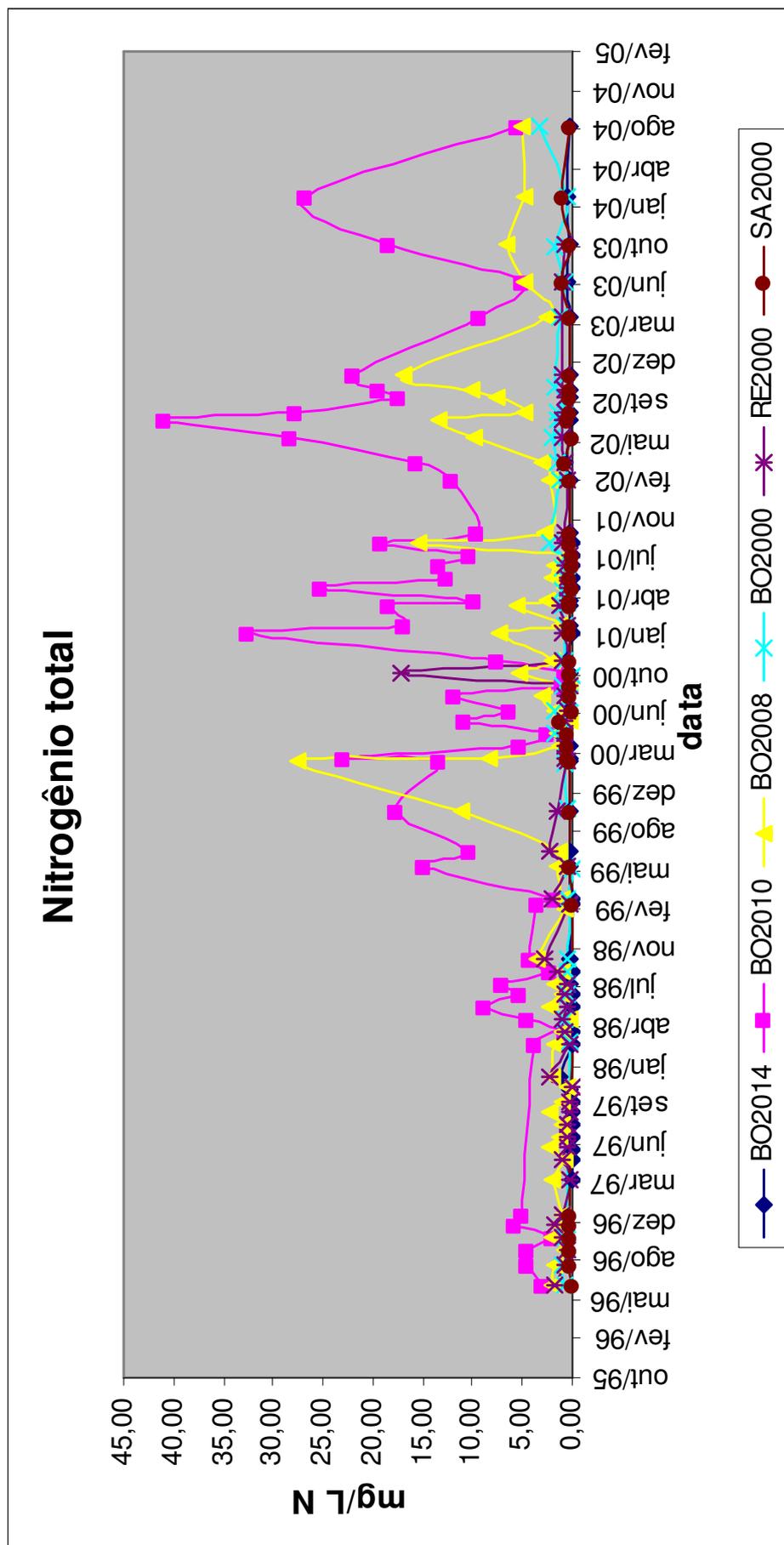


Figura 17 – Variação espaço temporal do nitrogênio total nas água da bacia do córrego Saladeiro.

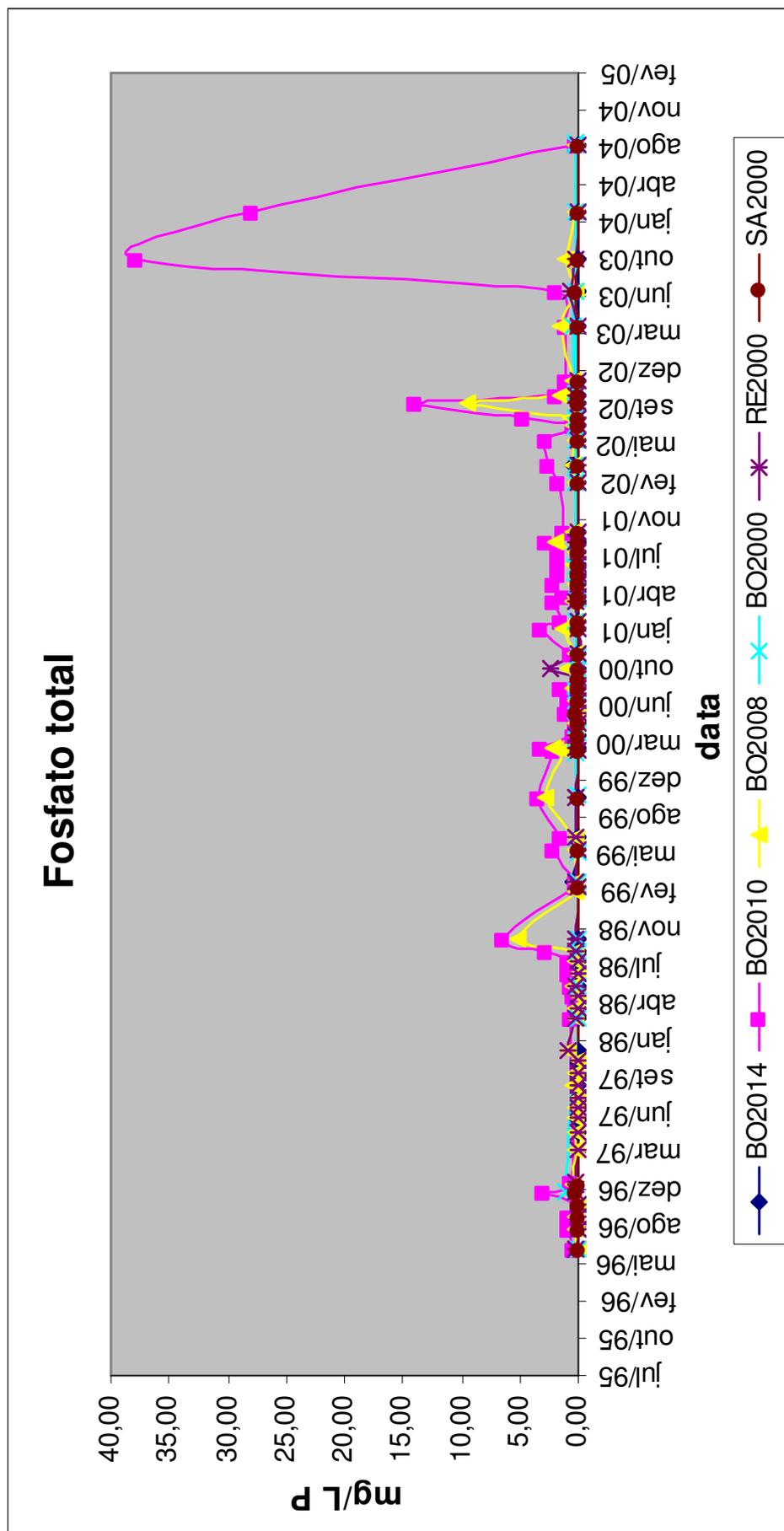


Figura 18 – Variação espaço temporal do fosfato total nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

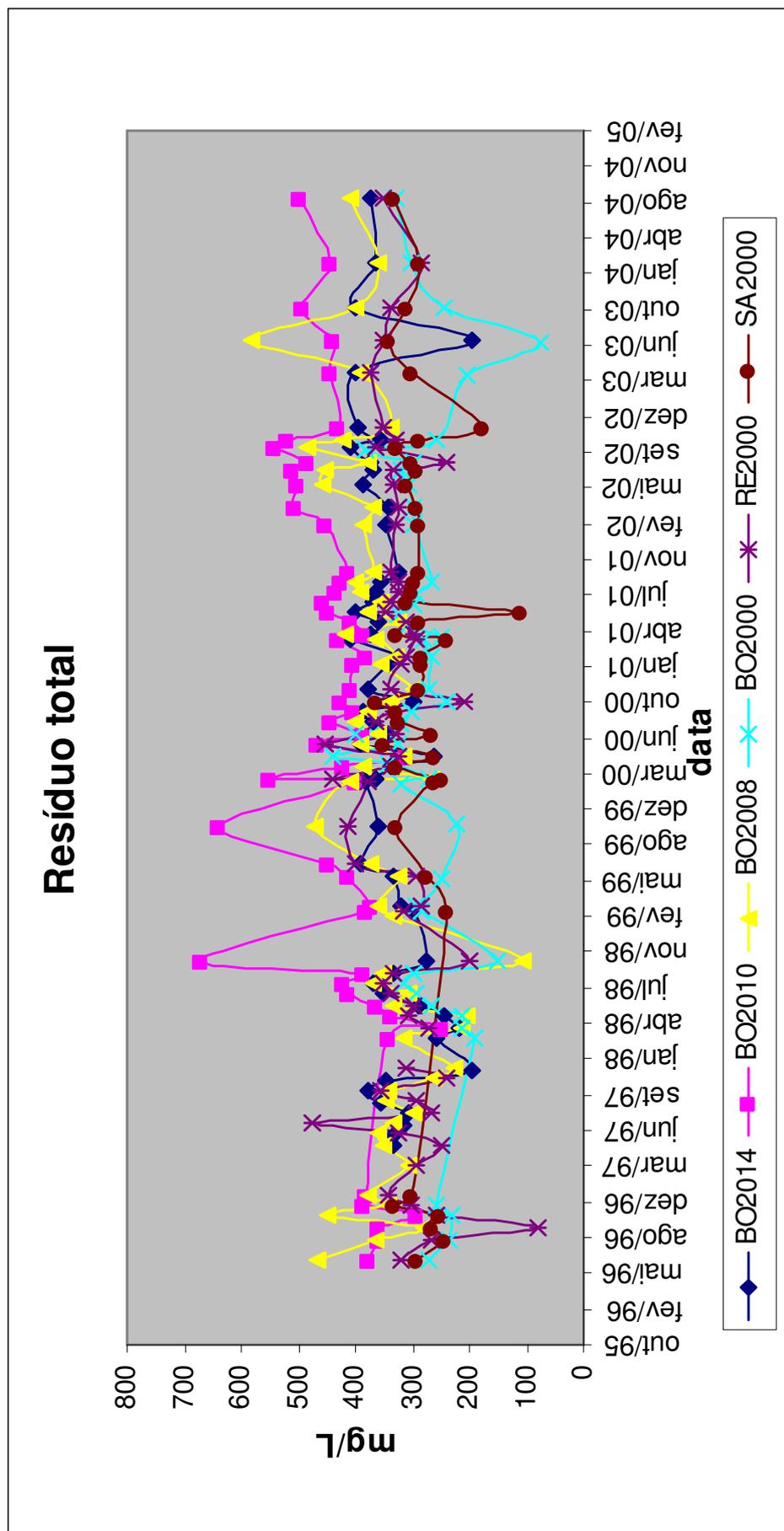


Figura 19 – Variação espaço temporal do resíduo total nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

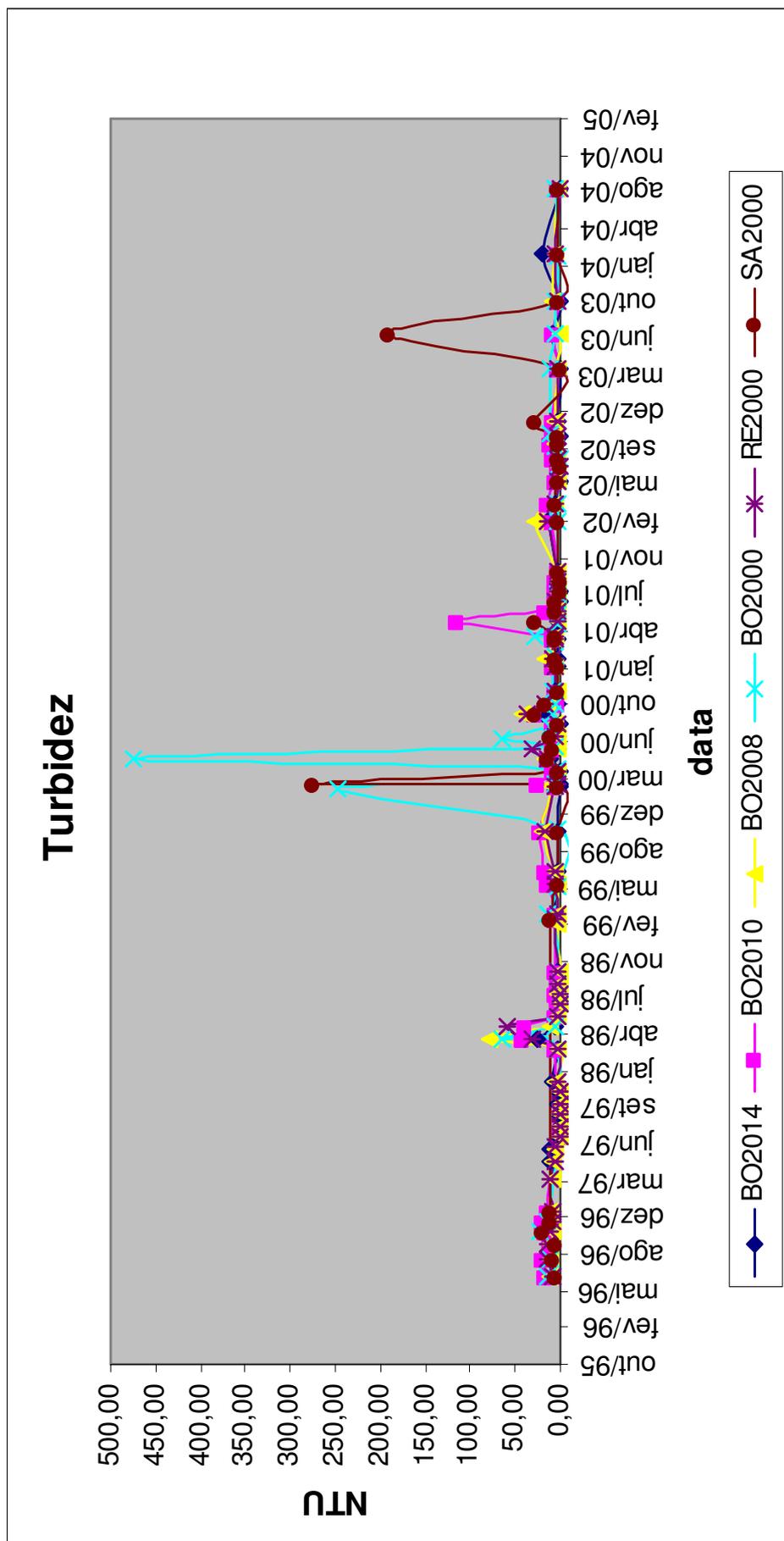


Figura 20 – Variação espaço temporal da turbidez nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

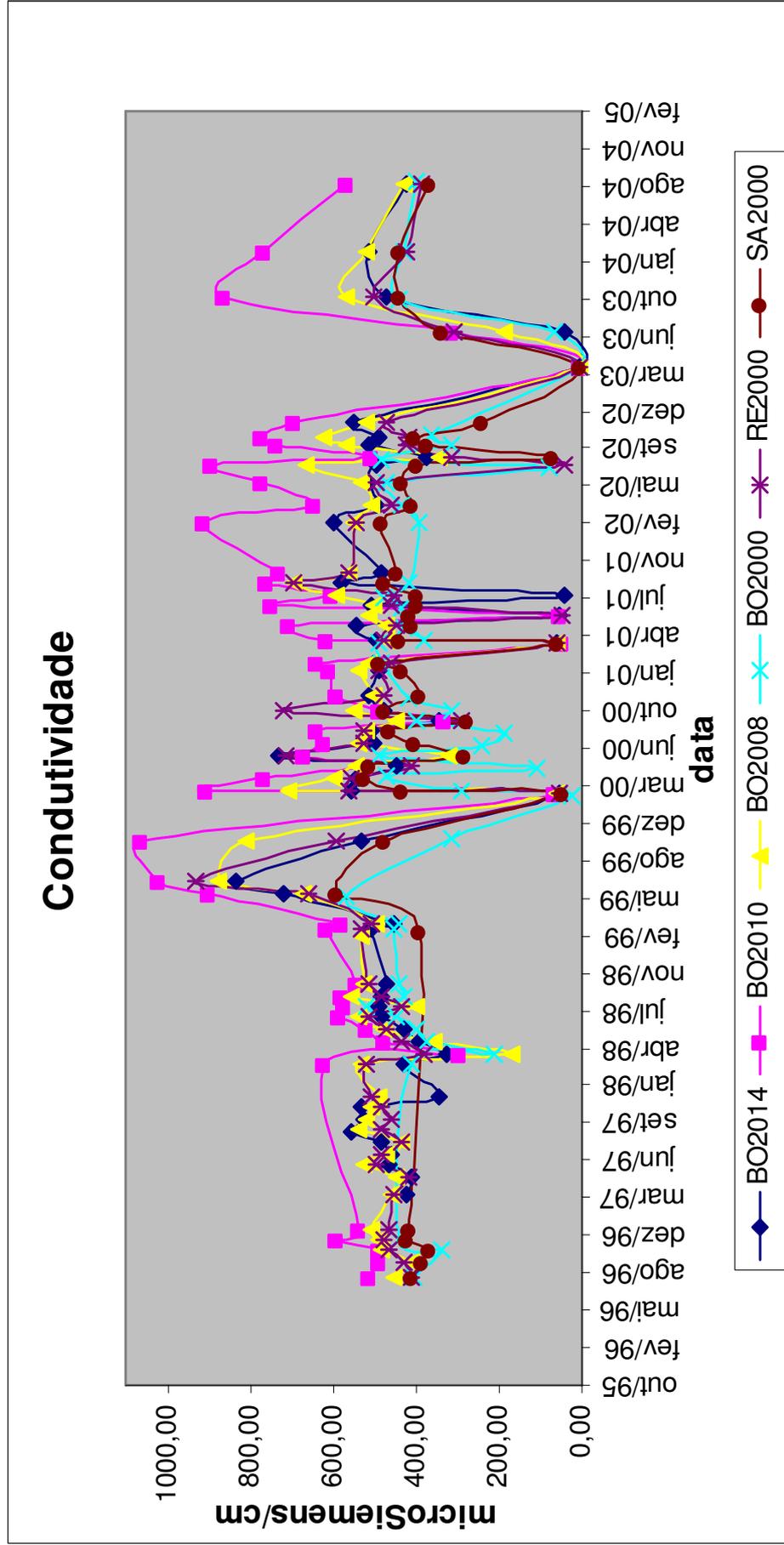


Figura 21 – Variação espaço temporal da condutividade específica nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

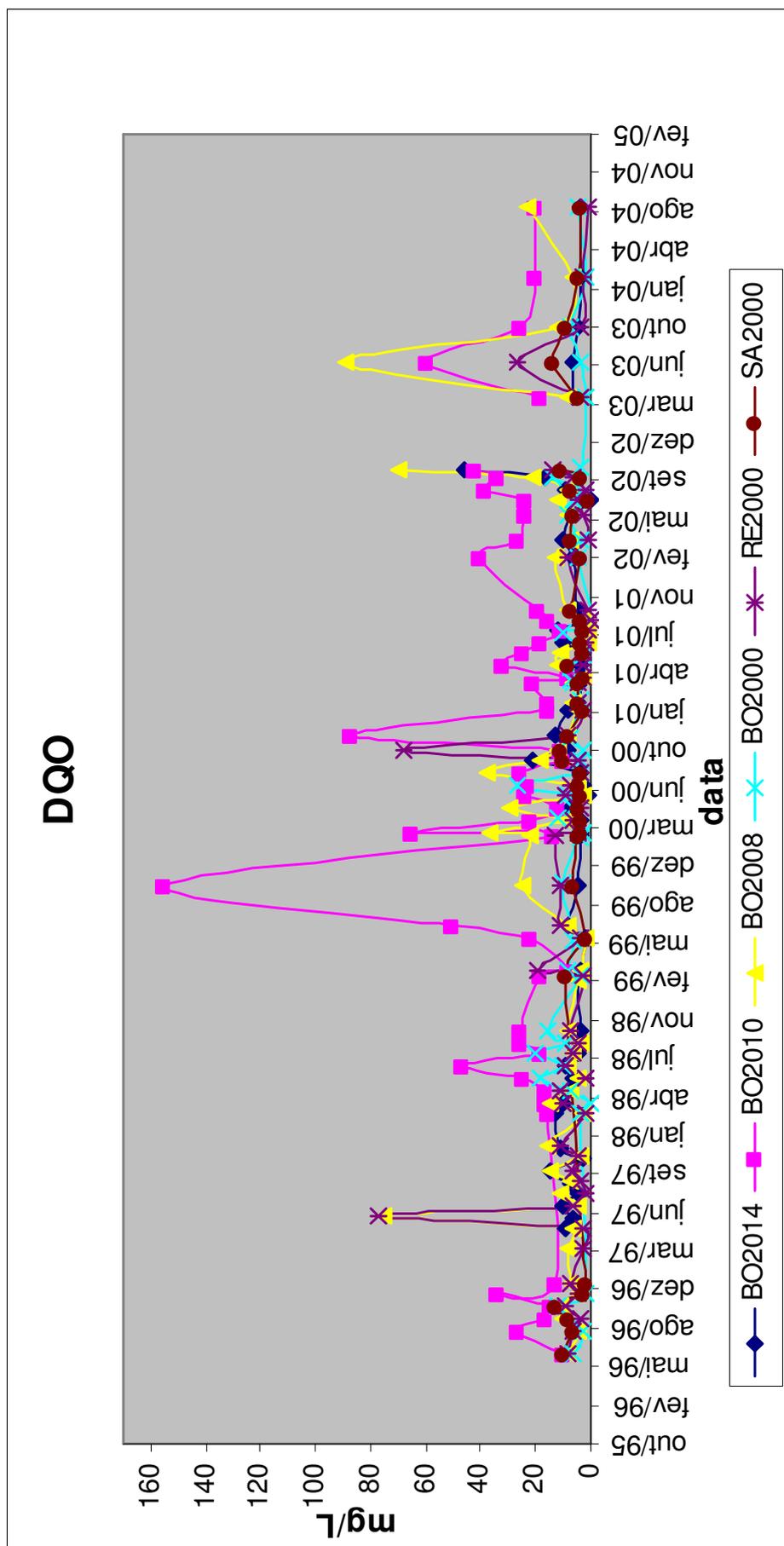


Figura 22 – Variação espaço temporal da DQO nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

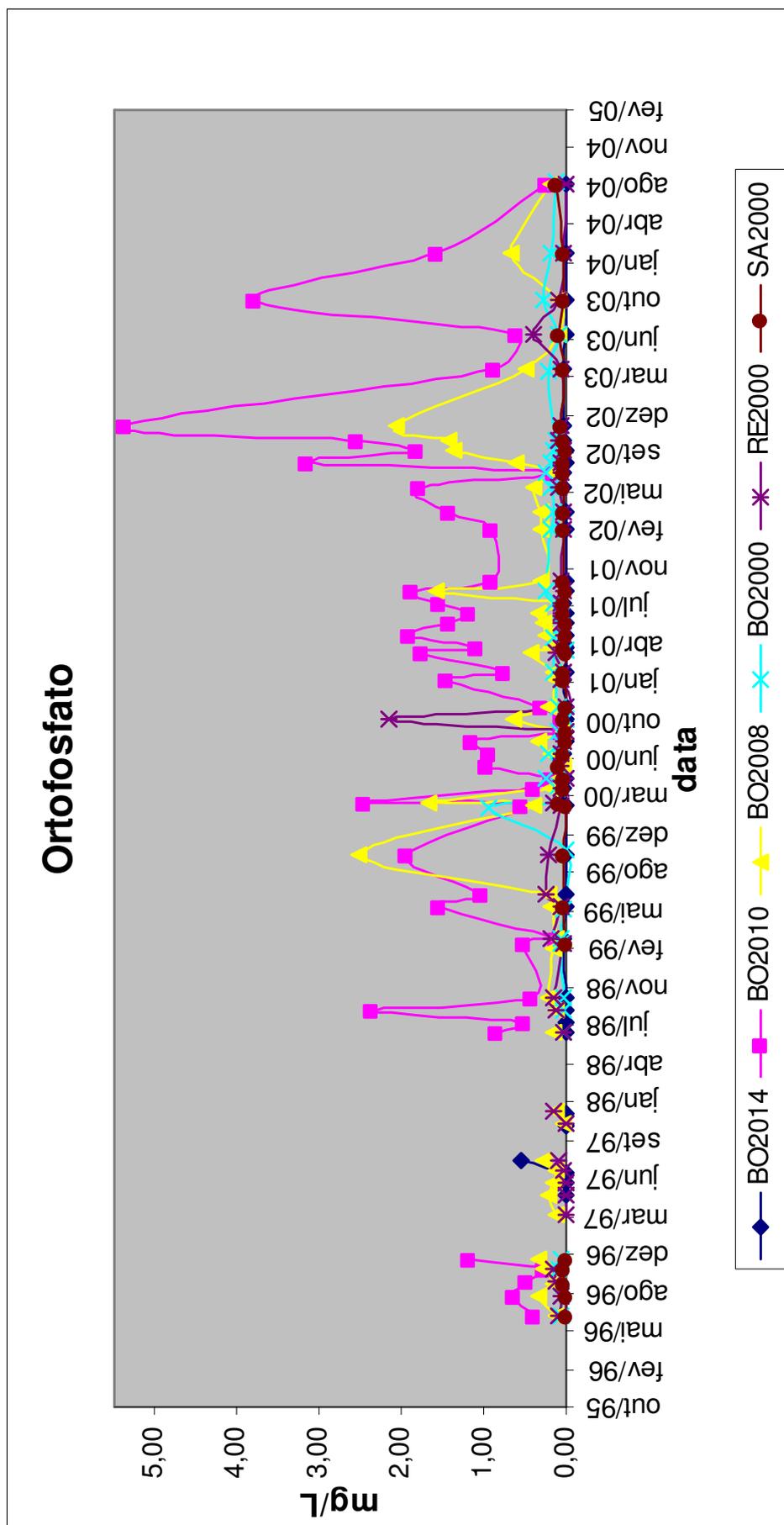


Figura 23 – Variação espaço temporal do ortofosfato nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

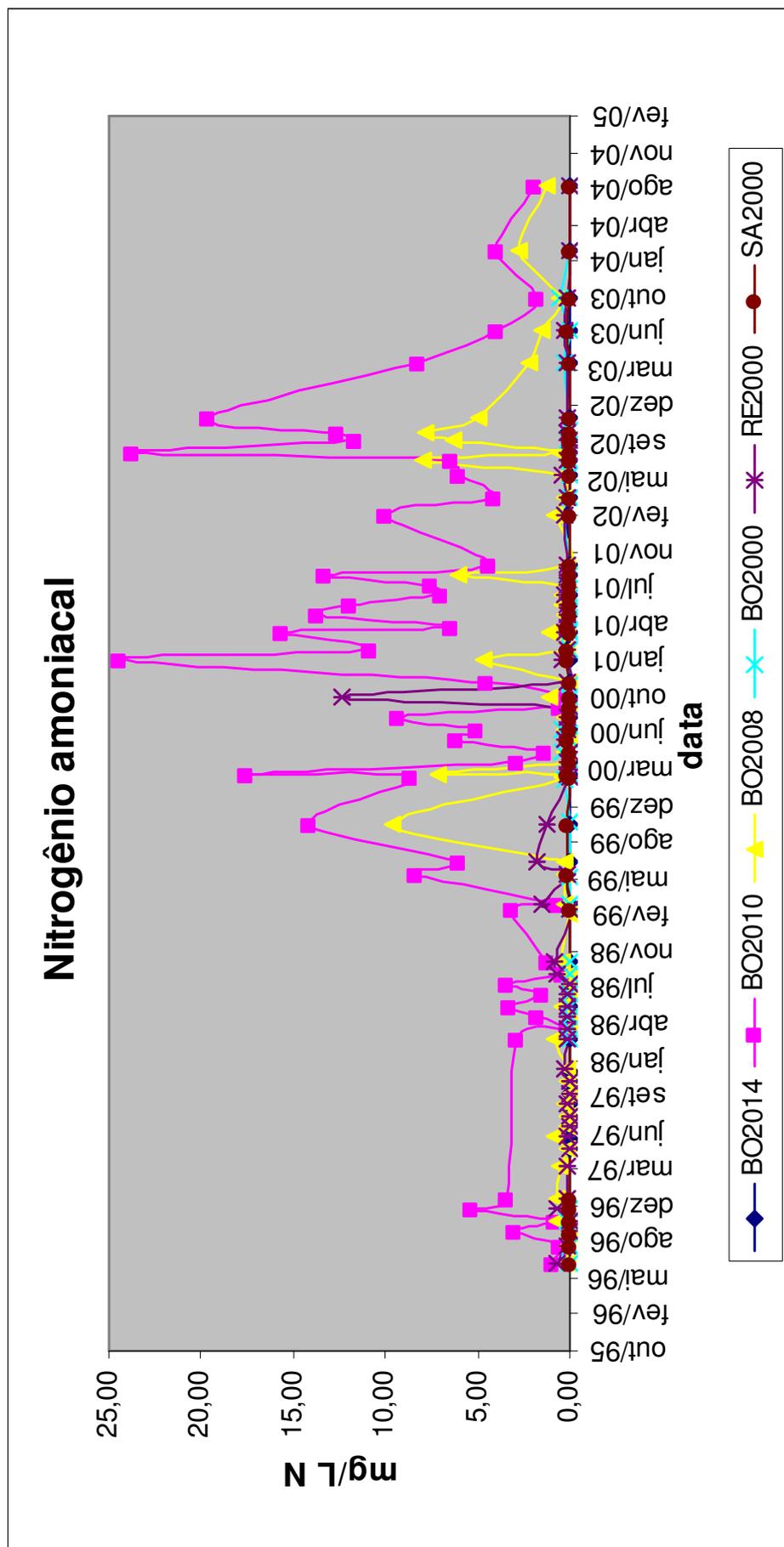


Figura 24 – Variação espaço temporal do nitrogênio amoniacoal nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

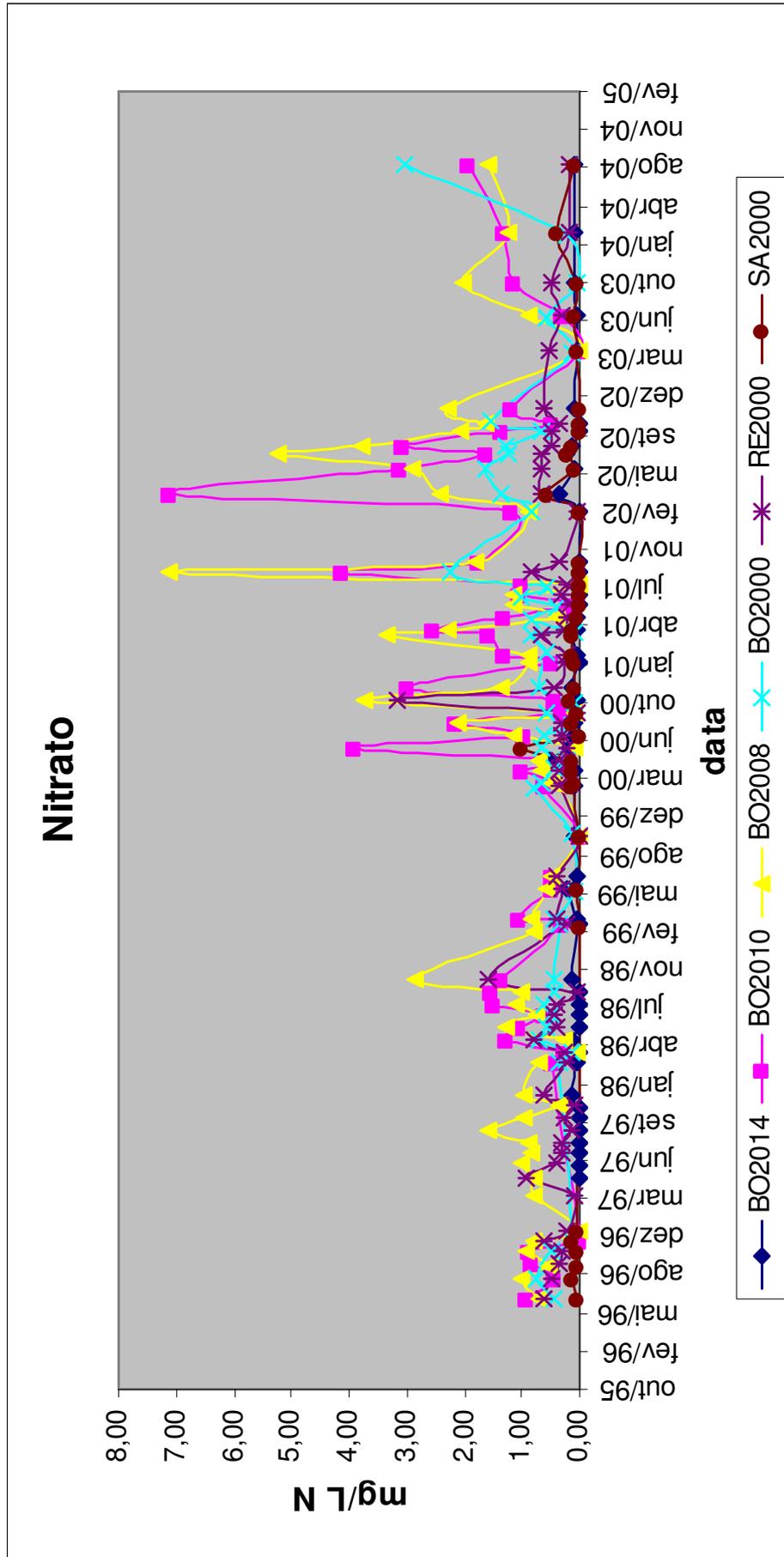


Figura 25 – Variação espaço temporal do nitrato nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

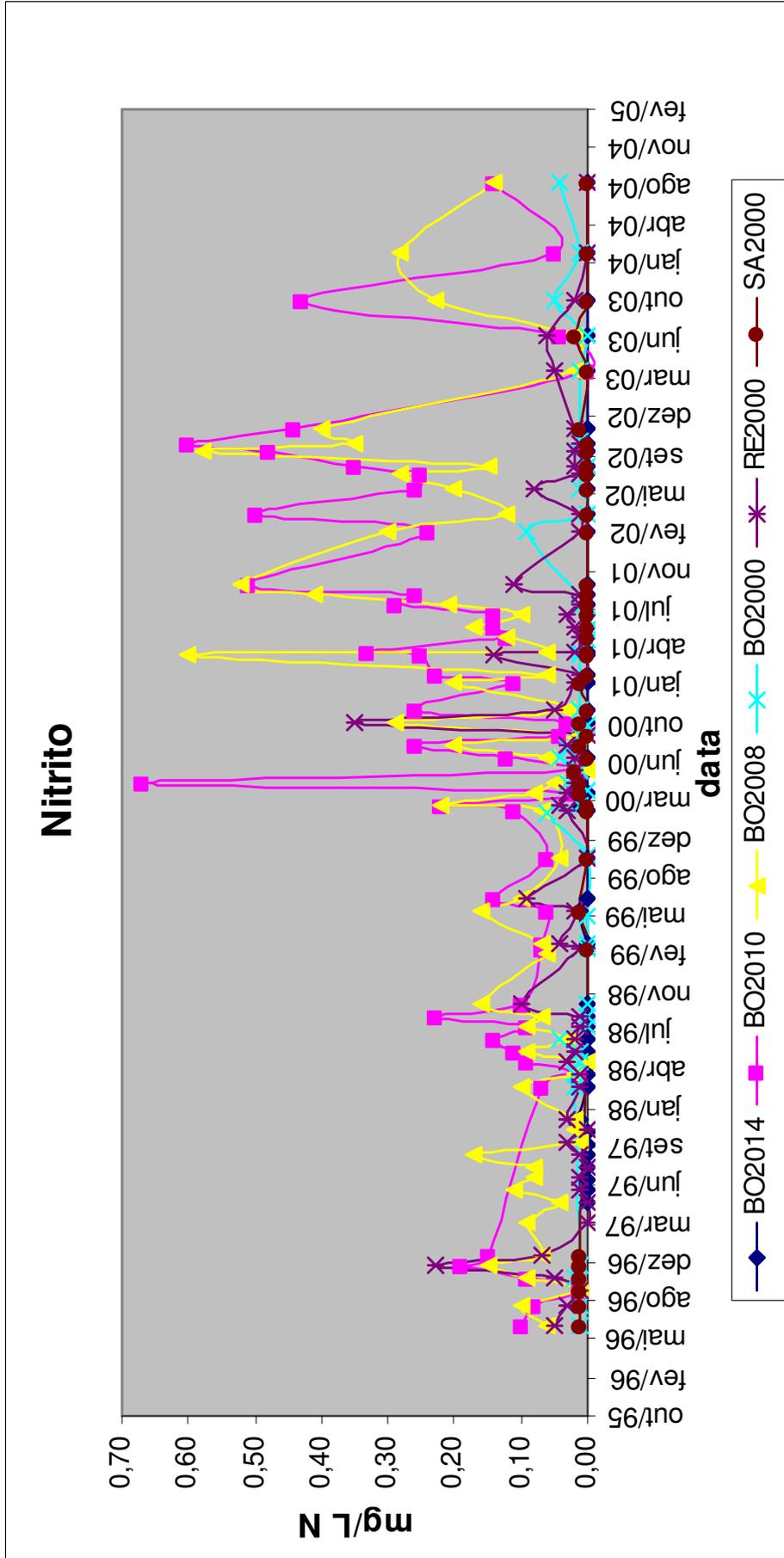


Figura 26 – Variação espaço temporal do nitrito nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

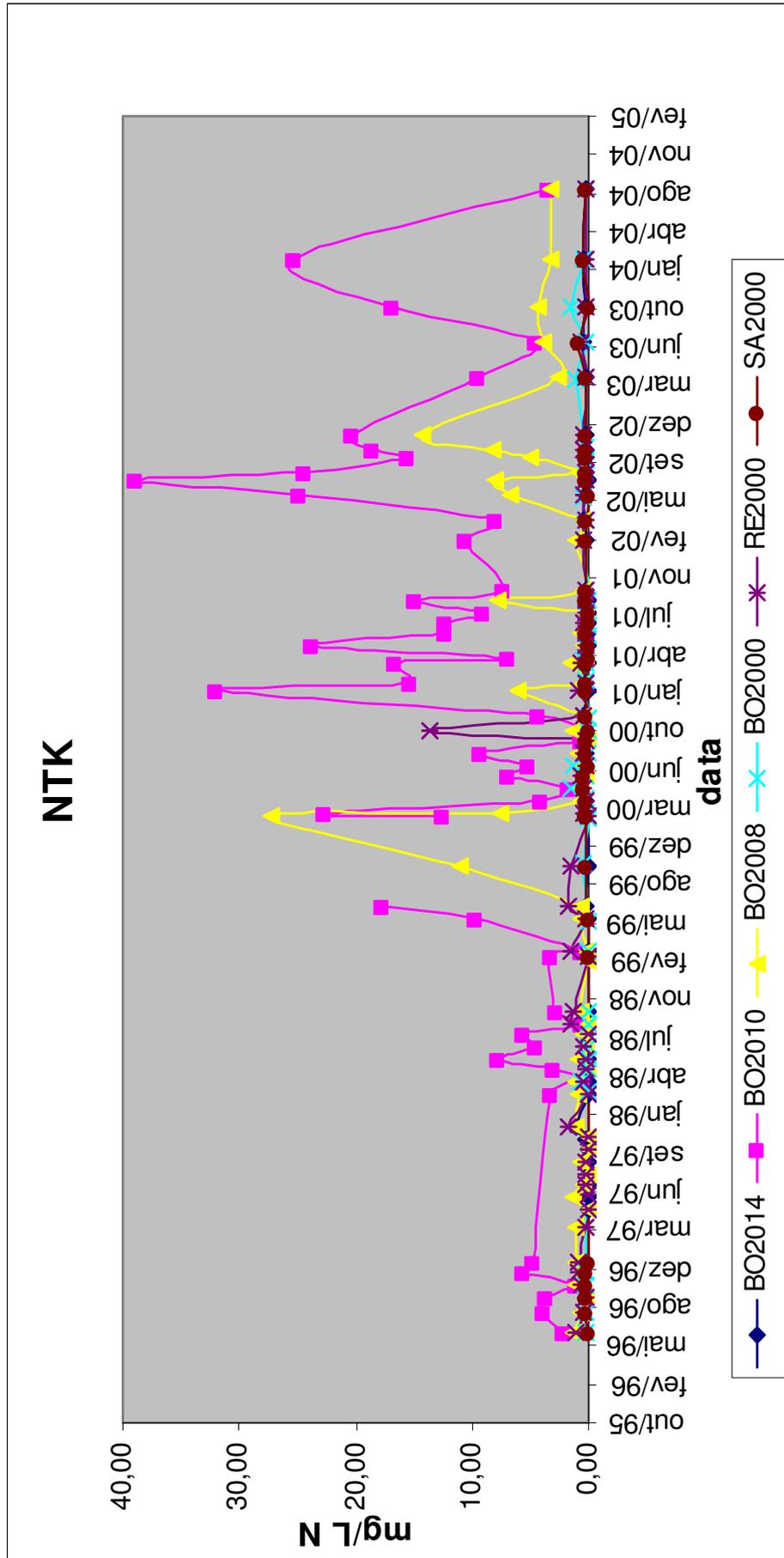


Figura 27 – Variação espaço temporal do NTK nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

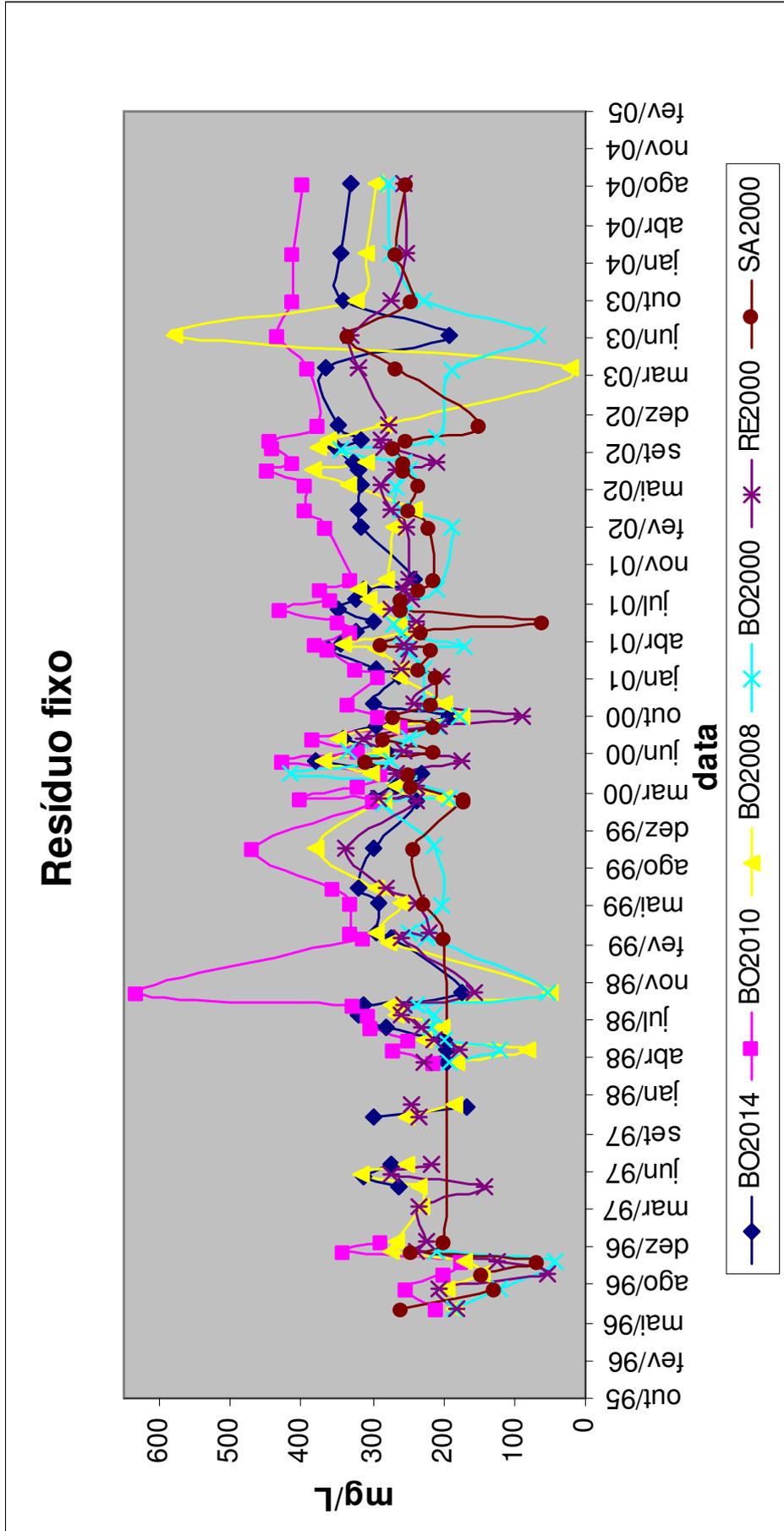


Figura 28 – Variação espaço temporal do resíduo fixo nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

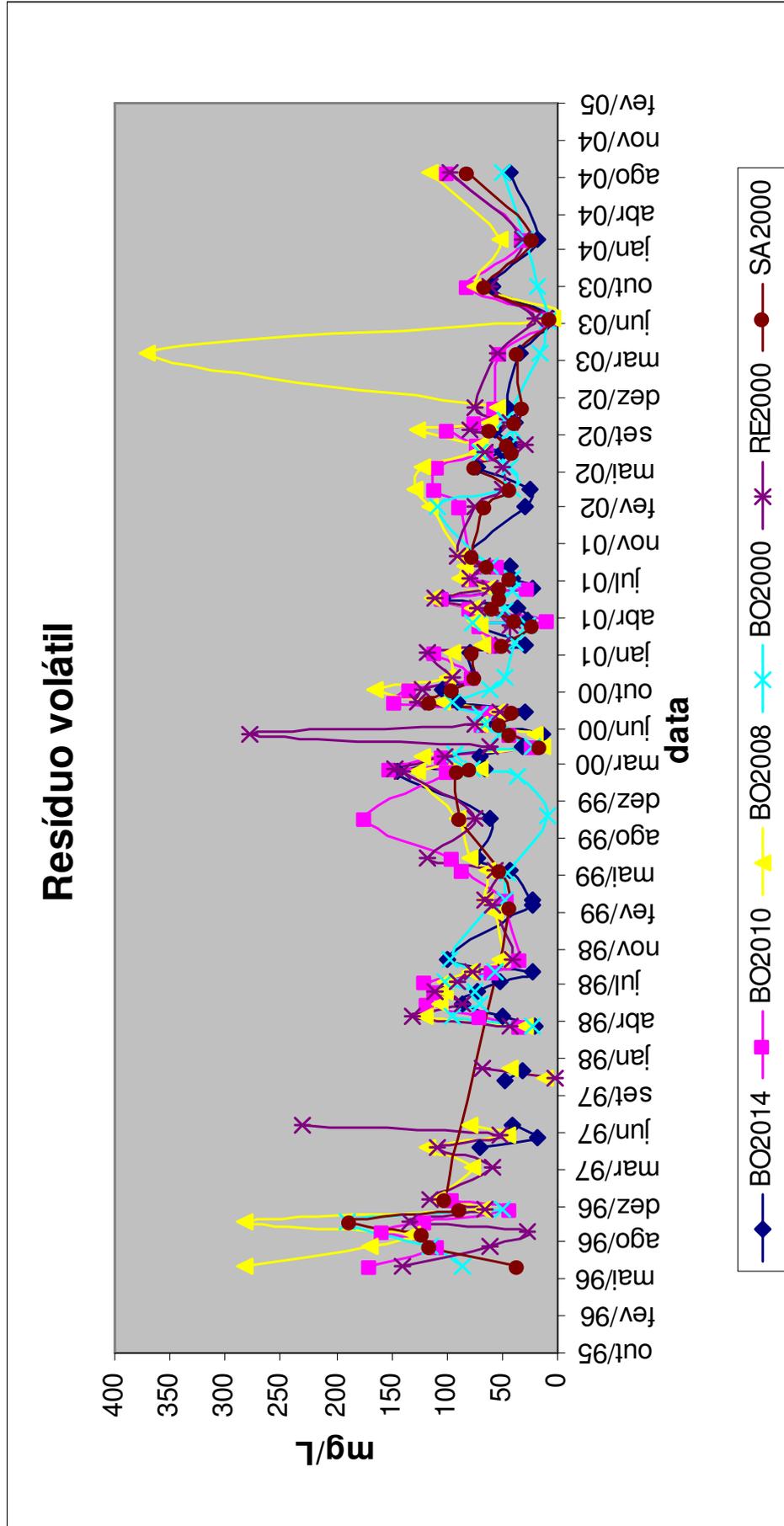


Figura 29 – Variação espaço temporal do resíduo volátil nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

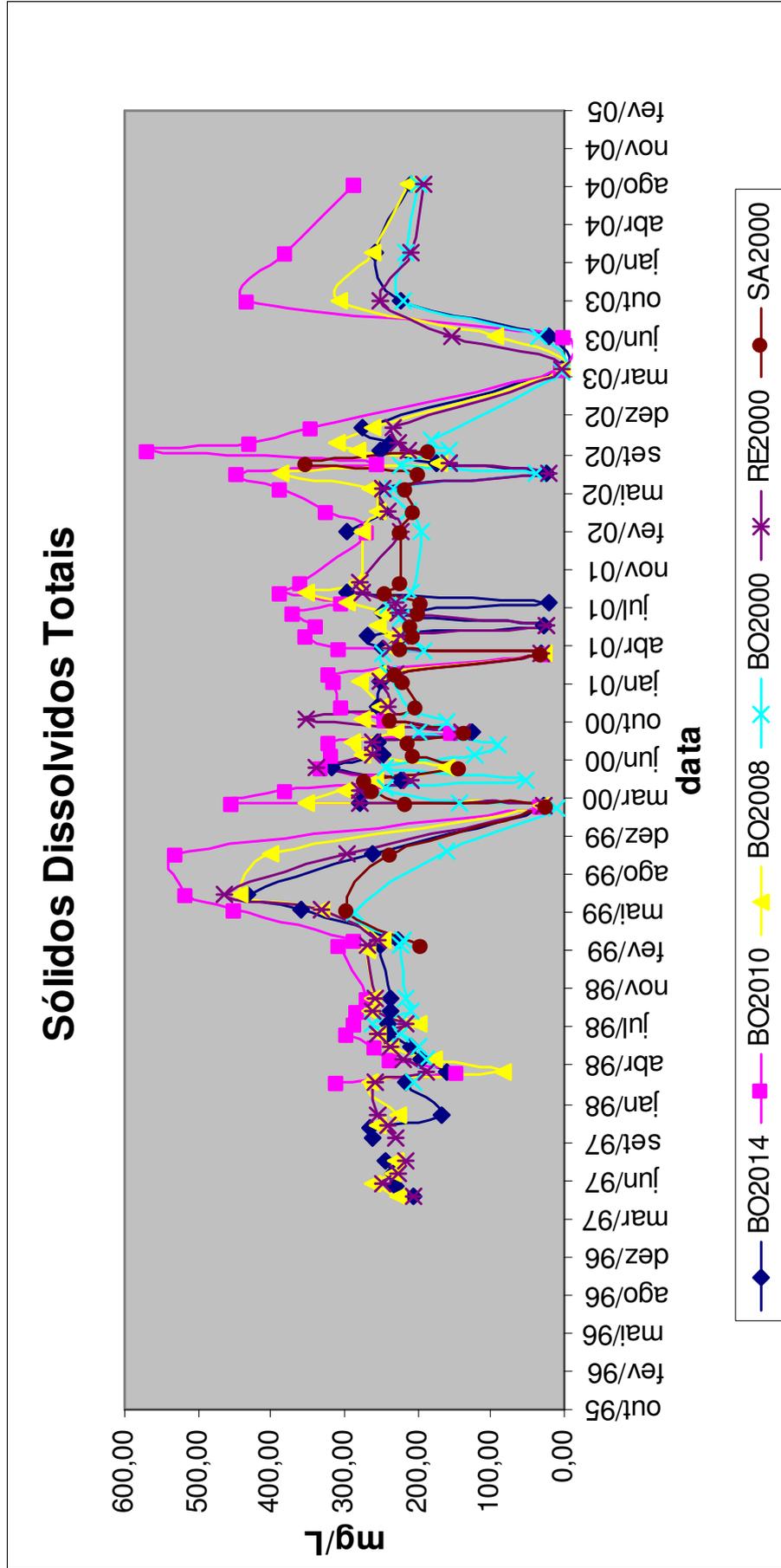


Figura 30 – Variação espaço temporal dos sólidos dissolvidos totais nas águas da bacia do córrego Saladeiro.

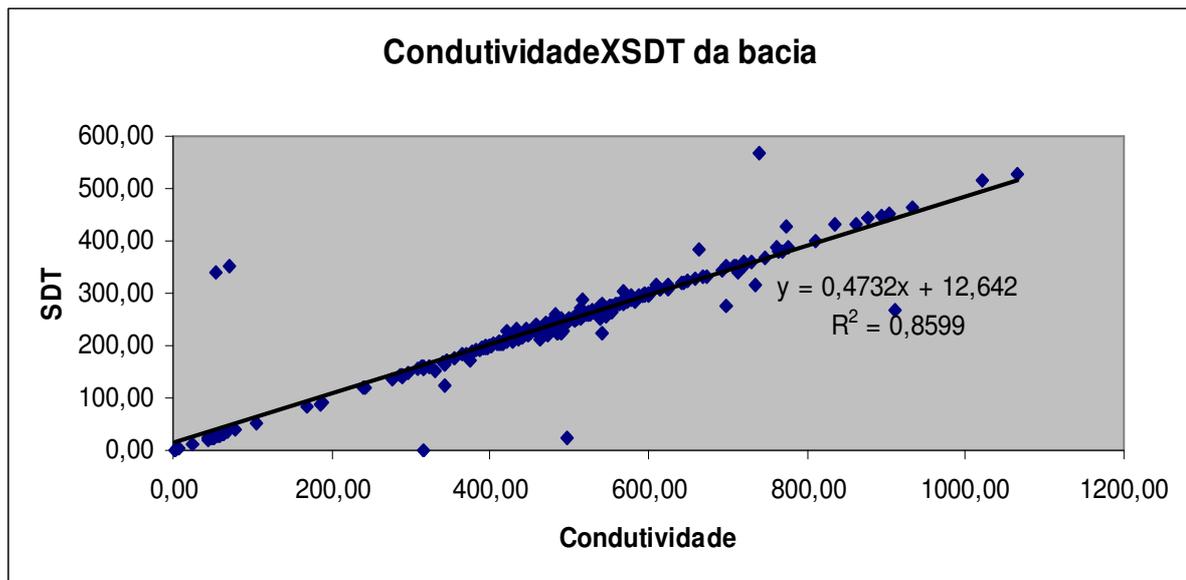


Figura 31 – Relação linear entre condutividade específica e sólidos dissolvidos totais da bacia do córrego Sadadeiro.

Primeiramente os dados foram organizados, pois havia diferenças de quantidade de meses de análises dentre os anos, por exemplo, a menor coleta foi a do ano de 2004, em que se realizaram apenas duas coletas, e a maior foram nos anos de 2000 e 2001 com 10 meses de coleta. Assim os dados foram reduzidos a partir da idéia em comum, o período de cheia e seca, através do cálculo das médias referentes a estes períodos.

O ano de 1996 teve de ser excluído da análise devido à ausência dos resultados sobre sólidos dissolvidos totais, o que impossibilitou o cálculo do IQA final.

Em seguida esses parâmetros foram padronizados através da subtração da média das amostras e divisão do resultado pelo desvio padrão das mesmas. A finalidade dessa padronização é deixar todos os parâmetros de qualidade da água com o mesmo peso, ou seja, sem a interferência das unidades de medida.

Os dados organizados e padronizados foram inseridos no programa computacional SPSS 13.0 *for Windows*. O primeiro passo da análise fatorial é a preparação da matriz de correlação, a qual mostra a relação linear entre as variáveis.

A variável nitrogênio total foi a que mostrou maior coeficiente de correlação com maior número de variáveis, demonstrando assim maior influência na qualidade das águas da microbacia do córrego Saladeiro, seguida da variável DBO.

O teste Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) que indica a proporção de variância nas variáveis estudadas que têm variância comum, isto é, que pode ser causado por fatores bases, foi aplicado. O valor de KMO para os dados analisados foi 0,743, concluiu-se que é permitido a utilização da análise fatorial, pois valores altos (até 1) indicam que a análise fatorial pode ser aplicada aos dados.

O teste KMO foi complementado pelo teste de esfericidade de Bartlett, o qual mostra se a matriz de correlação gerada é uma matriz identidade ou não, caso esta não seja, os dados possuem relação entre si e a análise pode continuar. É necessário à obtenção de um pequeno nível de significância (menor do que 0,10) para ser aceita a análise e o os dados utilizados mostraram o nível de significância 0,000.

Em seguida, pelo método das componentes principais, extraíram-se as comunalidades estimadas (tab.5), ou seja, a variância que cada variável relatada compartilha com todas as outras, a porção da variância explicada pelas cinco componentes (fatores) principais, neste caso, obtidas na solução fatorial. Pequenos valores de comunalidade indicam que a variável não se enquadra na solução fatorial encontrada, neste estudo a variável que mostrou o menor valor foi a turbidez (0,317).

A variância total explicada pela solução fatorial foi de 75,05%, com cinco fatores principais. O fator 1 sozinho explica 44,02%, o fator 2 explica 9,9%, o fator 3 7,63%, o fator 4 7,12% e o fator 5 6,37%, totalizando 75,04% da variância, como apresentado na tabela 6 a seguir.

O objetivo da análise fatorial é a redução da dimensão dos dados, por isso é necessária a escolha do menor número de fatores para explicar as características das variáveis iniciais. A escolha é feita a partir da observação da tabela da variância total e do gráfico obtido no pacote computacional SPSS 13.0 *for Windows*. Assim, foi escolhido o primeiro fator devido à declividade acentuada como mostra o gráfico (fig. 32), sendo que a partir deste ponto a variação é pequena e praticamente constante.

Tabela 5 – Comunalidades estimadas pelo método da análise das componentes principais para 19 variáveis.

<i>Parâmetros</i>	<i>Comunalidades</i>
Temp	0,750
pH	0,532
OD	0,755
DBO	0,867
Colif	0,599
Ntotal	0,927
Ptotal	0,643
Restotal	0,868
Turbidez	0,317
CondEspec	0,922
DQO	0,818
Porto	0,859
Namon	0,744
Nnitra	0,610
Nnitri	0,792
NKTot	0,900
ResFix	0,736
ResVol	0,710
SolDTot	0,909

Tabela 6 – Variância total aplicada resultante da análise das 19 variáveis.

<i>Componente</i>	<i>Autovalores iniciais</i>			<i>Extração pela soma do quadrado das cargas</i>		
	Total	% de Variância	% Acumulada	Total	% de Variância	% Acumulada
1	8,364	44,020	44,020	8,364	44,020	44,020
2	1,882	9,903	53,923	1,882	9,903	53,923
3	1,450	7,633	61,555	1,450	7,633	61,555
4	1,353	7,120	68,675	1,353	7,120	68,675
5	1,211	6,375	75,050	1,211	6,375	75,050

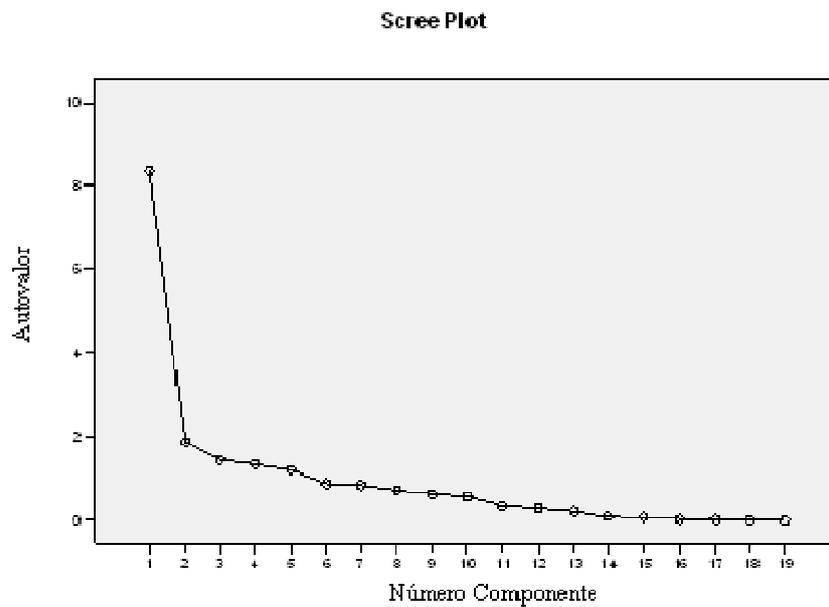


Figura 32 – *Scree Plot* resultante da análise das 19 variáveis.

A tabela 7 mostra a matriz das componentes principais. Observa-se que o fator 1 explica a maior parcela em comum entre as variáveis iniciais. As componentes principais foram obtidas sem a utilização de métodos de rotação de eixo, pois os mesmos não otimizaram a solução.

Tabela 7 – Matriz das componentes principais resultante da análise das 19 variáveis.

Variável	Componente				
	1	2	3	4	5
Ntotal	0,919	-0,113	0,238	-0,083	0,083
NKTot	0,887	-0,150	0,246	-0,159	0,073
Porto	0,871	-0,148	0,234	-0,157	0,009
DBO	0,858	0,354	-0,030	-0,004	0,071
Namon	0,831	0,149	0,167	0,042	-0,013
Nnitri	0,791	-0,093	0,306	0,208	0,145
Restotal	0,785	0,142	-0,365	-0,135	0,282
DQO	0,752	0,478	-0,154	0,026	-0,011
OD	-0,690	-0,056	-0,120	-0,082	0,505
ResFix	0,641	0,053	-0,369	-0,416	0,116
CondEspc	0,622	-0,552	-0,341	0,219	-0,257
SolDTot	0,604	-0,576	-0,309	0,257	-0,228
Nnitra	0,573	-0,032	0,286	0,367	0,252
Ptotal	0,538	-0,426	0,148	-0,384	0,056
pH	-0,466	-0,275	0,234	0,309	0,299
Colif	0,372	0,410	-0,501	0,165	-0,122
ResVol	0,327	0,249	-0,099	0,586	0,434
Turbidez	-0,058	0,305	0,236	-0,387	0,126
Temp	0,139	0,444	0,402	0,201	-0,576

Relacionando-se as duas primeiras componentes principais no gráfico F1x F2 (fig. 33), que explicam juntas 53,9% da variância total, é observado que as variáveis DBO, DQO e nitrogênio amoniacal relacionam-se negativamente com a variável OD. Essa relação já é esperada, pois à medida que a matéria orgânica é decomposta o oxigênio presente no meio será consumido, diminuindo seu valor conseqüentemente. Portanto, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, menor a quantidade de oxigênio.

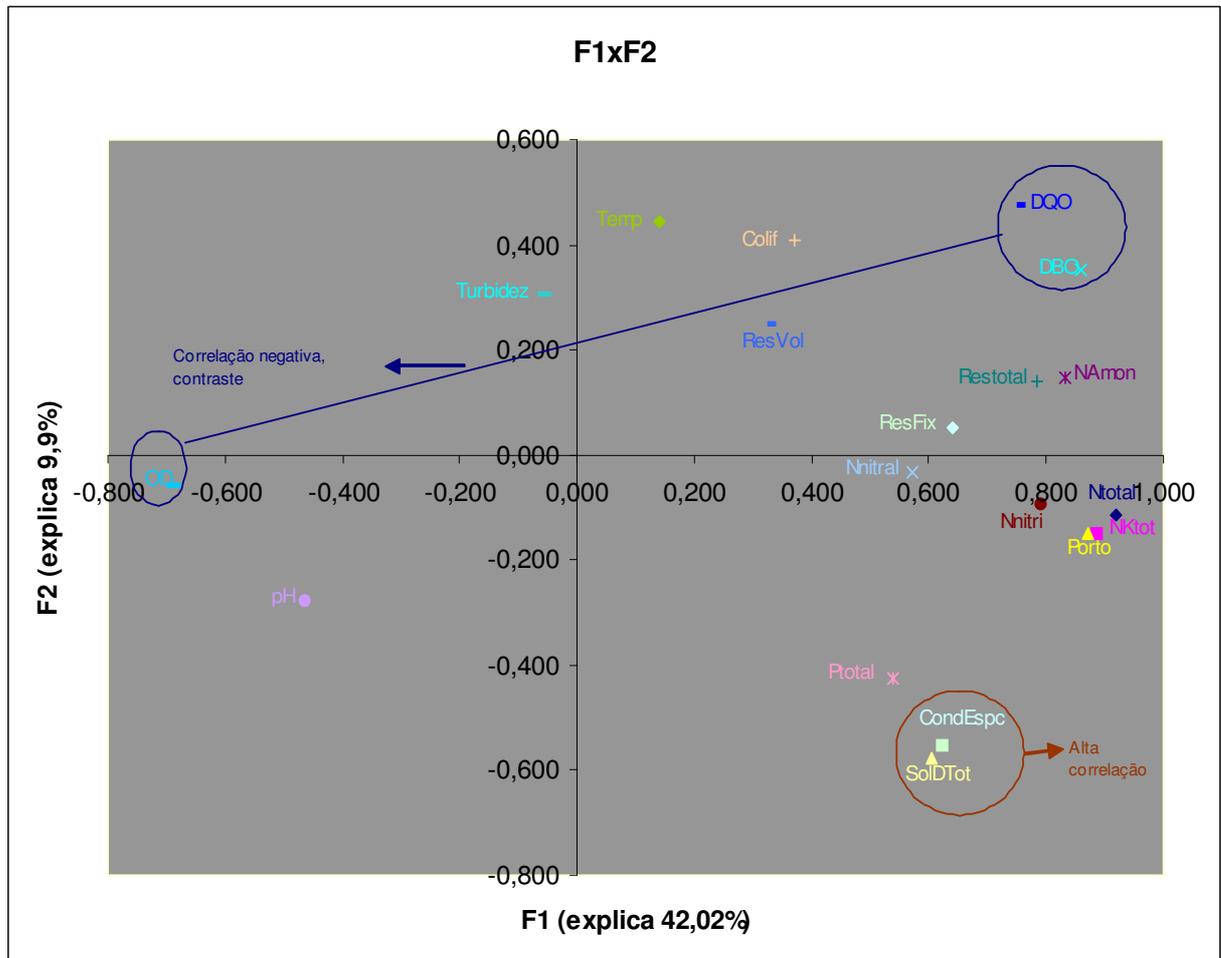


Figura 33 – Relação das duas primeiras componentes principais, F1 e F2, resultante da análise das 19 variáveis.

As variáveis condutividade específica e sólidos dissolvidos totais estão muito próximas no gráfico demonstrando a sua alta correlação. A condutividade é determinada pela presença de substâncias dissolvidas na água, dissociadas em cátions e ânions, dando capacidade a água de conduzir corrente elétrica (PORTO et al, 1991). À medida que a quantidade de íons cresce (sólidos dissolvidos) a condutividade também cresce, sendo as variáveis correlacionadas positivamente. A alta correlação observada no gráfico pode ser

ratificada pela a relação observada na análise dos parâmetros separadamente e pela equação linear encontrada anteriormente (fig. 31).

A seqüência dos cálculos da análise fatorial resulta na matriz de cargas fatoriais, ou seja, os coeficientes estimadores dos fatores principais. A matriz foi obtida através do critério de Bartlett e é mostrada na tabela 8.

Tabela 8 – Matriz de cargas fatoriais resultante da análise das 19 variáveis.

Variável	Componente				
	1	2	3	4	5
Temp	0,017	0,236	0,278	0,149	-0,476
pH	-0,056	-0,146	0,161	0,228	0,247
OD	-0,082	-0,030	-0,083	-0,060	0,417
DBO	0,103	0,188	-0,021	-0,003	0,058
Colif	0,045	0,218	-0,345	0,122	-0,101
Ntotal	0,110	-0,060	0,164	-0,061	0,069
Ptotal	0,064	-0,226	0,102	-0,284	0,046
Restotal	0,094	0,076	-0,252	-0,100	0,233
Turbidez	-0,007	0,162	0,163	-0,286	0,104
CondEspc	0,074	-0,293	-0,235	0,162	-0,212
DQO	0,090	0,254	-0,106	0,019	-0,009
Porto	0,104	-0,079	0,161	-0,116	0,007
Namon	0,099	0,079	0,115	0,031	-0,010
Nnitra	0,069	-0,017	0,197	0,271	0,208
Nnitri	0,095	-0,050	0,211	0,154	0,120
NKTot	0,106	-0,080	0,170	-0,118	0,060
ResFix	0,077	0,028	-0,254	-0,308	0,096
ResVol	0,039	0,132	-0,068	0,433	0,358
SolDTot	0,072	-0,306	-0,213	0,190	-0,188

Considerando o fator 1 como índice de qualidade de água (IQA) da bacia do córrego Saladeiro observa-se que as variáveis que mais influenciam em sua variação são nitrogênio total, nitrogênio total Kjeldahl, ortofosfato, DBO, nitrogênio amoniacal, nitrito, resíduo total, DQO e OD, demonstrando a grande influência dos nutrientes especialmente nitrogênio, bem como a matéria orgânica, na qualidade da água local, conseqüência provável de lançamentos de efluentes e da drenagem pluvial.

A expressão para o cálculo do IQA da bacia do córrego Saladeiro é (eq. 7):

$$\begin{aligned}
 IQA = F = & 0,110Z_1 + 0,106Z_2 + 0,104Z_3 + 0,103Z_4 + 0,099Z_5 + 0,095Z_6 + \\
 & + 0,094Z_7 + 0,090Z_8 - 0,082Z_9 + 0,077Z_{10} + 0,074Z_{11} + 0,072Z_{12} + 0,069Z_{13} + \\
 & + 0,064Z_{14} - 0,056Z_{15} + 0,045Z_{16} + 0,039Z_{17} + 0,017Z_{18}
 \end{aligned} \quad (7)$$

A análise multivariada é uma técnica de interdependência e o sinal de cada variável na equação demonstra essa realidade. O índice mostra melhor qualidade de água (menor valor) quando os valores das variáveis com sinal positivo (nitrogênio total (Z_1), NKT (Z_2), ortofosfato (Z_3), DBO (Z_4), nitrato amoniacal (Z_5), nitrito (Z_6), resíduo total (Z_7), DQO (Z_8), resíduo fixo (Z_{10}), condutividade específica (Z_{11}), sólidos dissolvidos totais (Z_{12}), nitrato (Z_{13}), fósforo total (Z_{14}), coliformes (Z_{15}), resíduo volátil (Z_{17}) e temperatura (Z_{18})) são baixos e os valores dos parâmetros negativos (OD (Z_9) e pH (Z_{16})) são altos.

O IQA foi calculado, utilizando a equação 6, para os seis locais de amostragem nos diferentes anos de coleta e os resultados foram *plotados* em um gráfico (fig. 34) para melhor visualização da variação da qualidade da água da microbacia do córrego Saladeiro.

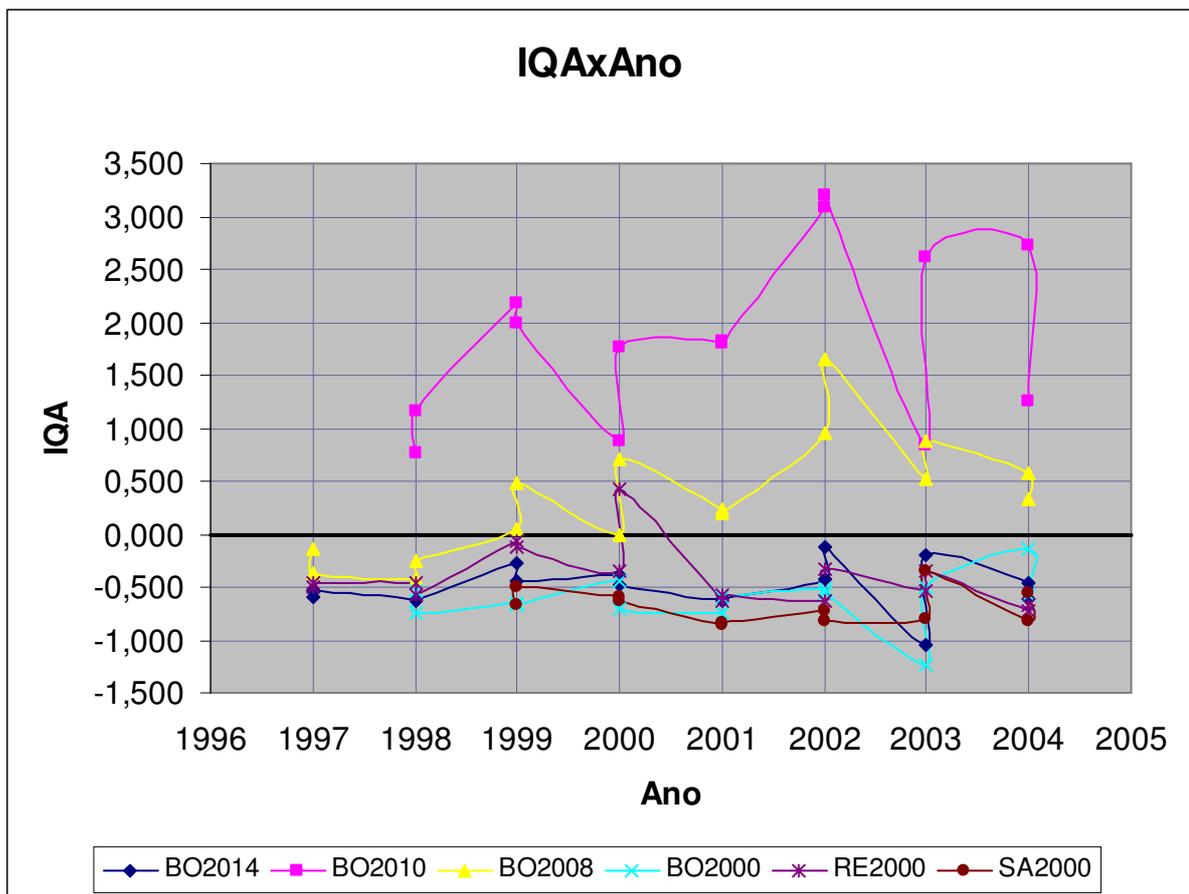


Figura 34 – IQAxAno, variação da qualidade da água de diversos pontos da bacia do córrego Saladeiro ao longo do tempo, resultante da análise das 19 variáveis.

A qualidade da água no ponto BO2010 apresentou o pior valor em todos os anos, pois é o ponto do córrego Bonito mais impactado. O resultado obtido pode ser confirmado nos gráficos de cada parâmetro de qualidade de água mostrados na avaliação anterior a análise fatorial, pois os valores medidos no ponto BO2010 foram os maiores dentre todos os outros locais de amostragem, e conseqüentemente apresenta a pior qualidade.

O ponto BO2008 obteve a segunda pior qualidade de água, mesmo tendo recebido os afluentes Saladeiro (conhecido também por Marambaia) e Restinga, ainda se encontra em área urbanizada e sofre seus impactos.

Os pontos de amostragem próximos à cabeceira e a foz, BO2014 e BO2000 respectivamente, apresentaram melhor qualidade do que os pontos BO2010 e B02008. O afluente Restinga, RE2000, e o Saladeiro, SA2000, apresentaram qualidades com valores próximos a cabeceira e a foz do córrego Bonito.

O mesmo procedimento de análise fatorial foi realizado com as 10 variáveis que apresentam limites padrões na legislação CONAMA 357/2005. Cada variável foi padronizada subtraindo-se o valor original do limite da CONAMA357/2005 para rios classe 2 e dividindo-se o resultado pelo desvio padrão da amostra. As variáveis foram analisadas foram coliforme fecal; DBO; OD; turbidez; pH; sólidos dissolvidos totais; fosfato total; nitrato; nitrito e nitrogênio amoniacal.

O teste KMO resultou em 0,744 e o teste de esfericidade de Bartlett 0,000 que indicou a possibilidade da realização da análise fatorial. E dentre as comunalidades extraídas as variáveis coliformes fecais (0,359) e turbidez (0,480) apresentaram valores menores do que 0,5, ou seja, essas variáveis não se enquadraram na solução encontrada.

A variância total explicada pela solução fatorial foi de 62,679%, com três fatores principais. O fator 1 sozinho explica 39,219%, o fator 2 explica 12,143% e o fator 3 11,318%, totalizando 62,679% da variância.

Tabela 9 – Comunalidades estimadas pelo método da análise das componentes principais para as 10 variáveis.

<i>Parâmetros</i>	<i>Comunalidades</i>
pH	0,631
OD	0,610
DBO	0,799
Colif	0,359
Ptotal	0,620
Turbidez	0,480
NAmonic	0,720
NNitrato	0,635
NNitrito	0,857
SolDTot	0,556

O gráfico (fig. 35) obtido também demonstrou que o primeiro fator possui uma declividade acentuada, sendo que a partir deste a variação é pequena e praticamente constante.

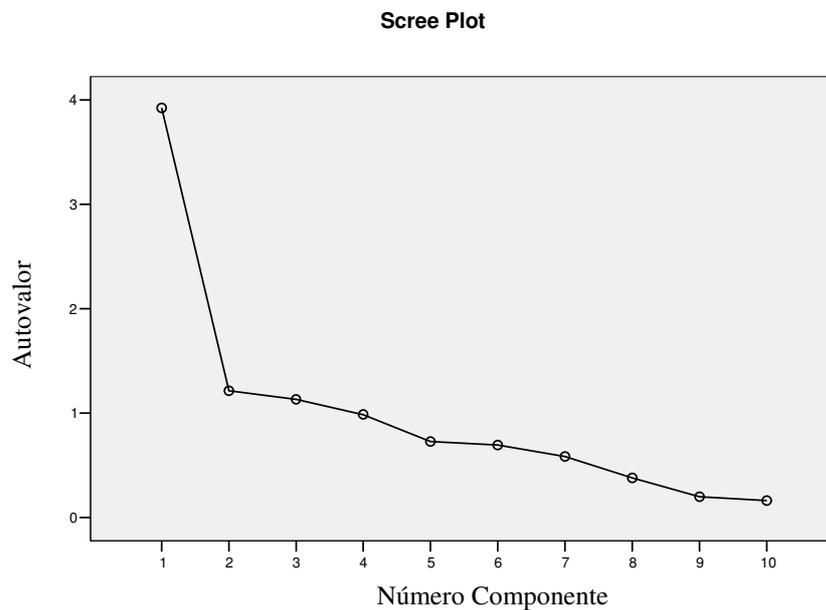


Figura 35 – *Scree Plot* da resultante da análise das 10 variáveis.

A matriz das componentes principais (tab. 10) obtida foi:

Tabela 10 – Matriz das componentes principais resultante da análise das 10 variáveis.

Variável	Componente		
	1	2	3
DBO	0,859	-0,238	0,070
NAmoniac	0,838	-0,031	0,134
NNitrito	0,813	0,291	0,334
OD	-0,758	0,030	0,187
NNitrato	0,656	0,350	0,288
SolDTot	0,592	0,335	-0,306
Colif	0,426	-0,421	-0,002
Turbidez	-0,068	-0,583	0,367
pH	-0,491	0,564	0,268
Ptotal	0,200	0,025	-0,761

Relacionando-se as duas primeiras componentes principais no gráfico F1xF2 (fig. 36), que explicam juntas 51,362% da variância total, é observado que DBO e nitrogênio amoniacal correlacionam-se positivamente, pois a decomposição da matéria orgânica libera amônia. Ambas as variáveis, DBO e nitrogênio amoniacal, relacionam-se negativamente com a variável OD, ou seja, confirma que quanto maior a quantidade de matéria orgânica, menor a quantidade de oxigênio porque a decomposição da matéria orgânica consome oxigênio e ratifica que quando a concentração de oxigênio no meio é baixa a oxidação da amônia para nitrato é reduzida.

As variáveis DBO e nitrogênio amoniacal estão do lado oposto da variável pH em ambos os eixos demonstrando uma relação indireta com esta. PORTO et al (1991) explicam que na medida em que a matéria orgânica é decomposta pode ocorrer a formação de ácidos orgânicos, o que resultará na redução do pH local.

O pH e o OD mostram relação direta no gráfico, pois há formação de gases ácidos como CO₂, H₂S, por exemplo, e de ácidos orgânicos voláteis sob condições anaeróbias (ausência de oxigênio) (PORTO et al, 1991).

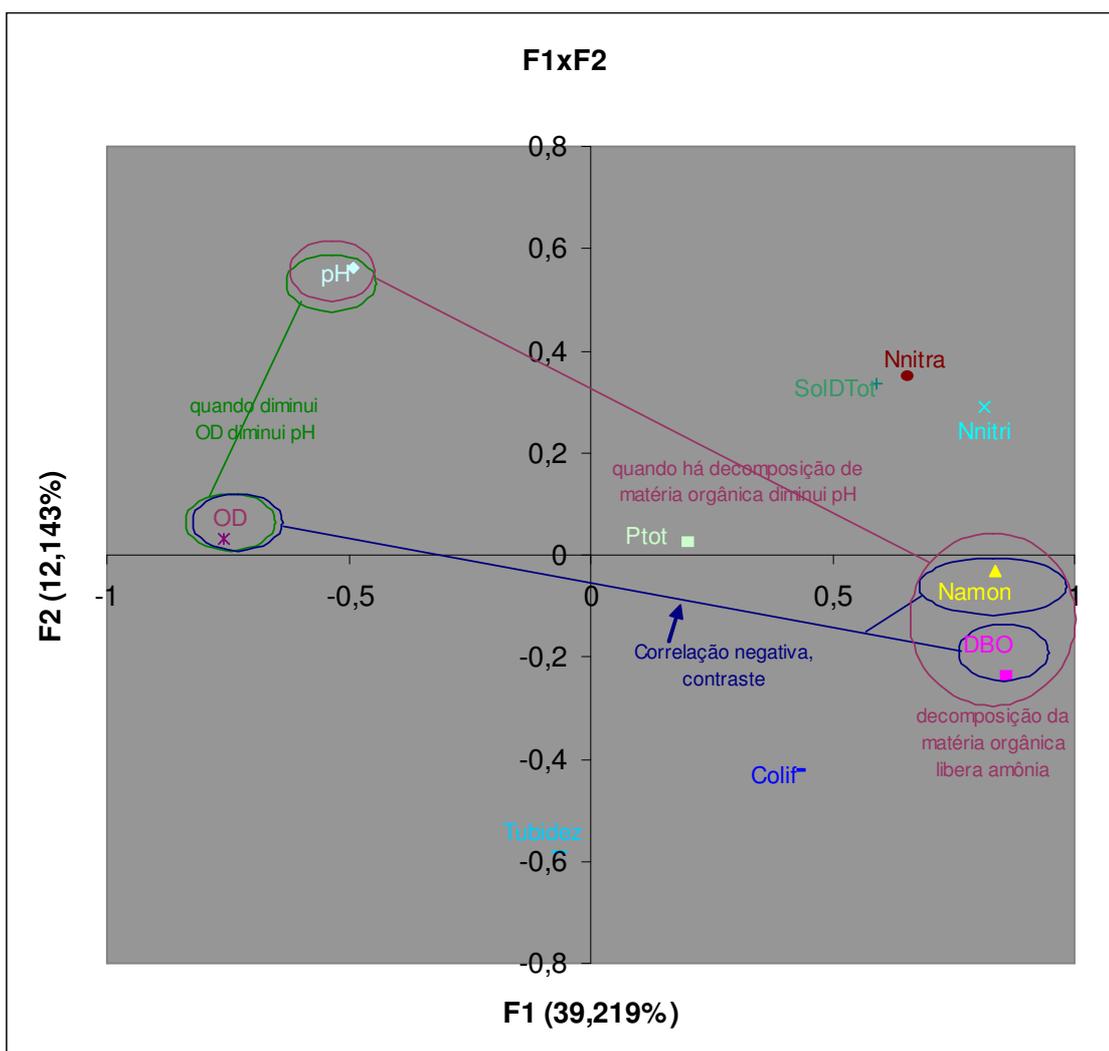


Figura 36 – Relação das duas primeiras componentes principais, F1 e F2, resultante da análise das 10 variáveis.

E a matriz de cargas fatoriais (tab. 11) é:

Tabela 11 – Matriz das cargas fatoriais resultante da análise das 10 variáveis.

Variável	Componente		
	1	2	3
pH	-0,125	0,465	0,237
OD	-0,193	0,024	0,165
DBO	0,219	-0,196	0,062
Colif	0,109	-0,347	-0,002
Ptotal	0,051	0,020	-0,673
Turbidez	-0,017	-0,480	0,324
NAmonic	0,214	-0,025	0,118
NNitrato	0,167	0,288	0,255
NNitrito	0,207	0,239	0,295
SolDTot	0,151	0,276	-0,270

Utilizando-se fator 1 como índice de qualidade de água (IQA) sua expressão (eq. 8) de cálculo utilizando as variáveis padronizadas é:

$$IQA = F = 0,219Z_1 + 0,214Z_2 + 0,207Z_3 - 0,193Z_4 + 0,167Z_5 + 0,151Z_6 - 0,125Z_7 + 0,051Z_8 \quad (8)$$

Observa-se que as variáveis que mais influenciam em sua variação são DBO, nitrogênio amoniacal, nitrito, OD e nitrato no fator 1, confirmando mais uma vez a influência do nutriente nitrogênio na qualidade da água local.

O IQA calculado para os seis locais de amostragem nos diferentes anos de coleta resultou em um gráfico (fig. 37) com o objetivo de facilitar visualização da evolução da variação da qualidade da água da microbacia do córrego Saladeiro utilizando apenas os 10 parâmetros coletas com limites estabelecidos pela legislação CONAMA 357/2005.

Mais uma vez é confirmada a pior qualidade da água no ponto BO2010 seguida do ponto BO2008 e os pontos BO2014 e BO2000 respectivamente, apresentaram melhor qualidade do que os pontos anteriores, assim como o afluente Restinga, RE2000, e o Saladeiro, SA2000, apresentaram qualidades com valores próximos a cabeceira e a foz do córrego Bonito.

A forma como as medidas dos 10 parâmetros, com limites estabelecidos pelo CONAMA 357, foram padronizadas levaram os valores do IQA para baixo do eixo da variável dependente (ano) mostrando apenas mudança de escala, pois a variação da qualidade da água foi apresentada da mesma maneira do IQA calculado com todos os 19 parâmetros do relatório da SEMA/MS. O gráfico comprova que quanto menor o valor do IQA melhor será a qualidade da água.

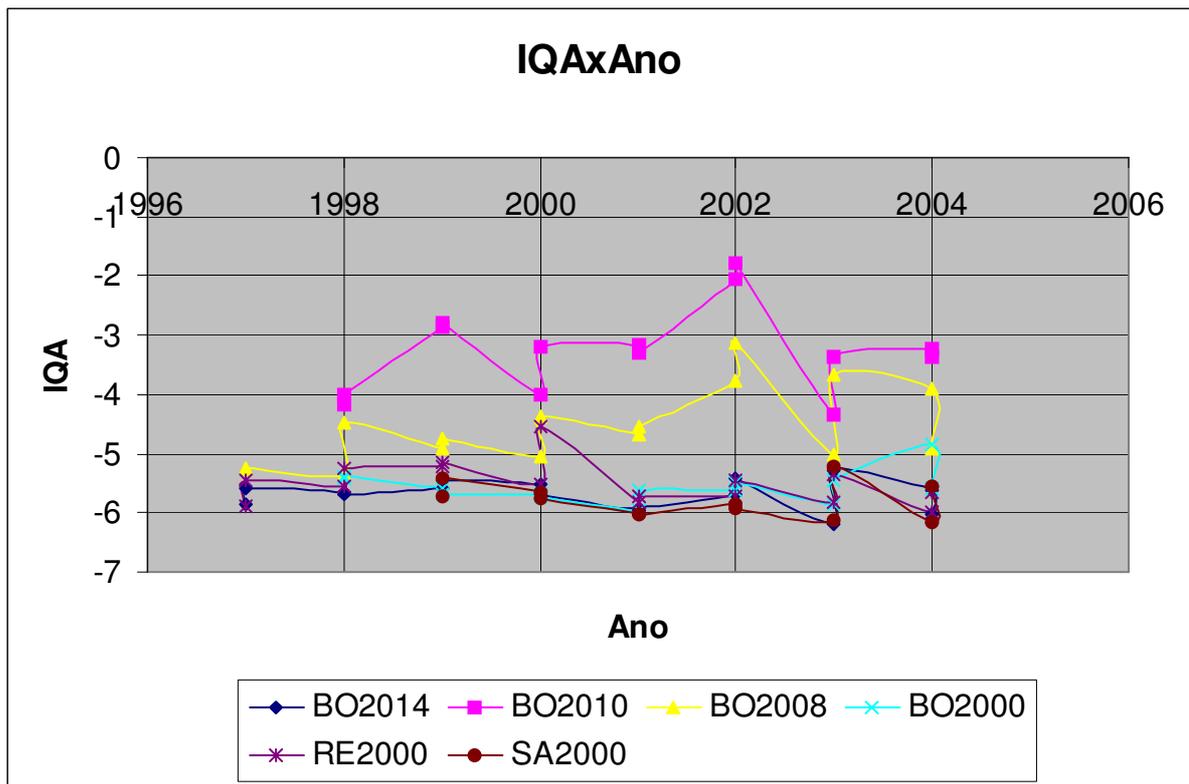


Figura 37 – IQAxAno, variação da qualidade da água de diversos pontos da bacia do córrego Saladeiro ao longo do tempo, resultante da análise das 10 variáveis.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O uso da técnica de análise fatorial para a determinação do IQA para a bacia do córrego Saladeiro demonstrou a variação da qualidade da água da microbacia, confirmando o impacto negativo da urbanização na qualidade da água, e sua confiabilidade foi ratificada pela análise de cada parâmetro realizada antes da aplicação da técnica estatística.

O IQA calculado com todos os 19 parâmetros medidos pela SEMA/MS foi representado pela primeira componente principal (fator 1) porque explicou 44,02% da variância dos dados. As variáveis nitrogênio total, nitrogênio total Kjeldahl, ortofosfato, DBO, nitrogênio amoniacal, nitrito, resíduo total, DQO e OD foram as que mais contribuíram com o IQA calculado pelo método da análise fatorial. E quanto menor o valor do IQA melhor é a qualidade da água.

O mesmo ocorreu quando analisados apenas os 10 parâmetros que possuem limites padronizados pela CONAMA 357/2005, a primeira componente principal foi escolhida para representar o IQA, visto que explicou aproximadamente 39% da variância total dos dados. E as variáveis que mais influenciam em sua variação foram DBO, nitrogênio amoniacal, nitrito, OD e nitrato, confirmando a poluição orgânica da água local. O IQA também apresentou menores valores para a melhor qualidade da água.

A análise estatística dos dados históricos do monitoramento da qualidade das águas da microbacia do córrego Saladeiro mostrou-se importante para auxiliar na gestão da mesma. O parâmetro que mais influencia na qualidade da água é o nitrogênio, como observado nas análises multivariadas.

Os altos valores para coliformes fecais devem ser melhores avaliados, pois existe na região uma grande biodiversidade, a intensa atividade turística, além do uso do solo da bacia pela pecuária. Observa-se a importância de se criar um índice de qualidade de água a partir do estudo dos dados históricos da região, porque facilitou a escolha dos parâmetros de maior influência local possibilitando a otimização do monitoramento da área.

O índice de qualidade de água criado por métodos estatísticos é flexível a escolha de parâmetros para sua composição, desta forma seria interessante medições de dureza total, carbonatos e metais como cálcio, magnésio e sódio, os quais são característicos da formação calcária em que a bacia está inserida. A presença dos carbonatos podem causar efeito tampão nas águas mantendo o pH próximo a neutralidade, além da possibilidade de reagir com outras substância provocando sua sedimentação.

O índice busca mostrar de forma resumida as possíveis alterações na qualidade da água, então pode ser considerado um instrumento facilitador do monitoramento e gestão da qualidade dos corpos hídricos que compõem uma bacia hidrográfica. Observando que a Política Nacional de Recursos Hídricos prevê que uma parcela dos componentes de comitês de bacia seja da população residente na área, sendo pessoas, na maioria das vezes, que não possuem formação técnica na área de recursos hídricos e os índices facilitam a transmissão de informações a respeito da qualidade da água.

Essa pesquisa pode auxiliar os gestores nas mediações de conflitos de usos múltiplos no município, através da observação da variação da qualidade da água com as mudanças dos parâmetros utilizados no cálculo do índice. O IQA obtido permitirá a complementação do diagnóstico da qualidade hídrica da bacia, auxiliando de forma eficaz nas tomadas de decisões.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALAM, Md. J.B.; MUYEN, Z.; ISLAM, M. R.; ISLAM, S.; MAMUN, M.. Water quality parameters along rivers. **Int. J. Environ. Sci. Tech.**, 4 (1), 159-167. 2007.

ANA – Agência Nacional das Águas. **A ANA na gestão das águas. Usos Múltiplos.** Disponível em: <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/UsosMultiplos/default.asp>. Acesso em: 20 de Dezembro de 2006.

BANCO MUNDIAL. **Gerenciamento de recursos hídricos.** Org. Fernando Antonio Rodriguez. Trad. Henrique Chaves. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1998. 292p.

BINI, Luís Maurício. Análise Multivariada e Limnologia: Exploração, Síntese e Inferência de um Mundo Aquático Complexo. In: BICUDO, Carlos E. de M.; BICUDO, Denise de C. (Org.). **Amostragem em limnologia.** São Carlos: RiMa, 2004. cap. 5, p.73-107.

BONITO (Município). **Lei nº. 947** de 17 de dezembro de 2002. Dispõe sobre o uso, ocupação e parcelamento do solo e dá providências. Bonito, Mato Grosso do Sul, Brasil. 17 de dezembro de 2002.

BORGES, Maurício J.; GALBIATTI, João A.; BELLINGERI, Paulo A.. Qualidade hídrica do córrego Jaboticabal sob a ação de interceptores de esgoto, em diferentes épocas do ano. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.23, n.3, p.521531, Set./Dez. 2003.

BOYACIOGLU, Hülya. Surface water quality assessment using factor analysis. **Water SA.** v.32, n. 3, Julho de 2006.

BRANCO, Samuel Murgel. **Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária.** 3 ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 640p.

BRASIL. Leis, etc. Resolução CONAMA n. 20, de 18 de junho de 1986. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. **Diário Oficial da União, 30 de julho de 1986.**

BRASIL. Leis, etc. Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº. 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº. 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União, 9 de janeiro de 1997.**

BRASIL. Leis, etc. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000a. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, 18 de julho de 2000.**

BRASIL. Leis, etc. Resolução CONAMA n. 274, de 29 de novembro de 2000b. Dispõe sobre a balneabilidade dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, 08 de janeiro de 2001.**

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agência Nacional das Águas. SEMA/IMAP/Gerência de Recursos Hídricos de Mato Grosso do Sul (Coord.). **Bacia Hidrográfica do Rio Formoso.** Campo Grande, MS, 2002. 66p.

BRASIL. Leis, etc. **Portaria n. 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

BRASIL. Leis, etc. Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, 18 de março de 2005.**

BRAZILIAN TRAVEL BUREAU S.A.. Brasilviagem.com, **O melhor do turismo no Brasil**. Disponível em: <http://www.brasilviagem.com/estado/?Estado=12>, Acesso em: 26 de Abril de 2007. 2006.

BRITO, Luiza T. De L.; SILVA, Aderaldo De S.; SRINIVASA, Vajapeyam S.; GALVÃO, Carlos De O.; GHEYI, Hans R. Uso de análise multivariada na classificação das fontes hídricas superficiais da bacia hidrográfica do salitre. **Eng. Agríc., Jaboticaba**. v.26, n.1, p.58-66, jan./abr. 2006.

CARVALHO, Rocine Castelo de; MAGRINI Alessandra. Conflicts over Water Resource Management in Brazil: A Case Study of Inter-Basin Transfers. **Water Resources Management**. v.20, p. 193–213, 2006.

COMTUR, Conselho Municipal de Turismo de Bonito/MS. **Dados sobre o município de Bonito, MS**. Disponível em: http://www.bonito-ms.com.br/site/bonito-dados_do_municipio.asp. Acesso em: 20 de outubro de 2006. 2003.

CUNHA, Pedro; ALÍPAZ, Suzana; SANTOS, Devanir Garcia dos. Legal aspects on brazilian land use and soil and water conservation. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, Special Issue, 604-614, May, 2005.

DEBELS, Patrick; FIGUEROA, Ricardo; URRUTIA, Roberto; BARRA, Ricardo; NIELL, Xavier. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**. v. 110, p. 301-322. 2005.

DIAS, Celina Aparecida. A qualidade das águas no município de Bonito MS. In: 2º SIMPOSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE – SIMPORH, 2002, Campo Grande – MS. **Anais**. trab.043, Julho 23-26, 2002.

DIAS, C. A.; OLIVEIRA, D. M.; RIBEIRO, M. L.; GONÇALVES, C. R. S.; ABRÃO, M. E. A. S.. Avaliação da Qualidade das Águas Superficiais do Rio Formoso no Balneário Municipal, na Ilha do Padre e Foz em Bonito-MS, utilizando-se o IQA-NSF_{CETESB} e IQA_{PRATI}. In: 3º SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO CENTRO OESTE – SIMPORH, Goiânia – MS. **CD ROM**. Maio 20-22, 2004.

DUARTE NETO, Eurico. **Gestão integrada de recursos hídricos: Saneamento básico na área metropolitana da sub-bacia do rio Atibaia**. Campinas, 2005. 154p. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociência, Unicamp, Campinas.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II. **Determinação do Índice de Qualidade das Águas para a bacia hidrográfica dos rios Turvo, Santa Rosa e Santo Cristo**. Produto 6. 2005.

FUNDAÇÃO CANDIDO RONDON. **Diagnóstico Ecosocioambiental de Bonito/MS - Relatório preliminar para apreciação pública - Julho de 2006**. Prof. Dr. Ido Luiz Michels (Org.). 2006.

HAASE, J.; STRINGUINI, M. H.; SILVA, M. L. B. C.; RODRIGUES, M. L. K.; KOCH, S. M. V. Qualidade das águas superficiais do litoral norte e médio do Rio Grande do Sul. In: 22 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2003, Joinville - SC. **Anais**. Rio de Janeiro, ABES, VI049, 2003. 17p.

HAIR, Joseph F. Jr.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAM, Ronald L.; BLACK, William C.. **Análise multivariada de dados**. Trad. Adonai Schlup Sant’Anna e Anselmo Chaves Neto. Porto Alegre: Bookman. 5 ed. 2005.

IBGE. **Banco de dados**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2006. 2006.

KUBRUSLY, Lucia Silva. Um procedimento para calcular índices a partir de uma base de dados multivariados. **Pesquisa Operacional**. v. 21, n. 1, p.107-117, Junho de 2001.

LAUREANO, José Santos Flores; NÁVAR, José. An Assessment of Stream Water Quality of the Rio San Juan, Nuevo Leon, Mexico, 1995–1996. **J. Environ. Qual.** 2002 31: 1256-1265

MARTINS, Fabio Silva; LERMEN, Vanessa Kelly; NERY, Jonas Teixeira. Variabilidade interanual da precipitação na bacia do rio Iguaçu. **Acta Scientiarum.** Maringá, v. 23, n. 6, p. 1439-1444, 2001.

MATO GROSSO DO SUL. Lei Estadual nº. 90, de 02 de junho de 1980. Dispõe sobre as alterações do meio ambiente, estabelece normas de proteção ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial, de 02 de junho de 1980.**

MATO GROSSO DO SUL. Deliberação CECA/MS N°003, de 20 de junho de 1997. Dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. **Diário Oficial nº 4575, de 24 de julho de 1997.**

MATO GROSSO DO SUL. Lei nº 2.406, de 29 de janeiro de 2002a. Institui a Política Estadual dos Recursos Hídricos, cria o Sistema Estadual de Gerenciamento dos Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial nº 5.907, de 30 de dezembro de 2002.**

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Instituto de Meio Ambiente Pantanal. Gerência de Recursos Hídricos. Projeto GEF Pantanal/Alto Paraguai (ANA/GEF/PNUMA/OEA). Subprojeto 1.6 MS – Gerenciamento de Recursos Hídricos nas Vizinhanças da Cidade de Corumbá (MS). **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Alto Paraguai**, MS, ed.1996, 1997-1998, 1999, 2000, 2001, 2002b, 2003 e 2004.

MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos/Instituto de Meio Ambiente Pantanal. Gerência de Recursos Hídricos. Projeto GEF Pantanal e Alto Paraguai (ANA/GEF/PNUMA/OEA). Subprojeto 1.6 MS – Gerenciamento de Recursos Hídricos nas Vizinhanças da Cidade de Corumbá (MS). **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais da Bacia do Alto Paraguai em Mato Grosso do Sul – Período 1994-2004.** Campo Grande, MS, 2005. 105p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Conteúdo: v. 1. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil – v. 2. Águas para o futuro: cenários para 2002 – v. 3. Diretrizes – v. 4. Programas nacionais e metas. Brasília: MMA, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/index.php?ido=conteudo.monta&idEstrutura=73&idMenu=3411>. Acesso em: 30 de abril de 2007.

MOITA, José Machado Neto; MOITA Graziella Ciaramella. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. **Química Nova**, v.21, n.4, p.467-469,1998.

MOLOZZI, Joseline; PINHEIRO, Adilson; SILVA; Marcos Rivail da. Qualidade da água em diferentes estádios de desenvolvimento do arroz irrigado. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v.41, n.9, p.1393-1398, Setembro, 2006.

MOTA, Suetônio. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro: ABES. 1 ed., 292p., 1997.

OLIVEIRA, Márcia Divina; FERREIRA, Celso João. Estudos limnológicos para o monitoramento da bacia hidrográfica do rio Miranda, Pantanal Sul. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Embrapa, v. 54, 62 p., 2003.

OUARDA, Taha B.M.J.; ST-HILAIRE, André; BRUN, Guy; Simon C., COURTENAY; BOGHEN, Andrew D.; BOBÉE, Bernard. Multivariate analysis of water quality in the Richibucto drainage basin (new brunswick, canada). **Journal of the American Water Resources Association**, v. 40, n. 3, p. 691-703, Junho 2004.

PEREIRA, Mauri César Barbosa; MENDES, Carlos André B.; DIAS, Felipe Augusto; LANGE, Maria Bernadete Ribas; BECKER, Michael; BARRETO, Samuel Röiphe; GREHS, Sandor Arvino. **Bacia hidrográfica do rio Miranda: estado da arte**. Campo Grande: UCDB. 177 p. 2004.

PETERSON W.; BERTINO L.; CALLIES U.; ZORITA E. Process identification by principal component analysis of river water-quality data. Ecological modelling. ISSN 0304-3800. In: CONGRÈS 2ND ISEM - EUROPEAN ECOLOGICAL MODELLING CONFERENCE, Pula, Croatia, September 20-24, 1999. **Anais**. vol. 138, no 1-3 (15 ref.), pp. 193-213. 2001.

PIMENTEL, Maria Fernanda. Análise estatística de dados do monitoramento da qualidade das águas do rio Ipojuca e do reservatório Tapacurá. Relatório final consolidado. Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II. Componente: Desenvolvimento Institucional Subcomponente: Monitoramento da Qualidade da Água. Projeto: **Monitoramento da Qualidade da Água como Instrumento de Controle Ambiental e Gestão de Recursos Hídricos no Estado de Pernambuco**. Recife, 2003a.

PIMENTEL, Maria Fernanda. Análise estatística de dados do monitoramento da qualidade das águas do rio Ipojuca e do reservatório Tapacurá. Relatório final consolidado. Programa Nacional do Meio Ambiente II – PNMA II. Componente: Desenvolvimento Institucional Subcomponente: Monitoramento da Qualidade da Água. Projeto: **O projeto do Estado do Pernambuco**. Recife, 2003b.

PIVATTO, M. A. C.. **Nossa história**. Disponível em: <<http://www.bonito-ms.com.br/site/bonito-historico.asp>>. Acesso em: 20 de Setembro de 2006. 2003.

PORTO, Rubem La Laina (Org) et al. *Hidrologia Ambiental*. São Paulo: ABRH,1991. 410p.

RODRIGUES, Maria Lucia Kolowski; RODRÍGUEZ, Maria Tereza Raya. Statistical factor analysis of heavy metal pollution in the Caí river basin sediments (Brazil). In: 2ND INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CONTAMINATED SEDIMENTS, Quebec City, Canadá. **Pôster**. 26-28 de Maio, 2003.

SCREMIN, Marcos Antônio Antonello. **Método para a seleção do número de componentes principais com base na lógica difusa**. Florianópolis, 2003. 124p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis. 2003.

SEMAD - Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais/Unidade de Coordenação Estadual. Programa Nacional do Meio Ambiente – PNMA II. Subcomponente Monitoramento da Qualidade da Água. Sistema de Cálculo da Qualidade da Água (SCQA) Estabelecimento das Equações do índice de Qualidade das Águas (IQA). Relatório 1. Atividade 01.02.03.08.05: Divulgação das informações alcançadas sobre as condições de qualidade e quantidade das águas na Bacia do Alto Rio das Velhas. Tarefa 01.02.03.08.05.01: **Aprimorar o banco de dados de monitoramento da qualidade das águas da Bacia do Alto Rio das Velhas já existentes.** 2005.

SILVA, Ricardo Toledo; PORTO, Monica Ferreira do Amaral. Gestão urbana e gestão das águas: caminhos da integração. **Estudos Avançados.** 17 (47). p. 129-145. 2003.

SPSS, Inc.(2004), **SPSS for Windows, Version 13.0.** Chicago: SPSS, Inc.

SUBSECRETARIA DE COMUNICAÇÃO INSTITUCIONAL DA SECRETARIA-GERAL DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA (2006). **Plano de recursos hídricos vai nortear uso racional da água até 2020.** nº 413 - Brasília, 22 de março de 2006. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/noticias/em_questao/.questao/eq413>. Acesso em: 25/03/2005.

T&C AMAZÔNIA. **Brasil terra das águas.** Ano IV, n. 9, Agosto de 2006.

TOLEDO, Luís Gonzaga de; NICOLELLA, Gilberto. Índice de qualidade de água em microbacia sob uso agrícola e urbano. **Scientia Agricola**, v.59, n.1, p.181-186, jan./mar. 2002.

TOLEDO, Luís Gonzaga de; DESCHAMPS, Francisco C.; NICOLELLA Gilberto; NOLDIN, José Alberto; EBERHARDT, Domingos Sávio. Impacto ambiental da cultura do arroz irrigado com uso de índice de qualidade de água (IQA). **Comunicado Técnico.** Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. ISSN 1516-8638, Jaguariúna, SP, Novembro, 2002.

TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, Ivanildo; CORDEIRO, Oscar. **Relatório nacional sobre o gerenciamento da água no Brasil.** Janeiro/2000. Disponível em: <<http://www.eclac.cl/DRNI/proyectos/samtac/InBr00200.pdf>>. Acesso em: 14 de Dezembro de 2006. 2000.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais. v.1, 1995.

WARNER, Glenn S.; SANTOS-ROMAN, Deborah M.; SCATENA, Frederick. Multivariate analysis of water quality and physical characteristics of selected watersheds in Puerto Rico1. **Journal of the American Water Resources Association**. v. 39, n. 4, p. 829-839. Agosto, 2000.

ZEILHOFER, Peter; LIMA, Eliana Beatriz Nunes Rondon; LIMA, Gilson Alberto Rosa. Spatial patterns of water quality in the Cuiabá river basin, central Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**. n.123, p.41-62, 2006.

