



Andrés Benjamín Paladines Andrade

**Modelo Inteligente de Avaliação da Qualidade de Água e da
Qualidade Ambiental para um Reservatório Tropical
Oligo-mesotrófico.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio.

Orientador: Profa. Marley María Bernárdez Rebuzzi Vellasco
Co-orientador: Profa. Christina Wyss Castelo Branco

Rio de Janeiro
Agosto de 2013



Andrés Benjamín Paladines Andrade

**Modelo Inteligente de Avaliação da Qualidade de Água e da
Qualidade Ambiental para um Reservatório Tropical
Oligo-mesotrófico.**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica da PUC-Rio. Aprovada
pela Comissão Examinadora abaixo assinada.

Profa. Marley María Bernárdez Rebuzzi Vellasco

Orientador

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Profa. Christina Wyss Castelo Branco

Co-Orientador

UNIRio

Profa. Karla Tereza Figueiredo Leite

UESO

Prof. Ricardo Tanscheit

Departamento de Engenharia Elétrica – PUC-Rio

Profa. Elisabete Fernandes Albuquerque Palermo

UNIRio

Prof. José Eugenio Leal

Coordenador Setorial do Centro

Técnico Científico

Rio de Janeiro, 23 de agosto de 2013

Todos os direitos reservados. É proibida a reprodução total ou parcial do trabalho sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Andrés Benjamín Paladines Andrade

Graduou-se em Engenharia Elétrica pela Universidade San Francisco de Quito - Equador 2009.

Ficha Catalográfica

Andrade, Andrés Benjamín Paladines

Modelo inteligente de avaliação da qualidade de água e da qualidade ambiental para um reservatório tropical oligo-mesotrófico / Andrés Benjamín Paladines Andrade ; orientador: Marley Bernárdez Rebuzzi Vellasco; co-orientador: Christina Wyss Castelo Branco. – 2013.

229 f. : il. (color.) ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Elétrica, 2013.

Inclui bibliografia

1. Engenharia elétrica – Teses. 2. Índice de qualidade da água. 3. Índice ambiental. 4. Ferramenta para gestão de águas. 5. Ambiente lântico. 6. Reservatório das lajes. 7. Sistema de inferência Fuzzy I. Vellasco, Marley Bernárdez Rebuzzi. II. Castelo Branco, Christina Wyss. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Elétrica. IV. Título.

CDD: 621.3

Para meus pais, Elsa e Iván.

Agradecimentos

À Deus por ter me guiado nesta jornada.

À CAPES e à PUC-Rio pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

À Profa. Dra. Marley Maria B. R. Vellasco e à Profa. Dra. Christina Wyss Castelo Branco pelo apoio, incentivo e confiança.

Aos meus pais Elsa e Iván por estarem sempre presentes ao meu lado, me apoiando-me ao longo da minha vida.

À minha irmã Natalia pela ajuda e bons conselhos.

À minha Juliana pelo amor, carinho, apoio e, principalmente, pela paciência e compreensão ao longo da elaboração desta tese.

Resumo

Andrade, Andrés Benjamín Paladines; Vellasco, Marley María Bernárdez Rebuzzi. **Modelo Inteligente de Avaliação da Qualidade da Água e da Qualidade Ambiental para um Reservatório Tropical Oligo-mesotrófico**. Rio de Janeiro, 2013. 229 p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Uma forma de avaliar a qualidade da água e a qualidade ambiental de um reservatório para monitoramento futuro é listar e analisar as concentrações de tudo o que a mesma tem. Tal lista poderia ser tão longa quanto o número de elementos analisados, podendo ir de 20 e poucos componentes comuns a centenas. É assim que vários índices de qualidade têm sido propostos por serem capazes de sintetizar o maior número destes parâmetros de qualidade em um único valor de fácil interpretação. Não obstante, uma vez que a maior parte dos índices formulados serem para águas moventes, os mesmos têm pouca utilidade para lagos e reservatórios. Lagos e reservatórios são geralmente avaliados e classificados com base em índices de estado trófico e em análises de suas composições químicas. Porém, um índice de estado trófico não tem a mesma representatividade de um índice de qualidade, visto que o termo qualidade sugere uma avaliação subjetiva, importante ressaltar essa distinção de conceitos. Excelente ou pobre, a referência de qualidade da água depende do seu uso e das atitudes locais das pessoas. A definição de estado trófico e seu índice correspondente deveriam permanecer neutros a tais julgamentos subjetivos, mantendo-se numa estrutura dentro da qual podem ser feitas várias avaliações da qualidade da água. Dessa forma, no presente trabalho, criou-se um modelo de avaliação da qualidade da água e da qualidade ambiental para um reservatório tropical oligo-mesotrófico (reservatório das Lajes) capaz de representar em uma escala numérica as gradações nos níveis de qualidade, além de levar em consideração a subjetividade implícita no conceito de qualidade. A subjetividade da avaliação em discussão motivou o emprego da Lógica Fuzzy, metodologia capaz de representar, de forma mais eficiente e clara, os limites dos intervalos de variação dos parâmetros de qualidade para um conjunto de categorias subjetivas, quando esses limites não são bem definidos ou são imprecisos. Assim, foi desenvolvida uma ferramenta computacional baseada em Sistemas de Inferência

Fuzzy que avalia automaticamente a qualidade em função de variáveis físicas, químicas e biológicas do reservatório. O referido modelo foi desenvolvido com base no conhecimento de especialistas em qualidade de água e qualidade ambiental do Centro de Ciências Biológicas e da Saúde da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) e do Departamento de Biologia Animal da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). O modelo foi avaliado utilizando dados de coleta do reservatório das Lajes coletados no ano 2005, 2008 e 2009.

Palavras-chave

Índice de qualidade da água; Índice Ambiental; Ferramenta para Gestão de Águas; ambiente lântico; Reservatório das Lajes; Sistema de Inferência Fuzzy.

Abstract

Andrade, Andrés Benjamín Paladines; Vellasco, Marley María Bernárdez Rebuzzi (Advisor). **Evaluation Intelligent Model of Water and Environmental Quality for a Tropical Oligo-mesotrophic Reservoir.** Rio de Janeiro, 2013. 229 p. MSc. Dissertation - Departamento de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

There are many approaches to monitor the water and environmental qualities of a reservoir. One approach is to list and analyze the concentration of chemicals and physical characteristics that the amount of water it contains. Such a list could be as long as the number of elements analyzed, from a few common components to hundreds. Thus, many indices have been proposed since they are able to synthesize as many of these quality parameters into a single value for an easy interpretation. However, majority of the indices are formulated to evaluate lentic ecosystems, they have little use for lakes and reservoirs. Lakes and reservoirs are generally evaluated and classified based on trophic state indices and chemical composition analysis. Nevertheless, a trophic state index does not have the same representativeness of a quality index. The term quality implies a subjective judgment that is best kept separate from the concept of trophic state. Excellent or poor, water quality depends on the use of that water and the local attitudes of the people. The definition of trophic state and its corresponding index should remain neutral to these subjective judgments, remaining a framework within which various evaluations of water quality may be made. Accordingly, in today's world of technology and advancement there exists a unique model to evaluate water quality and environmental quality for a tropical oligo-mesotrophic reservoir which is located and known as the reservoir of Lajes in the State of Rio de Janeiro, Brazil. This model is capable of representing quality levels on a numerical scale gradation, and also takes into consideration the subjectivity implicit in the concept of quality. The subjectivity, implicit in the concept of quality, motivated the use of fuzzy logic. This is a methodology to represent more efficiently the limits of ranges of quality parameters for a set of subjective categories, when these limits are not well defined or are inaccurate. As a result, we developed a computational tool based on a Fuzzy Inference System that automatically assesses the quality in terms of the physical, chemical and

biological characteristics of the reservoir. The model was developed based on the knowledge of experts on water quality and environmental quality from the Biological Sciences and Health Center of Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO) and from the Department of Animal Biology of the Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). The model was evaluated with data from the Lajes reservoir during the years 2005, 2008 and 2009.

Keywords

Water Quality Index; Environmental Index; Water Management; lentic ecosystem; Lajes Reservoir; Fuzzy Inference System.

Sumário

1 Introdução	39
1.1. Apresentação	39
1.2. Objetivo Geral	43
1.3. Objetivos Específicos	43
1.4. Descrição do trabalho	44
1.5. Contribuições	44
1.6. Organização do trabalho	45
2 Fundamentos	47
2.1. Características limnológicas consideradas relevantes na elaboração do modelo	47
2.1.1. Processos físicos em Lagos, Reservatórios e Rios	47
2.1.2. Represas Artificiais	57
2.2. Índices de Qualidade e Índices de Estado Trófico	62
2.2.1. Indicadores de Qualidade	62
2.2.2. Índices de Qualidade de Água e Índices de Estado Trófico Tradicionais	63
2.2.3. Índices Fuzzy de Qualidade de Água e Índices Fuzzy de Estado Trófico.	72
2.3. Modelagem Fuzzy	80
2.3.1. Conjuntos Fuzzy	82
2.3.2. Variáveis Linguísticas	86
2.3.3. Sistema de Inferência Fuzzy (SIF)	87
3 Formulação do Modelo Inteligente	93
3.1. Área de Estudo	93
3.1.1. Descrição da área de estudo – o Reservatório de Lajes	93
3.1.2. O trabalho de (SOARES et al., 2008)	95
3.1.3. Locais de amostragem	97
3.2. Metodologias de Cálculo	100

3.3. Descrição do modelo	102
3.4. Indicadores Físicos e Químicos de Qualidade de Água usados na implementação do Índice	105
3.4.1. Temperatura	105
3.4.2. Oxigênio Dissolvido (OD)	105
3.4.3. Potencial Hidrogeniônico (pH)	107
3.4.4. Clorofila-a	107
3.4.5. Série de Nitrogênio (nitrogênio orgânico, amônio, nitrato e nitrito)	108
3.4.6. Fósforo Total	109
3.4.7. Condutividade	110
3.4.8. Turbidez	110
3.5. Índice de Assembleia de Peixes em Reservatórios (IAPR)	111
3.6. Métricas de Assembleia de Peixes em Reservatórios	113
3.6.1. Número de Espécies Nativas	113
3.6.2. Número de Siluriformes Nativos	113
3.6.3. Número de Characiformes Nativos	113
3.6.4. Porcentagem de Biomassa de Espécies não Nativas	113
3.6.5. Dominância	114
3.6.6. Índice de Shannon	114
3.6.7. Número de Lambaris N	114
3.6.8. Número de Hypostomus Affinis	114
3.7. Determinação dos Subíndices	115
3.8. Base de Regras, Conjuntos Fuzzy e Funções de Pertinência	116
3.8.1. Base de Regras	116
3.8.2. Conjuntos Fuzzy e Funções de Pertinência	126
 4 A Ferramenta Computacional	 139
4.1.1. Aplicativo	140
4.1.2. Arquivo Excel “Base”	144
 5 Resultados	 147
5.1. Teste de confiabilidade da ferramenta com MATLAB	147
5.1.1. Índice de qualidade da água	149

5.1.2. Índice Biótico	155
5.2. Avaliação do Índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	161
5.2.1. Análise de resposta do modelo para cada variável	161
5.2.2. Teste do Índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água utilizando dados reais	190
5.3. Avaliação do índice MIAQR-PALADINES de Qualidade Biótica	206
5.3.1. Subíndice A	209
5.3.2. Subíndice B	210
5.3.3. Subíndice C	211
5.3.4. Subíndice D	212
5.3.5. Subíndice E	213
5.3.6. Subíndice F	214
5.3.7. Índice MIAQR-PALADINES Biótico	215
5.3.8. Índice MIAQR-PALADINES Biótico vs. IAPR	216
5.4. Discussão dos resultados	217
5.4.1. Teste da eficácia do modelo com MATLAB.	217
5.4.2. Avaliação do Índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	217
5.4.3. Avaliação do índice MIAQR-PALADINES de Qualidade Biótica	219
6 Conclusões	221
7 Trabalhos futuros	223
Referências Bibliográficas	225

Lista de figuras

Figura 1. Estratificação térmica em lagos.	51
Figura 2. Relação entre a densidade da água e a temperatura.	52
Figura 3. Padrão estacional de estratificação e circulação vertical do Lago D. Helvécio, leste do Brasil.	53
Figura 4. Intrusão de águas na superfície ou no fundo de lagos e represas.	57
Figura 5. Zonas horizontais de um reservatório (Kimmer e Groeger, 1984) e alterações na extensão das zonas, vazão e padrão de mistura para diferentes valores de R (tempo de retenção). A) $10 < R < 100$ dias; B) $RR > 100$ dias; C) $R, 10$ dias.	61
Figura 6. Curvas de variação do oxigênio dissolvido.	64
Figura 7. Curvas Médias de Variação de Qualidade das Águas.	67
Figura 8. Fluxograma de processo do INQA	73
Figura 9. Conjuntos oligotrófico, mesotrófico eutrófico da função membro para fósforo total.	77
Figura 10. Tendência de eutroficação avaliada utilizando avaliação sintética fuzzy para o Reservatório Fei-Tsui, Taiwan.	80
Figura 11. Função de pertinência do conjunto “Pessoas Altas” na teoria clássica dos conjuntos.	83
Figura 12. Função de pertinência do conjunto fuzzy “Pessoas Altas” na teoria dos conjuntos fuzzy.	83
Figura 13. Conjuntos pessoas baixas e pessoas altas	84
Figura 14. Funções de pertinência crescente e decrescente	84
Figura 15. Função de pertinência trapezoidal	85
Figura 16. Função de pertinência triangular	85
Figura 17. Variável linguística	86
Figura 18. Sistema de Inferência Fuzzy.	88
Figura 19. Estrutura básica do processo de Inferência Fuzzy do problema de qualidade da água.	89
Figura 20. Fuzzificação.	89

Figura 21. Diagrama de um sistema de inferência fuzzy completo	91
Figura 22. Mapa do Reservatório de Lajes mostrando os locais de amostragem.	96
Figura 23. Amostras físicas e químicas e biológicas	98
Figura 24. Amostras físicas e químicas e biológicas - zona 1	99
Figura 25. Amostras físicas e químicas e biológicas - zona 2	99
Figura 26. Amostras físicas e químicas e biológicas - zona 3	99
Figura 27. Amostras físicas e químicas e biológicas - zona 4	100
Figura 28. Seleção da metodologia de cálculo para a avaliação de qualidade de água e qualidade biótica	104
Figura 29. Fluxograma dos Subíndices que compõem o Índice de Qualidade da Água	115
Figura 30. Fluxograma dos Subíndices que compõem o Índice de Qualidade Biótica	116
Figura 31. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Temperatura e Oxigênio Dissolvido	127
Figura 32. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: pH e Clorofila-a	128
Figura 33. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Nitrato e Fósforo Total	129
Figura 34. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Nitrito e Amônio	130
Figura 35. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Condutividade e Turbidez	131
Figura 36. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Número de Espécies Nativas e Número de Siluriformes Nativos	132
Figura 37. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Número de Characiformes Nativos e % de Biomassa de Espécies Nativas	133
Figura 38. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Dominância e Índice de Shannon	134
Figura 39. Conjuntos fuzzy e funções de pertinência das variáveis: Número de Indivíduos da Espécie Lambaris e Número de Hypostomus	

Affinis	135
Figura 40. Primeira versão da ferramenta computacional	139
Figura 41. Interface gráfica do aplicativo	140
Figura 42. Controles do aplicativo	141
Figura 43. Configuração dos Sistemas de Inferência Fuzzy (SIF)	142
Figura 44. Características Espaciais: Curva temperatura vs. profundidade, Camadas de Estratificação Térmica e Zona Horizontal da amostra.	142
Figura 45. Zona onde são apresentados os índices finais com seus respectivos subíndices.	143
Figura 46. Vista geral da parte inicial do arquivo <i>Excel</i>	144
Figura 47. Arquivo Excel – Métricas Físicas e Químicas	145
Figura 48. Arquivo Excel – Métricas Biológicas	145
Figura 49. Arquivo Excel – Profundidade vs. Temperatura	145
Figura 50. Arquivo Excel – Localização Geográfica	146
	146
Figura 51. Arquivo Excel – Regras (Ex: Epilímnio-Temperatura)	146
Figura 52. Arquivo Excel – Funções de Pertinência (Ex: Epilímnio-Temperatura)	146
Figura 53. Diagrama da implementação do Índice de Qualidade de Água realizada em Simulink-MATLAB.	149
Figura 54. Resultado dos Subíndices que conformam o Índice de Qualidade da Água (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	152
Figura 55. Resultado dos Subíndices que conformam o Índice de Qualidade da Água (MIAQR e MATLAB Simulink) (continuação)	153
Figura 56. Resultados do Índice de Qualidade da Água (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	154
Figura 57. Diagrama da implementação do Índice de Qualidade biótico realizada em Simulink-MATLAB	155
Figura 58. Resultado dos Subíndices que conformam o Índice Biótico (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	158
Figura 59. Resultado dos Subíndices que conformam o Índice Biótico (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink) (continuação)	159

Figura 60. Resultados do Índice Biótico (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	160
Figura 61. Análise de comportamento do modelo – Variável Temperatura	163
Figura 62. Análise de comportamento do modelo – Variável Temperatura (continuação)	164
Figura 63. Análise de comportamento – Variável Oxigênio Dissolvido	166
Figura 64. Análise de comportamento – Variável Oxigênio Dissolvido (continuação)	167
Figura 65. Análise de comportamento – Variável pH	169
Figura 66. Análise de comportamento – Variável pH (continuação)	170
Figura 67. Análise de comportamento – Variável Clorofila-a	172
Figura 68. Análise de comportamento – Variável Clorofila-a (continuação)	173
Figura 69. Análise de comportamento – Variável Nitrato	175
Figura 70. Análise de comportamento – Variável Nitrato (continuação)	176
Figura 71. Análise de comportamento – Variável Fósforo Total	178
Figura 72. Análise de comportamento – Variável Fósforo Total (continuação)	179
Figura 73. Análise de comportamento – Variável Nitrito	181
Figura 74. Análise de comportamento – Variável Nitrito (continuação)	182
Figura 75. Análise de comportamento – Variável Amônio	184
Figura 76. Análise de comportamento – Variável Amônio (continuação)	185
Figura 77. Análise de comportamento – Variável Condutividade	187
Figura 78. Análise de comportamento – Variável Turbidez	189
Figura 79. Resultados do subíndice 1, ponto de coleta L1 ano 2009	192
Figura 80. Resultados do subíndice 2, ponto de coleta L1, ano 2009	192
Figura 81. Resultados do subíndice 3, ponto de coleta L1 ano 2009	193
Figura 82. Resultados do subíndice 4, ponto de coleta L1, ano 2009	193
Figura 83. Resultados do subíndice 5, ponto de coleta L1 ano 2009	194

Figura 84. Resultados do subíndice 6, ponto de coleta L1, ano 2009	194
Figura 85. Resultados do subíndice 7, ponto de coleta L1 ano 2009	195
Figura 86. Resultados do subíndice 8, ponto de coleta L1, ano 2009	195
Figura 87. Resultados do Índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água, ponto de coleta L1, ano 2009	196
Figura 88. Resultados do subíndice 1, ponto de coleta L5, ano 2009	198
Figura 89. Resultados do subíndice 2, ponto de coleta L2, ano 2009	198
Figura 90. Resultados do subíndice 3, ponto de coleta L5, ano 2009	199
Figura 91. Resultados do subíndice 4, ponto de coleta L5, ano 2009	199
Figura 92. Resultados do subíndice 5, ponto de coleta L5, ano 2009	200
Figura 93. Resultados do subíndice 6, ponto de coleta L5, ano 2009	200
Figura 94. Resultados do subíndice 7, ponto de coleta L5, ano 2009	201
Figura 95. Resultados do subíndice 8, ponto de coleta L5, ano 2009	201
Figura 96. Resultados do índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água, ponto de coleta L5, ano 2009	202
Figura 97. Resultado do índice final para os locais amostrais L2, L3 e L4 , ano 2009	205
Figura 98. Avaliação do subíndice A	209
Figura 99. Avaliação do subíndice B	210
Figura 100. Avaliação do subíndice C	211
Figura 101. Avaliação do subíndice D	212
Figura 102. Avaliação do subíndice E	213
Figura 103. Avaliação do subíndice F	214
Figura 104. Avaliação do índice final	215
Figura 105. Resultados do Índice MIAQR-PALADINES Biótico vs. o IAPR	216

Lista de tabelas

Tabela 1. Parâmetros que compõem o NSF-IQA	64
Tabela 2. Estado trófico como função do nível de nutrientes (OECD)	75
Tabela 3. Coordenadas dos locais de amostragem - variáveis físicas e químicas	97
Tabela 4. Coordenadas dos locais de amostragem - métricas de assembleia de peixes	98
Tabela 5. Critério de atribuição de notas - IAPR	112
Tabela 6. Avaliação da qualidade biótica conforme o valor do IAPR	112
Tabela 7. Variáveis Físicas e Químicas – dados de teste	150
Tabela 8. Resultado dos Subíndices que conformam o Índice de Qualidade da Água (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	151
Tabela 9. Resultados do Índice de Qualidade da Água (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	154
Tabela 10. Variáveis Biológicas – dados de teste	156
Tabela 11. Resultado dos Subíndices que conformam o Índice Biótico (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	157
Tabela 12. Resultados do Índice Biótico (MIAQR-PALADINES e MATLAB Simulink)	160
Tabela 13. Valores constantes dos indicadores segundo o teste	161
Tabela 14. Resultado dos subíndices e índice final caso os indicadores sejam constantes	161
Tabela 15. Influência da variável Temperatura nos subíndices 1,6 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	162
Tabela 16. Influência da variável Oxigênio Dissolvido nos subíndices 1, 6 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	165
Tabela 17. Influência da variável pH nos subíndices 2, 6 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	168
Tabela 18. Influência da variável Clorofila-a nos subíndices 2, 6 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	171
Tabela 19. Influência da variável Nitrato nos subíndices 3, 7 e 8,	

e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	174
Tabela 20. Influência da variável Fósforo Total nos subíndices 3, 7 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	177
Tabela 21. Influência da variável Nitrito nos subíndices 4, 7 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	180
Tabela 22. Influência da variável Amônio nos subíndices 4, 7 e 8, e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	183
Tabela 23. Influência da variável Condutividade nos subíndice 5 e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	186
Tabela 24. Influência da variável Turbidez nos subíndice 5 e no índice MIAQR-PALADINES de Qualidade da Água	188
Tabela 25. Indicadores Físicos e Químicos, ponto de coleta L1, ano 2009	191
Tabela 26. Resultados dos subíndices e índice final, ponto de coleta L1, ano 2009	191
Tabela 27. Indicadores Físicos e Químicos, ponto de coleta L5, ano 2009	197
Tabela 28. Resultados dos subíndices e índice final, ponto de coleta L5, ano 2009	197
Tabela 29. Resultado do índice final, ponto de coleta L2, ano 2009	203
Tabela 30. Resultado do índice final, ponto de coleta L3, ano 2009	203
Tabela 31. Resultado do índice final, ponto de coleta L4, ano 2009	204
Tabela 32. Base de dados utilizada na avaliação do Índice MIAQR-PALADINES Biótico	207
Tabela 33. IAPR, subíndices e índice MIAQR-PALADINES Biótico resultantes da avaliação	208
Tabela 34. Resultados do Índice MIAQR-PALADINES Biótico vs. o IAPR	216