

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Biológicas
Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação dos
Recursos Naturais

Márcio de Oliveira

**Limnologia da Paisagem com uso de Regressão Geograficamente Ponderada:
estudo da qualidade da água na represa de Chapéu D'Uvas, MG**

Juiz de Fora

2018

Márcio de Oliveira

**Limnologia da Paisagem com uso de Regressão Geograficamente Ponderada:
estudo da qualidade da água na represa de Chapéu D'Uvas, MG**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação dos Recursos Naturais da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ecologia.

Orientador: César Henrique Barra Rocha

Coorientador: Lupércio França Bessegato

Juiz de Fora

2018

Ficha catalográfica elaborada através do Modelo Latex do CDC da UFJF
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

OLIVEIRA, Márcio de.

Limnologia da Paisagem com uso de Regressão Geograficamente Ponderada : estudo da qualidade da água na represa de Chapéu D'Uvas, MG / Márcio de Oliveira. – 2018.

222 f. : il.

Orientador: César Henrique Barra Rocha

Coorientador: Lupércio França Bessegato

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação dos Recursos Naturais, 2018.

1. Limnologia da paisagem. 2. Regressão geograficamente ponderada. 3. Qualidade da água. 4. Uso e cobertura da terra. 5. Represa de Chapéu D'Uvas. I. Rocha, César Henrique Barra, orient. II. Bessegato, Lupércio França, coorient. III. Título.

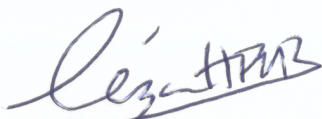
**"LIMNOLOGIA DA PAISAGEM COM USO DE REGRESSÃO
GEOGRAFICAMENTE PONDERADA: ESTUDO DA BACIA DE
CONTRIBUIÇÃO DA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS, MG."**

Márcio de Oliveira

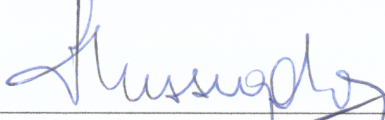
Orientador: Prof. Dr. César Henrique Barra Rocha

Tese apresentada ao Instituto de
Ciências Biológicas, da
Universidade Federal de Juiz de
Fora, como parte dos requisitos
para obtenção do Título de
Doutor em Ecologia Aplicada ao
Manejo e Conservação de
Recursos Naturais.

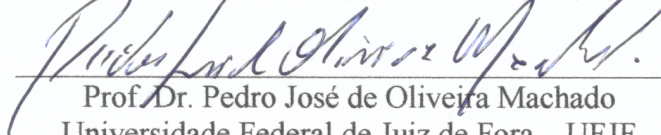
Aprovado em 28 de fevereiro de 2018.



Prof. Dr. César Henrique Barra Rocha
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



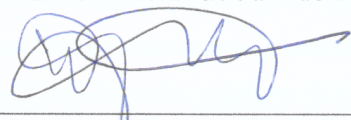
Prof. Dr. Lupércio França Bessegato
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



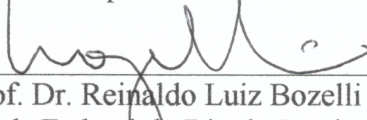
Prof. Dr. Pedro José de Oliveira Machado
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Otávio Eurico de Aquino Branco
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Henrique da Silva Pizzo
Companhia Municipal de Saneamento- Cesama



Prof. Dr. Reinaldo Luiz Bozelli
Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ

Dedico este trabalho a todos aqueles que, não sabendo que é impossível, vão lá e fazem.

AGRADECIMENTOS

Neste momento é indispensável agradecer àqueles que tornaram possível a realização do trabalho. Aos parceiros: Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora (Cesama) e 4º Batalhão de Bombeiros Militar de Juiz de Fora, MG. Na Cesama, pessoalmente ao Diretor Técnico Operacional Engenheiro Márcio Augusto Pessoa Azevedo, Gerente de Operação Engenheiro Francisco de Assis Araújo, à equipe do Laboratório Central, especialmente ao Chefe do Laboratório Ronaldo, Bioquímica Vivian e ao Biólogo, Mestre em Ecologia pelo Pgecol, Rafael Paiva. Ao comando do 4º BBM, ao Cabo Demétrius pela dedicação como piloto da embarcação e no preparo das campanhas, também ao Cabo Maia, Cabo Soares, e todos os bombeiros empenhados nesta missão. Agradeço o apoio do Laboratório de Ecologia Aquática, na pessoa do professor Nathan, mas de modo muito especial ao amigo Gladson, ou melhor, o Tenente Marques, oficial R2 de artilharia do Exército Brasileiro, foi um prazer reencontrá-lo depois de nosso período de formação militar. Com sua atenção e dedicação muito me ajudou e orientou na realização das análises. Ao Núcleo de Análise Geo Ambiental da Faculdade de Engenharia da UFJF, o Nagea, em especial ao Mestre Antoine Casquin, colega francês de pós graduação e companheiro de diversas campanhas nas represas de São Pedro e Dr João Penido, com quem muito aprendi. Também aos bolsistas de graduação Ana Carolina, Guilherme, Lucas e Fábio. Agradeço ao meu Orientador, professor César, coordenador do Nagea, pela oportunidade e por acreditar na minha capacidade para a realização desta pesquisa, por sua amizade e compreensão. Ao coorientador, professor Lupércio Bessegato, sempre prestativo e disposto a colaborar. Aos professores Pedro Machado e Cristhian Ribeiro, os quais também desenvolveram pesquisas em Chapéu D'Uvas e desde o início contribuíram com dados, informações, seu conhecimento e tempo para me ajudarem no desenvolvimento do trabalho. Aos amigos do Departamento de Engenharia de Produção, Roberto Malheiros, Roberta Nunes, Fernando Nogueira e Eduardo Castro, os quais me incentivaram ao longo desta caminhada. Aos amigos do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, professores Otávio Eurico e Celso Bandeira, também incentivadores e apoiadores. Agradeço a minha amada esposa pela compreensão e dedicação ao longo desses 20 anos de matrimônio, a conquista desta etapa não seria possível, como sempre, sem o seu apoio. Aos meus amados filhos pelo carinho e alegria.

"Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque na sepultura, para onde tu vais, não há obra nem projeto, nem conhecimento, nem sabedoria alguma."Eclesiastes, 9:10

"Se tiver o hábito de fazer as coisas com alegria, raramente encontrará situações difíceis."Baden Powell, fundador do escotismo

RESUMO

A represa de Chapéu D'Uvas é um importante manancial de abastecimento público para o município de Juiz de Fora, MG, sendo a expectativa de garantia de água para as próximas décadas em quantidade e qualidade. Ao longo dos anos a bacia de contribuição da represa vem passando por um processo de ocupação antrópica, sendo preocupante a possibilidade de impactos sobre o manancial. A pesquisa aqui apresentada teve por objetivo identificar as relações espaciais entre o uso e cobertura da terra na bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas e a qualidade da água do reservatório. A metodologia passou por um estudo com sensoriamento remoto e geoprocessamento para conhecimento das condições de uso e cobertura da terra, e da manutenção das áreas de preservação permanente. Foram analisados dados históricos de qualidade da água no ponto de captação fornecidos pela Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora, Cesama, relativos aos anos de 2005 a 2017. Também foram realizadas campanhas para amostragem na represa e nos principais tributários, nos anos de 2016 e 2017. Os dados de uso e cobertura da terra e de qualidade da água foram analisados a partir dos princípios da limnologia da paisagem e com a aplicação da regressão geograficamente ponderada. Os resultados mostraram como as variáveis densidade de cianobactérias, *E. coli*, condutividade elétrica, oxigênio consumido, ortofosfato, nitrato e demanda química de oxigênio foram influenciadas, principalmente, pelo percentual de áreas de mata, pastagens, silvicultura e área urbanizada. A declividade média das sub bacias também influenciou nos resultados. A ponderação geográfica diferenciou as influências das sub bacias conforme sua posição mais próxima ou mais afastada da barragem. Desse modo, por meio da análise das correlações entre as variáveis, foi possível identificar os efeitos da ocupação da bacia de contribuição sobre a qualidade da água, e, assim, relacionar as principais questões que merecem atenção dos gestores do manancial.

Palavras-chave: Limnologia da paisagem. Regressão geograficamente ponderada. Qualidade da água. Uso e cobertura da terra. Represa de Chapéu D'Uvas.

ABSTRACT

The Chapéu D'Uvas dam is an important source of public water supply for the municipality of Juiz de Fora, MG, with the expectation of guaranteeing water for the coming decades in quantity and quality. Over the years the watershed of the dam has undergone a process of anthropic occupation, being worrying the possibility of impacts on the source. The research presented here aimed to identify the spatial relationships between land use and land cover in the watershed of the Chapéu D'Uvas dam and the water quality of the reservoir. The methodology underwent a study with remote sensing and geoprocessing to know the conditions of use and land cover, and the maintenance of permanent preservation areas. Historical data on water quality at the catchment point provided by the Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora, Cesama, were analyzed for the years 2005 to 2017. Campaigns were also conducted for sampling at the reservoir and at the main tributaries, in the years 2016 and 2017. Data on land use and land cover and water quality were analyzed from the principles of landscape limnology and the application of geographically weighted regression. The results showed that the variables density of cyanobacteria, *E. coli*, electrical conductivity, oxygen consumed, orthophosphate, nitrate and chemical oxygen demand were influenced mainly by the percentage of forest, silviculture, pasture, and urbanized areas. The longitudinal profile of the sub basins also influenced the results. The geographic weighting differentiated the influences of the sub basins according to their position closest to or farther from the dam. Thus, through the analysis of the correlations between the variables, it was possible to identify the effects of the occupation of the basin of contribution on water quality, and, thus, to relate the main issues that deserve attention of the managers of the source.

Key-words: Limnology of the landscape. Geographically weighted regression. Water quality. Use and land cover. Chapéu D'Uvas Dam.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Desenho esquemático dos procedimentos metodológicos	29
Figura 2 – Localização político-administrativa da BCRCD	30
Figura 3 – Localização segundo da BCRCD na bacia hidrográfica do rio Paraibuna	32
Figura 4 – Distribuição média mensal de chuva na represa de Chapéu D’Uvas - 1950 a 2016	35
Figura 5 – Rede hidrográfica da bacia de contribuição da represa de Chapéu D’Uvas (BCRCD)	37
Figura 6 – Volumes percentuais do reservatório de Chapéu D’Uvas de 02/01/2003 a 05/09/2017	41
Figura 7 – Descargas em m ³ do reservatório de Chapéu D’Uvas de 02/01/2007 a 05/09/2017 e volumes percentuais do reservatório de Chapéu D’Uvas de 02/01/2003 a 05/09/2017	41
Figura 8 – Diagrama conceitual das disciplinas da ecologia de paisagens	45
Figura 9 – Estrutura heurística da Limnologia da Paisagem	47
Figura 10 – Objetivos comuns de gestão e de conservação e <i>end points</i> mais adequa- dos para a gestão e conservação dos ecossistemas na escala da paisagem	49
Figura 11 – Diagramas de árvores de classificação e regressão: (a) fósforo total, (b) clorofila, (c) clorofila (Chl)×fósforo total (FT)	51
Figura 12 – Uso e cobertura da terra na BCRCD	62
Figura 13 – Áreas de pastagem na BCRCD: (a) gado pastando na encosta, (b) ponto de erosão na margem coberta por pastagem, (c) gado pastando em área de depleciamento do reservatório, (d) área de pasto na encosta e gado próximo ao espelho d’água	64
Figura 14 – Áreas de mata na BCRCD: (a) mata próximo ao espelho d’água, (b) vista de mata em encosta e topo de morro, (c) processo erosivo nas margens do reservatório comprometendo a estabilidade dos indivíduos arbóreos, (d) processo erosivo na encosta coberta por mata	65
Figura 15 – Áreas de silvicultura na BCRCD: (a) plantio de eucalipto em encosta, (b) plantio de eucalipto e erosão nas margens do lago, (c) eucalipto próximo ao espelho d’água	66
Figura 16 – Áreas de pasto sujo na BCRCD: (a) pasto sujo com processo erosivo em encosta, (b) pasto sujo próximo a uma área de lazer, (c) pasto sujo e erosão por depleciamento do reservatório	67
Figura 17 – Área de solo exposto na BCRCD: (a) terreno preparado para ativi- dade agrícola (b) encosta íngreme preparada para plantio, com alta susceptibilidade à erosão	67
Figura 18 – Área de cultura agrícola na BCRCD: (a) cultura de capim para o gado (b) pomar com bananeiras e outras culturas	68

Figura 19 – Áreas úmidas na BCRC: braço do reservatório no ribeirão São Bento (a) e ribeirão Lambari (b)	69
Figura 20 – Áreas urbanas na BCRC: (a) ocupação rural esparsa, (b) (c) (d) ocupações ocasionais de alto padrão, (e) ocupação ocasional de baixo padrão, (f) pequeno aglomerado rural	70
Figura 21 – Percentual do uso e cobertura da terra na BCRC por sub bacia	78
Figura 22 – Áreas de Preservação Permanente na BCRC	80
Figura 23 – Monitoria Simples (%) - BCRC 2010-2016	84
Figura 24 – Monitoria Simples (km ²) - BCRC 2010-2016	84
Figura 25 – Alterações no uso e cobertura da terra da BCRC 2010 - 2016	88
Figura 26 – Localização dos pontos de coleta na BCRC	94
Figura 27 – Volume e nível da represa de Chapéu D’Uvas por data de amostragem	95
Figura 28 – Oxigênio Dissolvido (concentração): (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	99
Figura 29 – Condutividade elétrica: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	100
Figura 30 – Potencial Hidrogeniônico: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	102
Figura 31 – Nitrogênio Total: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	103
Figura 32 – Fósforo Total: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	104
Figura 33 – Turbidez: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	105
Figura 34 – Ferro: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	107
Figura 35 – Manganês: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	108
Figura 36 – Cloreto: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	109
Figura 37 – Dureza: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	110
Figura 38 – Oxigênio Consumido: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	111
Figura 39 – Demanda Bioquímica de Oxigênio: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	112
Figura 40 – Coliformes Totais: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	114

Figura 41 – <i>Escherichia coli</i> : (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	115
Figura 42 – Densidade de cianobactérias: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca	116
Figura 43 – Função de Auto Correlação das variáveis: (a) volume; (b) Tempo de residência; (c) precipitação - 2005/2017	117
Figura 44 – Correlograma - parâmetros de qualidade da água - dados históricos - 2005/2017	118
Figura 45 – Temperatura: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	121
Figura 46 – Temperatura por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	121
Figura 47 – Oxigênio Dissolvido (saturação): (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	122
Figura 48 – Saturação do Oxigênio Dissolvido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	123
Figura 49 – Oxigênio Dissolvido (concentração): (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	123
Figura 50 – Concentração do Oxigênio Dissolvido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	124
Figura 51 – Condutividade elétrica: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	125
Figura 52 – Condutividade elétrica por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	125
Figura 53 – Potencial Hidrogeniônico: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	126
Figura 54 – Potencial Hidrogeniônico por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	126
Figura 55 – Potencial de Oxirredução: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	127
Figura 56 – Potencial de Oxirredução por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	128
Figura 57 – Nitrato: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	129
Figura 58 – Nitrato por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	129
Figura 59 – Nitrito: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	130

Figura 60 – Nitrito por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	130
Figura 61 – Amônio: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	131
Figura 62 – Amônio por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	132
Figura 63 – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	133
Figura 64 – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	133
Figura 65 – Nitrogênio Orgânico Total: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	134
Figura 66 – Nitrogênio Orgânico Total por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	134
Figura 67 – Nitrogênio Total: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	135
Figura 68 – Nitrogênio Total por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	136
Figura 69 – Silicato: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	136
Figura 70 – Silicato por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	137
Figura 71 – Ortofosfato: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	138
Figura 72 – Ortofosfato por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	138
Figura 73 – Fósforo Total: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	139
Figura 74 – Fósforo Total por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	139
Figura 75 – Turbidez: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	141
Figura 76 – Turbidez por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	141
Figura 77 – Ferro: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	142
Figura 78 – Ferro por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	142
Figura 79 – Dureza: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	143

Figura 80 – Dureza por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	144
Figura 81 – Oxigênio Consumido: (a) box plot e histograma - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	145
Figura 82 – Oxigênio Consumido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	145
Figura 83 – Demanda Química de Oxigênio: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	146
Figura 84 – Demanda Química de Oxigênio por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	147
Figura 85 – Demanda Bioquímica de Oxigênio: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	148
Figura 86 – Demanda Bioquímica de Oxigênio por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	148
Figura 87 – Sólidos Dissolvidos Totais: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	149
Figura 88 – Sólidos Dissolvidos Totais por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	149
Figura 89 – Coliformes Totais: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	151
Figura 90 – Coliformes Totais por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	151
Figura 91 – <i>E. coli</i> : (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	152
Figura 92 – <i>E. coli</i> por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	153
Figura 93 – Densidade de cianobactérias: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	153
Figura 94 – Densidade de cianobactérias por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	154
Figura 95 – Densidade de fitoplâncton - outros grupos: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	155
Figura 96 – Densidade de fitoplâncton - outros grupos por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	155
Figura 97 – Densidade Total de Fitoplâncton: (a) box plot e histograma - PC01 a PC09; (b) box plot por estação	156
Figura 98 – Densidade Total de Fitoplâncton por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto	156

Figura 99 – Correlograma - parâmetros de qualidade da água - dados das campanhas - 2016/2017	157
Figura 100 – Variação do nível do reservatório em 30/06/16 e 13/03/17: (a) e (b) acesso ao ponto PC05 - foz do rio Taquaruçu, (c) e (d) acesso ao ponto PC06 - foz do ribeirão São Bento, (e) e (f) acesso ao ponto PC08 - foz do ribeirão Lambari	159
Figura 101 – Box plot por estação: (a) Volume do reservatório e (b) Tempo de residência	160
Figura 102 – Gráfico de dispersão - densidade de cianobactérias: (a) dados históricos e (b) dados das campanhas	169
Figura 103 – Gráfico do ICE para os dados históricos 2005 - 2017	176
Figura 104 – Gráfico do ICE para os dados das campanhas 2016 - 2017	177
Figura 105 – Análise de Agrupamentos das variáveis de qualidade da água - dendograma	181
Figura 106 – Distância Euclidiana e Distância Hidrológica entre dois pontos A e B .	184
Figura 107 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Densidade de cianobactérias com: (a) Represa; (b) SB; (c) SR; (d) Dc; (e) Dn	193
Figura 108 – GWR - Correlação ρ de Pearson - <i>E. coli</i> com: (a) Pastagem; (b) Mata; (c) Silvicultura; (d) Cultura agrícola; (e) Área urbanizada; (f) Declividade média	195
Figura 109 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Condutividade elétrica com: (a) Pastagem; (b) Silvicultura; (c) Solo exposto; (d) Cultura agrícola; (e) Área urbanizada; (f) Declividade média	197
Figura 110 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Oxigênio consumido com: (a) Pastagem; (b) Mata; (c) Silvicultura; (d) Áreas úmidas; (e) Área urbanizada; (f) APP remanescente	199
Figura 111 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Ortofosfato com: (a) Mata; (b) Silvicultura; (c) Pasto sujo; (d) Áreas úmidas; (e) Área urbanizada; (f) SB	201
Figura 112 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Nitrato com: (a) mata; (b) Silvicultura; (c) Áreas úmidas; (d) Área urbanizada; (e) SB; (f) Declividade média .	203
Figura 113 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Demanda Química de Oxigênio com: (a) Pastagem; (b) Mata; (c) Silvicultura; (d) Pasto sujo; (e) Declividade média, (f) APP remanescente	205

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Balanço hidrológico do reservatório de Chapéu D’Uvas. Histograma de cheia provável para 100 anos, alternativa de cota da soleira do vertedor em 741,00m.	39
Tabela 2 – Cotas e volumes de operação da barragem de Chapéu D’Uvas conforme Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora (Cesama). . . .	40
Tabela 3 – Principais classes de uso e cobertura da terra na BCRCO - área absoluta e percentual	63
Tabela 4 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC01 - exutório do rio Paraibuna	71
Tabela 5 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC02 - foz do córrego Zíper	72
Tabela 6 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC03 - foz do córrego Samambaia	72
Tabela 7 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC04 - Represa - médio curso	73
Tabela 8 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC05 - foz do rio Taquaruçu	74
Tabela 9 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC06 - foz do ribeirão São Bento	74
Tabela 10 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC07 - foz do córrego Goiabeira	75
Tabela 11 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC08 - foz do ribeirão Lambari	75
Tabela 12 – Ocupação das Áreas de Preservação Permanente e APP remanescentes na BCRCO - 2016	82
Tabela 13 – Monitoria Simples - BCRCO 2010-2016	83
Tabela 14 – Monitoria Deixou de ser e Tornou-se - BCRCO 2010-2016	87
Tabela 15 – Monitoria Simples por sub bacia - BCRCO 2010-2016 - Alteração em km ²	91
Tabela 16 – Parâmetros de qualidade da água da represa de Chapéu D’Uvas - 2005 à 2017 - Dados fornecidos pela Cesama	92
Tabela 17 – Pontos de coleta na BCRCO - Coordenadas no sistema Universal Transversa de Mercator (UTM), datum Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000), zona 23K	93
Tabela 18 – Nível e volume do reservatório por data de amostragem	95
Tabela 19 – Data e hora de coleta por ponto de amostragem	96
Tabela 20 – Parâmetros de qualidade da água por laboratório	96

Tabela 21 – Parâmetros de qualidade da água que violaram os limites da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente nº357 de 17 de março de 2005 (Resolução Conama nº 357/05) para classe 1	166
Tabela 22 – Comparação dos Parâmetros de qualidade da água por conjunto de dados: medianas por parâmetro	168
Tabela 23 – Profundidade do disco de Secchi, zona eufótica e densidade de cianobactérias	170
Tabela 24 – Tempo de residência da água no reservatório de Chapéu D’Uvas	171
Tabela 25 – Valores e classes do ICE	175
Tabela 26 – Resultados do ICE para os dados históricos 2005 - 2017	176
Tabela 27 – Resultados do ICE para os dados das campanhas 2016 - 2017	177
Tabela 28 – Parâmetros morfométricos das sub bacias da BCRCO	179
Tabela 29 – Matriz de Distância Euclidiana (m)	183
Tabela 30 – Matriz de Distância Hidrológica (m)	184
Tabela 31 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Densidade de cianobactérias	192
Tabela 32 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - <i>E. coli</i>	194
Tabela 33 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Condutividade elétrica	196
Tabela 34 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Oxigênio consumido	198
Tabela 35 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Ortofosfato	200
Tabela 36 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Nitrato	202
Tabela 37 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Demanda Química de Oxigênio	204

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIC	Critério de Informação de Akaike
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Á de preservação Permanente
BCRCD	Bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas
Ca	Cálcio
CE	Condutividade elétrica
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais
Cesama	Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora
Cetesb	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
Chl	Clorofila
Cl ⁻	Cloreto
Conama	Conselho Nacional de Meio Ambiente
Copam	Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais
CT	Coliformes Totais
DBO _{5,20}	Demanda Bioquímica de Oxigênio
<i>E. Coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
DN	Deliberação Normativa
DNOS	Departamento Nacional de Obras de Saneamento
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EDU	Unidade de Drenagem Ecológica
Fe	Ferro
FT	Fósforo total
GWR	Regressão geograficamente ponderada
ICE	Índice de Conformidade ao Enquadramento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Igam	Instituto Mineiro de Gestão da Águas
IGED	<i>Integrated Grid's Exporting and Delivery</i>
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQAR	Índice de Qualidade de Água em Reservatórios
K	Potássio
Kc	Coefficiente de compacidade
Kf	Fator de forma
KN	Nitrogênio Kjeldahl
LEA	Labortório de Ecologia Aquática do Instituto de Ciências Biológicas da UFJF
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
MS	Ministério da Saúde
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NH ₄ ⁺	Amônio
NID	Nitrogênio Inorgânico Total
NO ₂ ⁻	Nitrito
NO ₃ ⁻	Nitrato
NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	Nitrato mais nitrito
NOT	Nitrogênio Orgânico Total
NT	Nitrogênio total
OC	Oxigênio Consumido
OD	Oxigênio Dissolvido
OLS	Método dos mínimos quadrados ordinários

ORP	Potencial de Oxirredução
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PO_4^{-3}	Ortofosfato
PO_4	Fosfato
SC	Condutividade específica
SD	Sólidos dissolvidos
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SiO_3	Silicato
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
snv	Soma normalizada das variações
SO_4^{-2}	Sulfato
SST	Sólidos Suspensos Totais
Tr	Tempo de residência
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora
US	<i>United States</i> (Estados Unidos da América)
USA	Estados Unidos da América
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	24
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	24
1.2	OBJETIVOS	24
1.3	ESCOPO DA TESE	25
1.4	ESTRUTURA DA TESE	26
1.5	METODOLOGIA GERAL	28
1.6	ÁREA DE ESTUDO	28
1.7	CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA	33
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	34
2.1	A BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA REPRESA DE CHAPÉU D’UVAS	34
2.1.1	Características do meio físico da BCRC	34
2.1.1.1	<i>Clima</i>	34
2.1.1.2	<i>Solos</i>	35
2.1.1.3	<i>Geomorfologia</i>	35
2.1.1.4	<i>Recursos hídricos</i>	36
2.1.2	Histórico da construção da barragem	38
2.1.3	Características físicas e de operação da barragem	39
2.1.4	Estudos realizados na Represa de Chapéu D’Uvas	41
2.2	LIMNOLOGIA DA PAISAGEM	44
2.3	REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA (GWR)	54
3	USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DE CONTRI-	
	BUIÇÃO DA REPRESA DE CHAPÉU D’UVAS	60
3.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	60
3.2	CARACTERIZAÇÃO GERAL DO USO E COBERTURA DA TERRA	
	NA BCRC	61
3.2.1	Pastagem	63
3.2.2	Mata	63
3.2.3	Silvicultura	65
3.2.4	Pasto sujo	65
3.2.5	Represa	66
3.2.6	Solo exposto	66
3.2.7	Cultura agrícola	68
3.2.8	Áreas úmidas	68
3.2.9	Lagos	69

3.2.10	Área urbanizada	69
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA POR SUB BACIA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM	71
3.3.1	Sub bacia do ponto de amostragem PC01	71
3.3.2	Sub bacia do ponto de amostragem PC02	71
3.3.3	Sub bacia do ponto de amostragem PC03	72
3.3.4	Sub bacia do ponto de amostragem PC04	72
3.3.5	Sub bacia do ponto de amostragem PC05	73
3.3.6	Sub bacia do ponto de amostragem PC06	73
3.3.7	Sub bacia do ponto de amostragem PC07	74
3.3.8	Sub bacia do ponto de amostragem PC08	75
3.3.9	Sub bacia do ponto de amostragem PC09	76
3.3.10	Análises preliminares das características do uso e cobertura da terra na BCRC	76
3.4	LEVANTAMENTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	78
3.5	COMPARAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA 2010-2016	83
3.5.1	Monitoria Simples	83
3.5.2	Monitoria Deixou de ser e Tornou-se	85
3.5.3	Monitoria por sub bacia	89
4	QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS	92
4.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	92
4.2	DADOS HISTÓRICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS NO PONTO DA CAPTAÇÃO	97
4.2.1	Análise exploratória dos dados históricos dos parâmetros de qualidade da água	98
4.2.1.1	<i>Oxigênio Dissolvido - concentração (OD)</i>	98
4.2.1.2	<i>Condutividade Elétrica (CE)</i>	99
4.2.1.3	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	101
4.2.1.4	<i>Nitrogênio total (NT)</i>	102
4.2.1.5	<i>Fósforo total (FT)</i>	103
4.2.1.6	<i>Turbidez</i>	104
4.2.1.7	<i>Ferro (Fe)</i>	106
4.2.1.8	<i>Manganês (Mn)</i>	106
4.2.1.9	<i>Cloreto (Cl⁻)</i>	107
4.2.1.10	<i>Dureza</i>	108
4.2.1.11	<i>Oxigênio Consumido (OC)</i>	110
4.2.1.12	<i>Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20})</i>	111
4.2.1.13	<i>Coliformes Totais (CT)</i>	113
4.2.1.14	<i>Escherichia coli (E. coli)</i>	113

4.2.1.15	<i>Densidade de Cianobactérias</i>	115
4.2.2	Correlações dos parâmetros de qualidade da água - dados históricos	116
4.3	QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS E PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS	120
4.3.1	Análise exploratória dos resultados para os parâmetros de qualidade da água	120
4.3.1.1	Temperatura	120
4.3.1.2	<i>Oxigênio Dissolvido - saturação (OD%)</i>	122
4.3.1.3	<i>Oxigênio Dissolvido - concentração (OD)</i>	123
4.3.1.4	<i>Condutividade Elétrica (CE)</i>	124
4.3.1.5	<i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i>	125
4.3.1.6	<i>Potencial de Oxirredução (ORP)</i>	127
4.3.1.7	<i>Nitrato (NO_3^-)</i>	128
4.3.1.8	<i>Nitrito (NO_2^-)</i>	129
4.3.1.9	<i>Amônio (NH_4^+)</i>	130
4.3.1.10	<i>Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID)</i>	132
4.3.1.11	<i>Nitrogênio orgânico total (NOT)</i>	132
4.3.1.12	<i>Nitrogênio total (NT)</i>	134
4.3.1.13	<i>Silicato (SiO_3)</i>	135
4.3.1.14	<i>Ortofosfato (PO_4^{-3})</i>	137
4.3.1.15	<i>Fósforo total (FT)</i>	138
4.3.1.16	<i>Cor</i>	140
4.3.1.17	<i>Turbidez</i>	140
4.3.1.18	<i>Ferro</i>	141
4.3.1.19	<i>Cloreto (Cl^-)</i>	142
4.3.1.20	<i>Dureza</i>	143
4.3.1.21	<i>Oxigênio consumido (OC)</i>	144
4.3.1.22	<i>Demanda química de oxigênio (DQO)</i>	144
4.3.1.23	<i>Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)</i>	147
4.3.1.24	<i>Sólidos dissolvidos totais (SDT)</i>	147
4.3.1.25	<i>Sólidos suspensos totais (SST)</i>	150
4.3.1.26	<i>Coliformes totais (CT)</i>	150
4.3.1.27	<i>Escherichia coli (E. coli)</i>	151
4.3.1.28	Densidade de cianobactérias	152
4.3.1.29	Densidade de fitoplâncton - outros grupos	154
4.3.1.30	Densidade total de fitoplâncton	154
4.3.2	Correlações dos parâmetros de qualidade da água	156

4.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS	165
4.4.1	Atendimento aos padrões de qualidade da água conforme Resolução Conama nº 357/05	165
4.4.2	Comparação dos dados históricos e campanhas	167
4.4.3	Estudo das cianobactérias	169
4.4.4	<i>Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI)</i>	173
5	LIMNOLOGIA DA PAISAGEM NA BCRC D E REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA	178
5.1	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	178
5.2	PREPARAÇÃO DOS DADOS	179
5.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS	182
5.4	RESULTADOS	186
5.4.1	GWR - Densidade de Cianobactérias	186
5.4.2	GWR - <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>)	187
5.4.3	GWR - Condutividade elétrica (CE)	188
5.4.4	GWR - Oxigênio consumido (OC)	189
5.4.5	GWR - Ortofosfato (ortofosfato (PO_4^{-3}))	189
5.4.6	GWR - Nitrato (nitrato (NO_3^-))	190
5.4.7	GWR - Demanda Química de Oxigênio (DQO)	191
5.5	DISCUSSÃO	206
6	CONCLUSÃO	210
	REFERÊNCIAS	212
	APÊNDICE A – RECOMENDAÇÕES AOS GESTORES	220
A.1	EROSÃO E ASSOREAMENTO	220
A.2	DESPEJO DE ESGOTOS	220
A.3	MONITORAMENTO E ANÁLISES PELA CESAMA	221
A.4	CRESCIMENTO DAS OCUPAÇÕES	221
A.5	AVANÇO DA SILVICULTURA	221
A.6	PROTEÇÃO DAS APP E ÁREAS DE MATA	222
A.7	MONITORAMENTO DAS CIANOBACTÉRIAS	222

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O adequado gerenciamento dos recursos hídricos tem sido uma constante preocupação dos gestores públicos devido à importância desses recursos e as atuais condições limitantes de quantidade e qualidade. [1, 2, 3] Conhecer as relações entre as ações do homem e a qualidade da água é de grande importância para o planejamento, controle e gestão dos recursos hídricos. [4, 5] Na busca pelo entendimento dos efeitos da cobertura e uso da terra, entre outras características abióticas e bióticas no entorno de reservatórios, rios, lagos e bacias hidrográficas em geral, trabalhos vêm sendo realizados envolvendo diversas técnicas estatísticas e de modelagem. [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 4, 16] Em destaque, Soranno et al. em [17] realizaram um estudo de modelagem preditiva aplicando o que chamaram de limnologia da paisagem, buscando subsidiar ações de manejo dos ecossistemas de água doce.

Considerando as pressões econômicas e sociais sobre os recursos hídricos [18], esta pesquisa partiu da importância de se compreender o comportamento dos parâmetros de qualidade da água a partir das características abióticas e bióticas da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D'Uvas (BCRCD). Este é um importante manancial que abastece o município de Juiz de Fora, na Zona da Mata mineira, sobre ele está depositada a expectativa de garantia no atendimento da demanda por água potável nas próximas décadas, em contraposição à situação de quantidade e qualidade das águas nos demais mananciais que atendem ao município e à possibilidade de crescimento da demanda no futuro. [7, 8, 9, 19, 20]

1.2 OBJETIVOS

A pesquisa aqui apresentada teve por objetivo identificar as relações espaciais entre o uso e cobertura da terra na bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas e a qualidade da água do reservatório. Os objetivos específicos são os listados a seguir:

- Conhecer a situação atual de uso e cobertura da terra na BCRCD;
- Conhecer a situação atual da qualidade da água na BCRCD;
- Identificar como o uso e cobertura da terra impacta na qualidade da água na BCRCD;

Espera-se, desse modo, contribuir para o planejamento e gestão desse importante manancial de abastecimento.

1.3 ESCOPO DA TESE

Nesta seção as limitações e condições de contorno da pesquisa serão apresentadas.

O estudo foi realizado na BCRCO, conforme será descrito na Seção 1.6. Inicialmente foram previstos 16 pontos de amostragem de água. Todavia, algumas limitações restringiam a execução neste escopo: recursos para análise das amostras em laboratório, capacidade e espaço na embarcação para transportar todas as amostras devidamente acondicionadas e preservadas até o último ponto de coleta, tempo com luz natural disponível para realização das coletas com segurança e tempo de preservação das primeiras amostras coletadas até a entrada no laboratório. Considerando tais dificuldades, optou-se por reduzir os pontos de coleta de amostras. Porém, com a preocupação de cobrir mais pontos no reservatório, principalmente nos braços com seus afluentes, foram previstos pontos para realização apenas de leitura com a sonda multiparamétrica, sem coleta. Desse modo foram definidos 9 pontos de coleta, chamados de PC, e 15 pontos de leitura, chamados de PL. No entanto, na primeira campanha, foi constatada a inviabilidade técnica desse procedimento devido às condições do motor da embarcação e ao tempo de luminosidade disponível para realização das amostragens. Não haveria tempo hábil para a conclusão da campanha caso fossem feitas as 24 interrupções no motor, o que comprometeria a segurança do trabalho e a entrada, em condições adequadas de preservação, das amostras nos laboratórios. Assim sendo, foram mantidos apenas os 9 pontos de coleta, conforme será detalhado na Seção 4.1 do Capítulo 4.

Os parâmetros de qualidade de água utilizados na pesquisa foram sugeridos considerando-se os mais importantes citados nos relatórios de qualidade da água utilizados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) e pela Agência Nacional de Águas (ANA). Porém, para a definição foi necessário observar as restrições de capacidade e recursos disponíveis do Laboratório Central da Cesama, parceira no projeto, do Laboratório de Ecologia Aquática do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Juiz de Fora (LEA), e ainda, da sonda multiparamétrica YSI pertencente ao Núcleo de Análise Geo Ambiental (Nagea) da Faculdade de Engenharia da UFJF.

O número de campanhas para amostragem foi definido buscando-se realizar ao menos 4 observações, condição mínima para cálculo do índice de qualidade discutido na Seção 4.4.4 do Capítulo 4. Outra preocupação foi amostrar em períodos de chuva e seca, a fim de se estudar possíveis efeitos das estações na qualidade da água. Mais uma vez as restrições dos laboratórios foram limitantes, sendo acordado a realização de 2 campanhas nos períodos de seca e 2 no período de chuvas. A definição das datas, além de considerar as estações, precisou levar em conta: a disponibilidade do 4º Batalhão de Bombeiros Militar de Juiz de Fora, MG, parceiro no projeto e responsável pelo transporte da embarcação até a represa, pelo piloto, segurança da embarcação e transporte de retorno

ao batalhão; disponibilidade do técnico da Cesama responsável pelas coletas de fitoplâncton; disponibilidade do Laboratório Central da Cesama para realização das análises, visto a rotina do mesmo para atendimento à demanda operacional da companhia no cumprimento de controles obrigatórios para a produção e distribuição de água; disponibilidade de veículos da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) para transporte da equipe até a represa e retorno, bem como a entrega imediata das amostras no Laboratório Central da Cesama. Mais detalhes sobre a realização das campanhas serão apresentados na Seção 4.1 do Capítulo 4.

Todo o trabalho de sensoriamento remoto e geoprocessamento foi realizado pelo Nagea. Não houve disponibilidade de recursos financeiros para aquisição de imagens. Trabalhou-se com imagens disponíveis ao público e com a base de dados pertencente ao próprio Nagea. Também foram disponibilizadas, pelos próprios pesquisadores, as bases de dados dos trabalhos de Machado e Ribeiro [19, 21].

Para aplicação da metodologia apresentada como limnologia a paisagem foi necessária a adaptação da mesma ao escopo do projeto. Inicialmente, deve ser considerado que o número de pontos de amostragem utilizados nesta pesquisa é bem menor que Soranno et al. utilizaram em [17]. A diferenciação de escala e hierarquia, considerada por esses autores, não foi aplicada nesta pesquisa uma vez que foi realizada apenas em escala local. E ainda, em relação às etapas do sistema de modelagem, serão realizadas apenas as etapas (i) Escolher o *end point* da classificação preditiva conforme objetivos de gestão e (ii) Criar classes de ecossistemas a partir dos princípios de limnologia de paisagem. Não serão executadas as etapas (iii) Desenvolver ações de gestão para cada classe e monitorar os ecossistemas e (iv) Avaliar as ações de manejo e, se necessário, revisar as ações. Essas etapas serão apresentadas na Seção 2.2 do Capítulo 2. O prazo para realização da pesquisa não permitiria a definição e implementação das ações, muito menos a avaliação dos resultados dessas ações.

Para aplicação da regressão geograficamente ponderada (GWR) a quantidade pequena de pontos também exigiu adaptações no modelo. Assim, não foi definida a reta de regressão, com seus parâmetros estimados e demais informações. Esta pesquisa se limitou ao estudo das correlações, geradas pela GWR, entre as variáveis de qualidade da água e as explicativas, conforme será apresentado no Capítulo 5.

1.4 ESTRUTURA DA TESE

Para a apresentação do estudo desenvolvido e respectivos resultados propostos nesta pesquisa, a estrutura da Tese está organizada de modo a possibilitar a compreensão da metodologia aplicada a cada etapa da pesquisa.

No Capítulo 1 é apresentada uma introdução da qual constam os objetivos, a

metodologia geral, a descrição da área de estudo e a contribuição científica desta pesquisa.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão da literatura sobre a bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas, versando sobre as pesquisas já realizadas naquele sítio, assim como dados históricos importantes para uma maior compreensão do contexto da pesquisa. Também são apresentados os estudos mais recentes sobre limnologia da paisagem, seus fundamentos e trabalhos realizados, e ainda, sobre aplicações da regressão geograficamente ponderada no estudo de qualidade da água em bacias hidrográficas.

No Capítulo 3 é apresentado o estudo sobre o uso e cobertura da terra na referida bacia com a distribuição atual (2016) das classes. Também são geradas as sub bacias de contribuição de cada ponto de coleta. As análises são realizadas tanto no escopo da BCRCO como de cada sub bacia. Além do uso e cobertura da terra, são apresentadas as condições de manutenção das áreas de preservação permanente na bacia. Ao final do capítulo é apresentada uma comparação do mapa de 2016 com as mesmas classes identificadas no ano de 2010, onde se percebe a evolução e as alterações do uso e cobertura da terra neste período.

No Capítulo 4 são apresentados os estudos sobre a qualidade da água na BCRCO, passando por um histórico dos dados referentes ao ponto de captação, próximo à barragem, e, posteriormente, pela análise dos pontos de coleta específicos desta pesquisa. É apresentada uma análise exploratória dos parâmetros em cada ponto de coleta, bem como uma análise de correlações (multivariada). Os resultados dos dados históricos e das campanhas são comparados entre si e confrontados com a Resolução Conama nº 357/05. Ainda sobre qualidade da água, são apresentados resultados sobre um índice denominado "*Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI)*", mais conhecido no Brasil como "Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE)".

No Capítulo 5 é apresentado o estudo de limnologia da paisagem com aplicação de regressão geograficamente ponderada. São relacionados os dados de paisagem, como uso e cobertura da terra, e aspectos morfométricos da bacia, com os dados de qualidade da água. Os resultados são apresentados e discutidos, tendo em vista a gestão ambiental da BCRCO.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões da pesquisa, revisitando as contribuições identificadas em cada capítulo, articulando-as para a compreensão da qualidade ambiental e da interferência do uso cobertura da terra na qualidade da água da BCRCO.

No Apêndice A são estão compiladas as recomendações aos gestores, pontuadas ao longo do trabalho. De modo sucinto o texto procura indicar linhas gerais de ação para a recuperação de alguns aspectos ambientais, monitoramento de outros, planejamento e gestão do manancial.

1.5 METODOLOGIA GERAL

Em cada capítulo, quando necessário, será descrita a metodologia aplicada para a etapa específica da pesquisa. Nesta seção será apresentada uma metodologia em linhas gerais, para entendimento sistemático do trabalho realizado.

A pesquisa está baseada em dois tipos de dados: de uso e cobertura da terra e de qualidade da água.

Os dados de uso e cobertura da terra da BCRC D foram gerados por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Foi realizada a delimitação da bacia, a marcação dos pontos de amostragem e a delimitação das sub bacias desses pontos. O estudo do uso e cobertura da terra forneceu os percentuais de cada classe para toda a BCRC D e para cada sub bacia.

O estudo da qualidade da água foi baseado em dois conjuntos de dados: os históricos da captação na barragem fornecidos pela Cesama do período de 2005 a 2017, e um conjunto de dados gerado a partir das campanhas realizadas em 2016 e 2017. Os resultados dos parâmetros passaram por uma análise descritiva, pelo estudo das correlações entre os parâmetros, e por uma comparação dos dois conjuntos de dados. Também foi calculado o *CCME Water Quality Index (CCME WQI)*, referenciado no Brasil pela Agência Nacional das Águas (ANA) como Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE).

Estes dados gerados sobre as características do uso e cobertura da terra e qualidade da água, após análise preliminar, foram utilizados no processo de estudo da limnologia da paisagem, sendo os primeiros como variáveis preditoras e os parâmetros da água como variáveis de resposta.

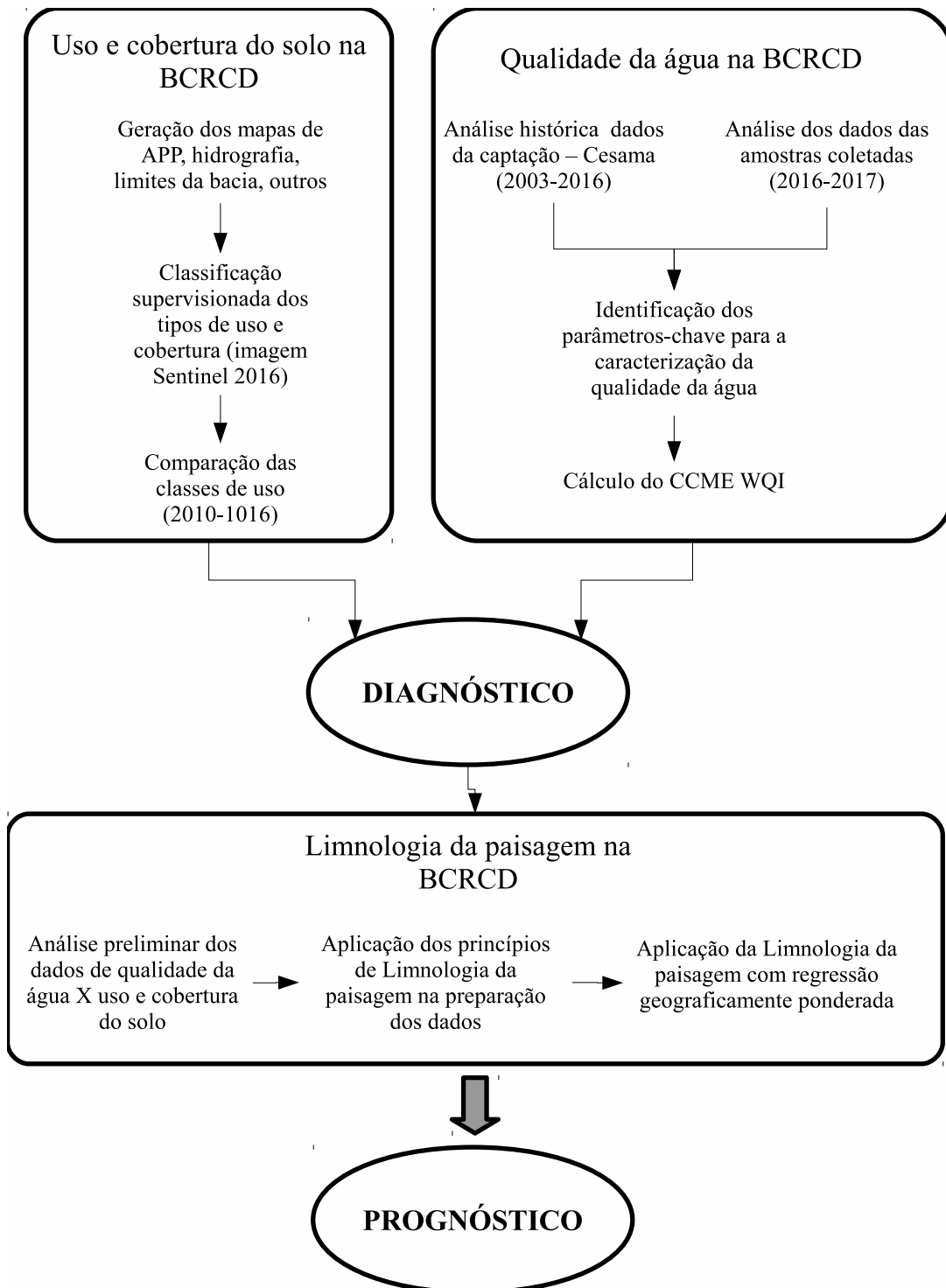
Para aplicação da limnologia da paisagem foi utilizada a técnica de regressão geograficamente ponderada (GWR), a fim de entender como é a distribuição espacial dos dados nas sub bacias e como essas interferem na qualidade da água no ponto de captação da represa.

A Figura 1 apresenta um desenho esquemático da metodologia geral da pesquisa.

1.6 ÁREA DE ESTUDO

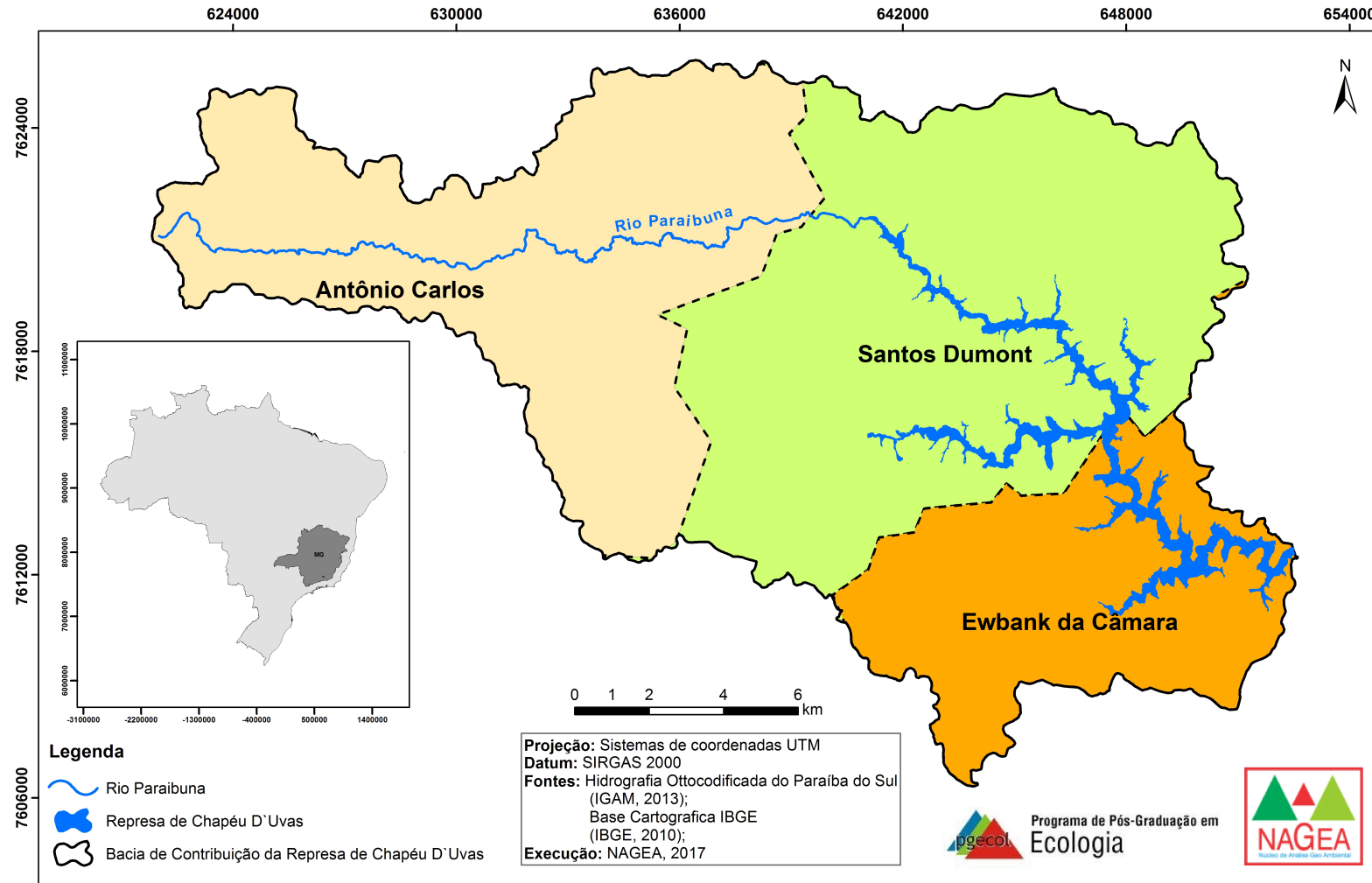
A bacia de contribuição de um determinado ponto é definida pela área de drenagem à montante deste ponto, delimitada pela linha imaginária do divisor de águas. Assim, a BCRC D é definida pela área de contribuição que drena para o ponto da barragem da represa. Conforme definido por Ribeiro [21], a BCRC D, segundo critérios políticos-administrativos, "está localizada nas mesorregiões geográficas denominadas pelo IBGE de Zona da Mata e Campo das Vertentes, no sudeste do Estado de Minas Gerais". Apesar da represa ser um importante manancial de abastecimento para o município de Juiz de

Figura 1 – Desenho esquemático dos procedimentos metodológicos



Fora, a bacia está inserida em outros três municípios mineiros: Antônio Carlos (mais à montante), Santos Dumont (médio curso) e Ewbank da Câmara (onde foi construída a barragem) [19]. Esta situação é ilustrada na Figura 2.

Figura 2 – Localização político-administrativa da BCRCD



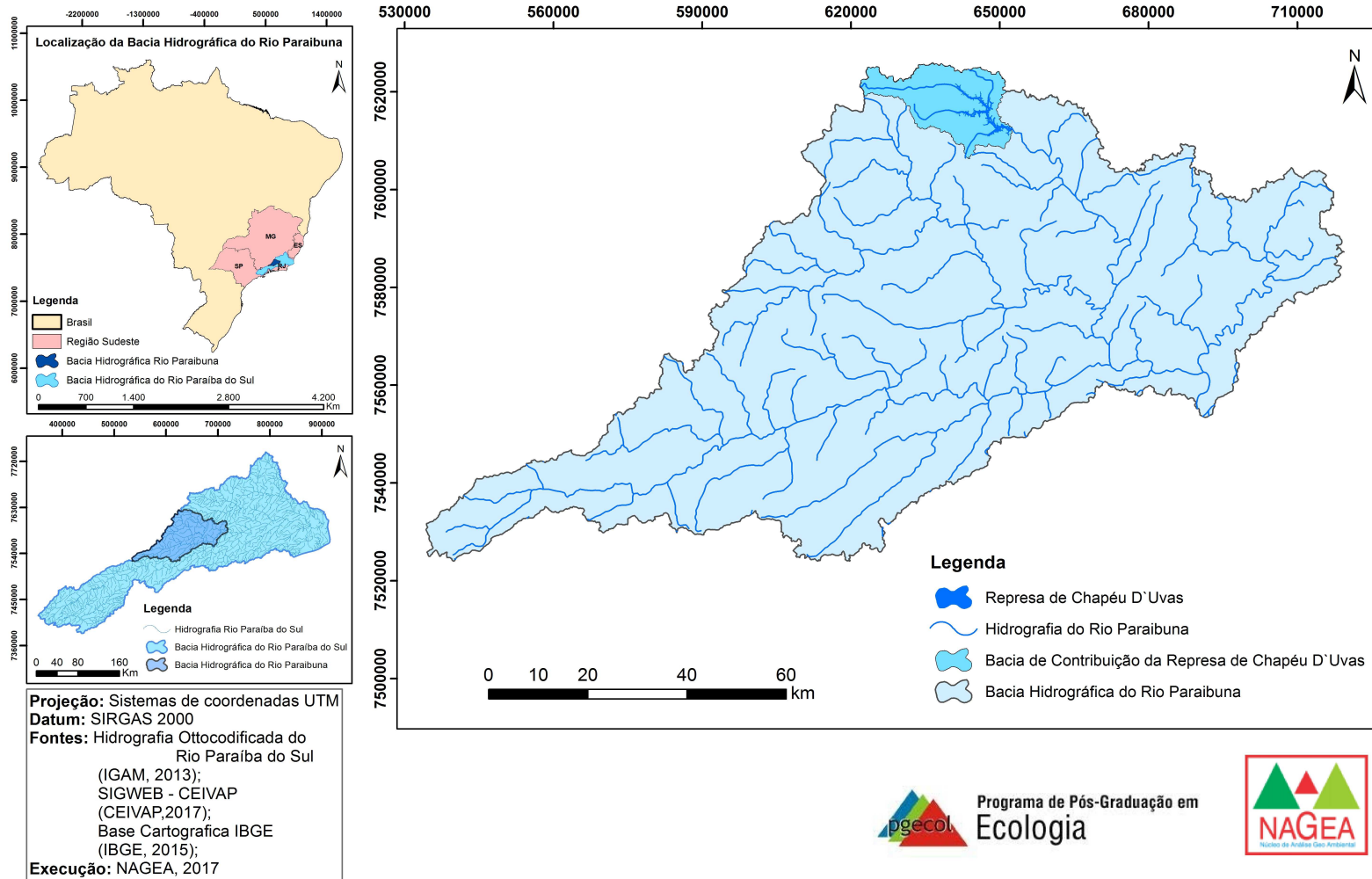
Como relatado por Machado, [19] esta situação político-administrativa causa um conflito de interesses

(...) pois enquanto Juiz de Fora vê a área como um manancial capaz de solucionar seus problemas de abastecimento público por longo tempo, as administrações dos municípios de montante, suas populações e os agentes imobiliários, enxergam a possibilidade de explorar seu potencial turístico e de ocupação, atividades vistas como capazes de incrementar a economia local.

Essa exploração imobiliária e turística do entorno da represa constatada por Machado também ficou evidente nas campanhas realizadas ao longo da presente pesquisa.

Segundo critérios hidrográficos a BCRCDD é uma sub bacia da bacia hidrográfica do rio Paraibuna a qual ocupa 8.558 km² do estado do Rio de Janeiro, e outros 7.222 km² do estado de Minas Gerais. A bacia do rio Paraibuna, por sua vez, está inserida na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, a qual se estende por 55.500 km² contemplando os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. [19] A área encontrada neste estudo para a BCRCDD é de 312,88 km². Este valor difere um pouco da área encontrada por Machado (313,23 km²) em [19] e Ribeiro (309 km²) em [21], devido a delimitação das linhas de cumeada da imagem do Sentinel, do ano 2016, a qual possui resolução de 10 m, maior que das imagens utilizadas pelos outros pesquisadores. A Figura 3 apresenta a localização da BCRCDD na bacia hidrográfica do rio Paraibuna.

Figura 3 – Localização segundo da BCRCD na bacia hidrográfica do rio Paraibuna



Programa de Pós-Graduação em
Ecologia



A Resolução Conama nº 357/05 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta do Conselho Estadual de Política Ambiental (Copam) com o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) nº 01, de 05 de maio de 2008 (DN Copam/CERH nº01/2008) rege de modo semelhante para os cursos d'água mineiros. Esta classificação é definida em função dos usos preponderantes atuais e futuros dos recursos hídricos, sendo importante referência nos estudos de qualidade das águas. O rio Paraibuna, de sua nascente até a confluência com o córrego São José, é considerado de Classe Especial. Após este ponto, até a barragem da represa de Chapéu D'Uvas (limite jusante da área de estudo desta pesquisa), as águas são de Classe 1. Todos os pontos de amostragem estão localizados no trecho de Classe 1. Esta classificação foi definida na Deliberação Normativa do Copam nº 16, de 24 de setembro de 1996.

No Capítulo 2 serão apresentadas mais informações e estudos realizados sobre a BCRCO.

1.7 CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA

Esta pesquisa espera contribuir cientificamente em duas vertentes: metodológica e conhecimento da bacia. Na metodológica a contribuição será dada uma vez que serão aplicados os conceitos e métodos de limnologia da paisagem, abordagem apresentada por Soranno et al. [17] utilizando árvore de regressão e modelos bayesianos para gerar os modelos preditivos. No entanto, nesta pesquisa serão aplicados os conceitos de limnologia da paisagem utilizando a regressão geograficamente ponderada com o objetivo de melhorar os resultados dos modelos preditivos. Assim, pretende-se que a metodologia desenvolvida nesta pesquisa apresente-se como uma alternativa mais eficaz para o estudo da qualidade da água a partir da paisagem.

Na vertente de conhecimento da bacia, devido a escassez de estudos sobre a qualidade da água na represa de Chapéu D'Uvas e sua importância estratégica como manancial de abastecimento do município de Juiz de Fora, espera-se que a presente pesquisa contribua para um melhor entendimento daquele sistema ambiental. Sendo o primeiro trabalho a estudar a qualidade da água na represa e seus tributários principais, espera-se ainda que os resultados apresentados nesta pesquisa sejam importante subsídio para a gestão ambiental da BCRCO.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS

2.1.1 Características do meio físico da BCRC

2.1.1.1 *Clima*

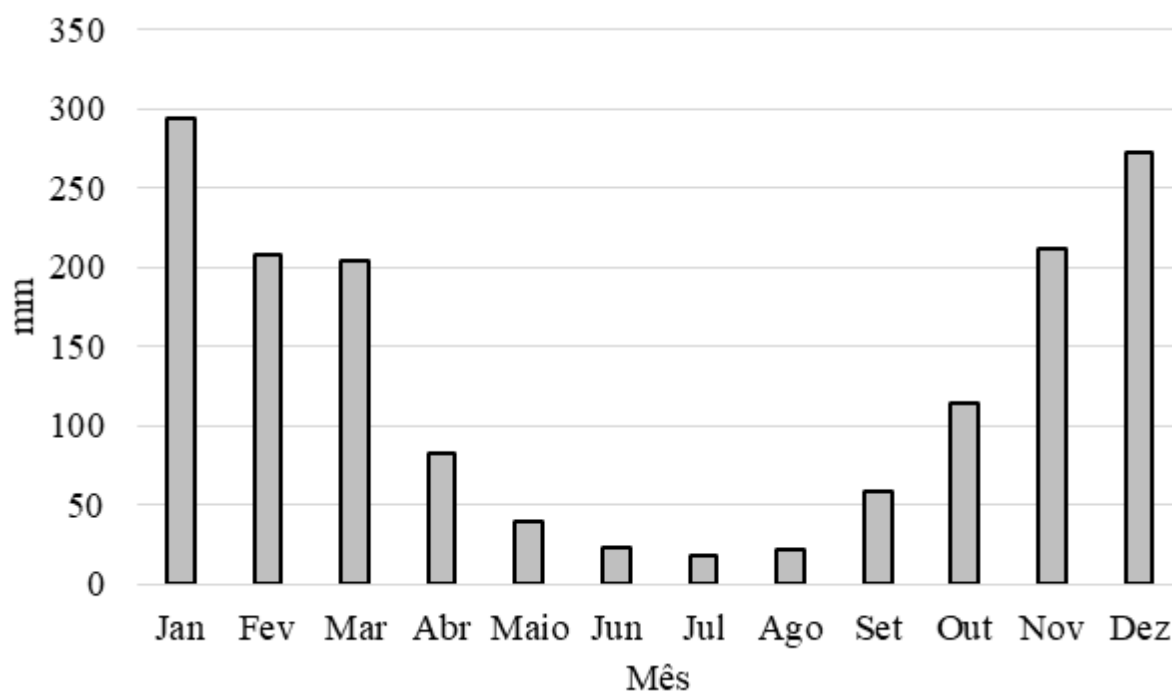
A região onde está localizada a bacia, segundo a classificação climática de Köppen, tem o clima do tipo Cwb, que apresenta destacada concentração das chuvas no verão, sendo este moderadamente quente. Nesta classificação, a letra "C" indica clima subtropical com climas mesotérmicos, a letra "w" indica ocorrências de chuvas de verão, e, a letra "b" indica temperaturas de um verão temperado. Ribeiro em [21] explica que o clima Cwb "apresenta chuvas concentradas no verão, porém, este já é mais moderado em função do fator altimétrico mais destacado. Ocorre na porção centro-oeste da Zona da Mata e na divisa com o Sul de Minas Gerais, onde começam a aparecer as elevações da Mantiqueira." Além da situação, o relevo da Zona da Mata com altitudes entre 741 m e 1.268 m na região da BCRC influencia este clima o qual possui duas estações bem definidas: uma que vai de outubro a abril, com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro, mais fria e com menor presença de chuvas. [22, 19, 21, 23]

A Figura 4 apresenta as médias mensais de chuva no período de janeiro de 1950 a dezembro de 2017. Para gerar o gráfico, utilizou-se os dados da estação climatológica da ANA, de código 2143020, situada próximo à represa de Chapéu D'Uvas. A estação disponibilizou apenas os dados de 1950 a 2014, e com alguns meses neste intervalo sem leitura registrada. Assim, para preencher os brancos da tabela e também gerar os dados a partir de 2015, foi realizada uma regressão a partir das leituras da estação do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), número OMM 83692, localizada na UFJF. Com os dados de 2003 a 2014 das estações da ANA e INMET foi gerada uma regressão linear, conforme Equação 1. O coeficiente de determinação encontrado foi $r^2=0,85$; o Teste F de significância indicou o $p\text{-value} = 4,05.10^{-29}$, ou seja, significativa para $\alpha = 1\%$. Apesar do valor moderado de r^2 , a equação foi aceita devido a ausência de outros dados melhor ajustados para a pesquisa. A partir da Equação 1 foram obtidos os valores para os brancos de leitura e também para os anos de 2015 a 2017.

$$y = 0,993x + 10,818 \quad (1)$$

Quanto à temperatura, segundo Machado em [19], na região da BCRC "a temperatura média anual fica em torno dos 19,0 °C, sendo a média do mês mais quente (fevereiro) 21,8 °C e a do mês mais frio (julho), 16,2 °C".

Figura 4 – Distribuição média mensal de chuva na represa de Chapéu D’Uvas - 1950 a 2016



Fonte: Dados da estação pluviométrica ANA código 2143020 (1950-2014), complementados com regressão para 2015 - 2017 a partir de dados da estação 83692 do INMET

2.1.1.2 Solos

Machado [19] relata que, no que se refere aos solos da BCRC D, esses são pobres em nutrientes, especialmente em fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio e têm pouca aptidão para a agricultura. Devido à declividade acentuada, o que dificulta o uso de maquinário e aumenta a suscetibilidade à erosão, as atividades recomendadas na maior parte das terras da região, mesmo com algumas restrições, são pastagens plantadas ou silvicultura. Atividades essas que, como será demonstrado no Capítulo 3, predominam na bacia. As unidades de mapeamento de solo presentes na BCRC D são o latossolo vermelho-amarelo, latossolo amarelo e o cambissolo húmico. A ocorrência de processos erosivos é uma preocupação para aquela região, tanto por suas características naturais quanto pelas ações humanas como supressão de vegetação e movimentação de terra para a ocupação, infraestrutura e agricultura. Segundo Machado, os solos da BCRC D têm suscetibilidade a erosão de moderada à muito forte. [19]

2.1.1.3 Geomorfologia

Quanto à geomorfologia, a BCRC D se caracteriza como

(...) área de topografia acidentada, caracterizada por uma sucessão de morros, colinas e vertentes de grande declividade, especialmente no extremo noroeste, no município de Antônio Carlos, onde são

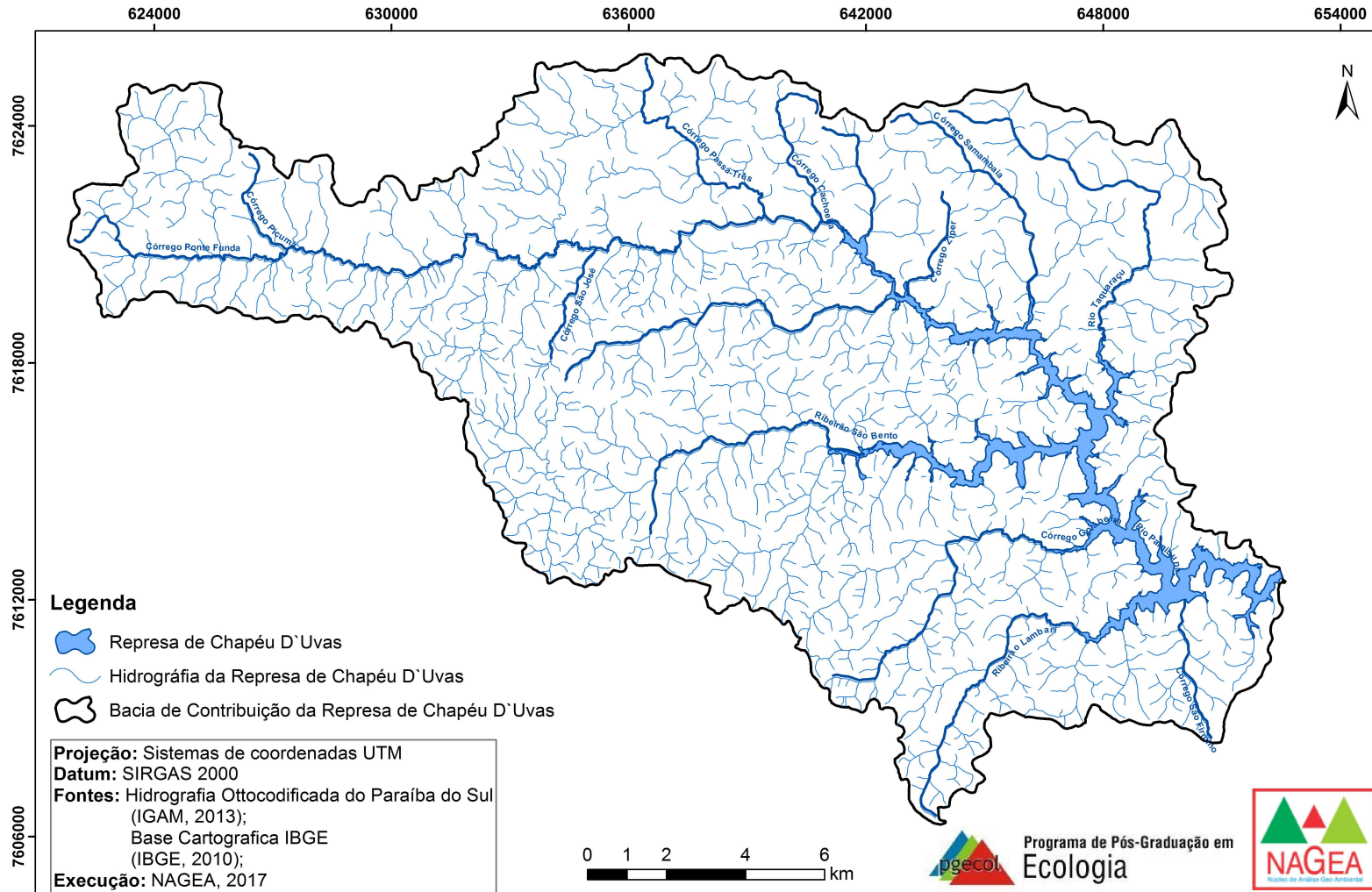
comuns altitudes superiores a 1.000 metros (o ponto mais elevado, 1.268m, fica no limite entre os municípios de Antônio Carlos e Ibertioga, nos domínios da Serra da Mantiqueira. [19]

2.1.1.4 *Recursos hídricos*

A barragem de Chapéu D'Uvas foi construída sobre o rio Paraibuna, principal curso d'água daquela bacia, o qual nasce a 51,41 km do barramento e percorre cerca de 27 km até encontrar o ambiente lântico da represa, considerando a cota máxima de inundação de 741 m. [19]

Segundo Machado em [19], o sistema hidrográfico que alimenta a represa de Chapéu D'Uvas é composto por, no mínimo, 987 nascentes as quais formam 117 microbacias. A rede de drenagem, segundo Ribeiro [21], se caracteriza como do tipo dendrítica, também conhecida como arborescente. Os afluentes se distribuem por toda a superfície da região e se unem formando ângulos agudos de graduações variadas. Machado apresentou em seu trabalho [19] um levantamento dos principais tributários do rio Paraibuna até a represa. Tais informações foram importantes para definição dos pontos de amostragem desta pesquisa. A rede hidrográfica da BCRC D é apresentada na Figura 5.

Figura 5 – Rede hidrográfica da BCRCD



2.1.2 Histórico da construção da barragem

Machado, em sua obra, apresenta um detalhado histórico sobre a construção da barragem de Chapéu D'Uvas, onde podem ser encontradas maiores informações. Segundo o pesquisador, as ocorrências de enchentes na cidade de Juiz de Fora registradas no final do século XIX e início de século XX foram a motivação inicial para a construção, tendo por objetivo então o controle de cheias do rio Paraibuna. Em destaque, a enchente ocorrida em dezembro de 1940 que marcou a cidade. [19]

A enchente teve duração de 91 horas e 30 minutos e a descarga máxima teria alcançado $245 \text{ m}^3/\text{s}$, muito superior à capacidade da calha do rio, na época calculada em $120 \text{ m}^3/\text{s}$, o que causou enormes prejuízos.

Com a implantação de outras alternativas, como a regularização do curso do rio, a ideia inicial de construção da barragem passou a ser tratada como obra complementar. Com o passar do tempo, ao final da década de 1940, a demanda por energia elétrica reforçou a necessidade da barragem, uma vez que a Companhia Mineira de Eletricidade tinha suas usinas hidrelétricas instaladas no mesmo rio Paraibuna e a produção de energia era comprometida com as baixas vazões nos períodos de seca. Assim, em 1951, o então Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS) publicou um projeto da barragem de Chapéu D'Uvas, no qual se observa que, além de controlar cheias, a mesma teria a função de perenização do rio Paraibuna. [19]

As obras de construção da barragem foram iniciadas a partir de 1958, mas paralisadas em 1963 sendo então rescindido o contrato com a construtora em 1964. Em meados da década de 1970, devido ao aumento da demanda por água para atendimento de novas indústrias implantadas no município de Juiz de Fora, o DNOS reformulou o projeto original e as obras foram reiniciadas em 1976. Porém, devido a questões como a falta de recursos federais para a obra e os problemas com as desapropriações para inundação do lago, no período da década de 1980 a obra pouco avançou. Até que em 1991, pelo governo federal, foram destinadas verbas e baixado um decreto de declaração de utilidade pública para desapropriação da área de formação do lago. A barragem então foi inaugurada em dezembro de 1994. [19]

Em 2010 a prefeitura de Juiz de Fora, por meio da Cesama, iniciou as obras de implantação da adutora que ligaria a barragem à estação de tratamento de água (ETA) Walfrido Machado de Mendonça, também conhecida como ETA CDI, localizada no Distrito Industrial, zona norte da cidade. A vazão outorgada pela ANA para captação de água na represa de Chapéu D'Uvas, conforme Resolução nº773 de 20 de julho de 2015, é de 900 litros de água por segundo. Tal adutora teria capacidade de adicionar ao sistema da cidade cerca de 280 l/s, que é a capacidade instalada disponível na ETA CDI, visto o que já é

captado no ribeirão Espírito Santo. Conforme matéria publicada pela Agência Nacional de Águas, a conclusão desta ligação deveria ocorrer até o final do ano de 2011, porém, apenas em 22 de agosto de 2014 a adutora foi inaugurada. Devido a problemas estruturais naquela estação, os quais impossibilitaram o tratamento da água de Chapéu D'Uvas, a Cesama iniciou em 19 de outubro de 2015 a construção de uma nova adutora, desta vez ligando a mesma barragem à ETA Marechal Castelo Branco, localizada na represa Dr. João Penido. A obra foi finalizada e inaugurada em 25 de maio de 2017, aumentando em mais 500 l/s a contribuição das águas de Chapéu D'Uvas para o sistema juizforano de abastecimento. [24, 25, 26]

2.1.3 Características físicas e de operação da barragem

A barragem principal da represa de Chapéu D'Uvas tem seu eixo praticamente perpendicular ao curso principal do rio [27], com altura máxima de 40 m e comprimento de 330 m. O balanço hidrológico do reservatório considerou uma onda de cheia com tempo de recorrência de 10, 20, 50 e 100 anos, bem como cinco alternativas de cota do vertedor a fim de avaliar as condições de amortecimento das ondas de cheia. A equipe do DNOS e da Sondotécnica S. A. decidiu então pela alternativa que considerou o tempo de recorrência de 100 anos e cota da soleira do vertedouro em 741 m.[28] Segundo a consultoria da Sondotécnica S.A em [29], esta decisão "foi baseada na conveniência de amortecer em quase 60% a onda afluyente ao reservatório", oferecendo assim mais segurança a jusante. As cotas e volumes para esta alternativa de operação do reservatório são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Balanço hidrológico do reservatório de Chapéu D'Uvas. Histograma de cheia provável para 100 anos, alternativa de cota da soleira do vertedor em 741,00m.

Grandeza	Un	Medida
Cota Máxima para Regularização	m	740,00
Volume Máximo para Regularização	$10^6 \cdot m^3$	123,00
Cota Máxima Normal	m	741,00
Volume Máximo Normal	$10^6 \cdot m^3$	133,50
Cota Máxima <i>Maximorum</i>	m	745,00
Volume Máximo <i>Maximorum</i>	$10^6 \cdot m^3$	178,75
Cota Mínima	m	711,46
Volume Mínimo	$10^6 \cdot m^3$	2,99

Fonte: [28].

O volume correspondente à diferença entre a Cota Máxima para Regularização (740 m) e a Cota Máxima Normal (741 m = soleira do vertedor) é o volume de espera, estimado em $11 \times 10^6 m^3$ e que tem por função o controle de cheias. O nível Máximo *Maximorum* corresponde à máxima sobrelevação do nível de água do reservatório, disponível para

a passagem de cheias. Também permite a passagem de ondas formadas pelos ventos, garantindo assim que estas não transponham o barramento vindo a prejudicá-lo.

Para operação da barragem de Chapéu D'Uvas, visando conciliar as funções de amortecimento e perenização com o uso do manancial, a Cesama trabalha com outras cotas e volumes operacionais conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Cotas e volumes de operação da barragem de Chapéu D'Uvas conforme Cesama.

Grandeza	Un	Medida
Cota Mínima de Operação	m	715,00
Volume Mínimo de Operação	$10^6.m^3$	10,00
Cota Máxima de Operação	m	741,00
Volume Máximo de Operação	$10^6.m^3$	137,00
Volume Útil	$10^6.m^3$	127,00
Cota Mínima	m	711,46
Volume Morto	$10^6.m^3$	10,00

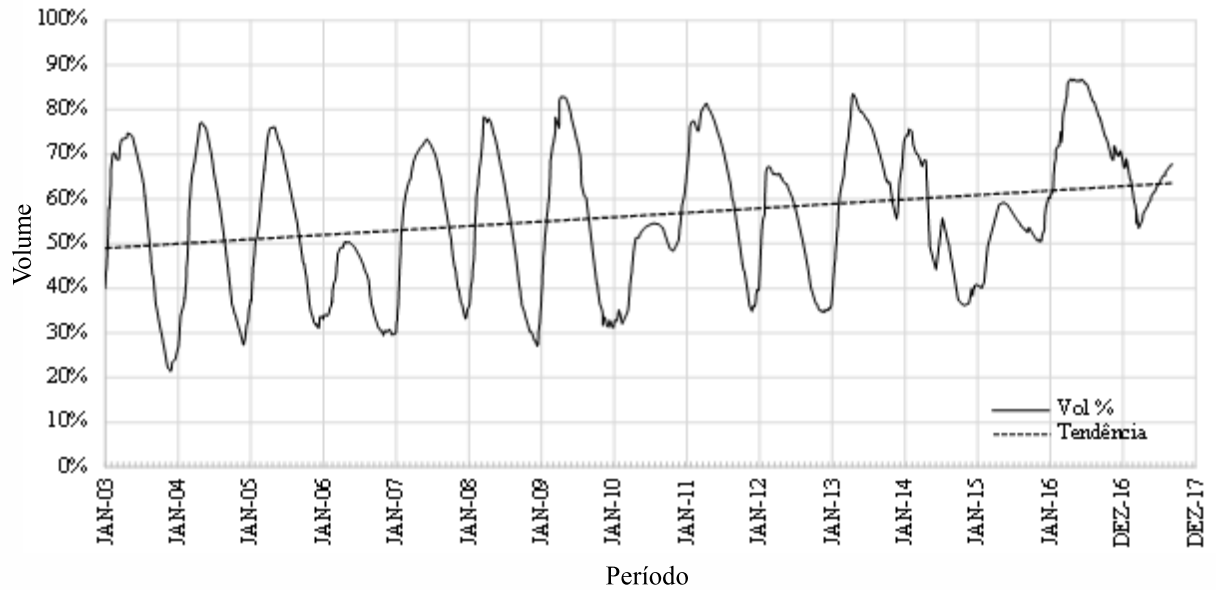
Fonte: [30].

Os níveis diários históricos do reservatório são registrados pela Cesama [30] desde 01 de janeiro de 2003. A Figura 6 apresenta a curva com os volumes percentuais no período compreendido entre janeiro de 2003 e setembro de 2017. É possível perceber na mesma Figura que a represa possui volumes mais baixos nos períodos de chuva, e mais altos nos períodos de estiagem. Verifica-se ainda, na mesma Figura, a linha de tendência do volume percentual em crescimento nesse período compreendido entre os anos de 2003 e 2017. Outro destaque a ser feito é que o reservatório, desde o início desse monitoramento, não atingiu 90% de sua capacidade.

As descargas da barragem, registradas pela Cesama são apresentadas na Figura 7, na qual está representada também a curva de volumes percentuais.[30] Na Figura 7 é possível observar os efeitos da operação da barragem para amortecimento de cheias e perenização, visto que a curva de descarga é crescente nos períodos de estiagem até se aproximem os períodos de chuva, quando cai, e, posteriormente, mantém-se menor ao longo dos períodos de chuvosos. Percebe-se também que durante o longo período de estiagem vivenciado na região em 2014 e 2015 a curva de descarga ficou longo tempo em zero ou próximo de zero. Por sua vez a curva de volume tem comportamento contrário à curva de descarga. Conforme relatado na pesquisa de Souza Lima et al. realizada com dados de vazão do rio Paraíba logo à jusante da represa, registrados entre os anos de 1975 e 2005, a média das vazões máximas mensais reduziu em 32,45% após a implantação da barragem, enquanto a média das vazões mínimas mensais foi aumentada em 91,09%, devido à descarga nos períodos de estiagem. [31]

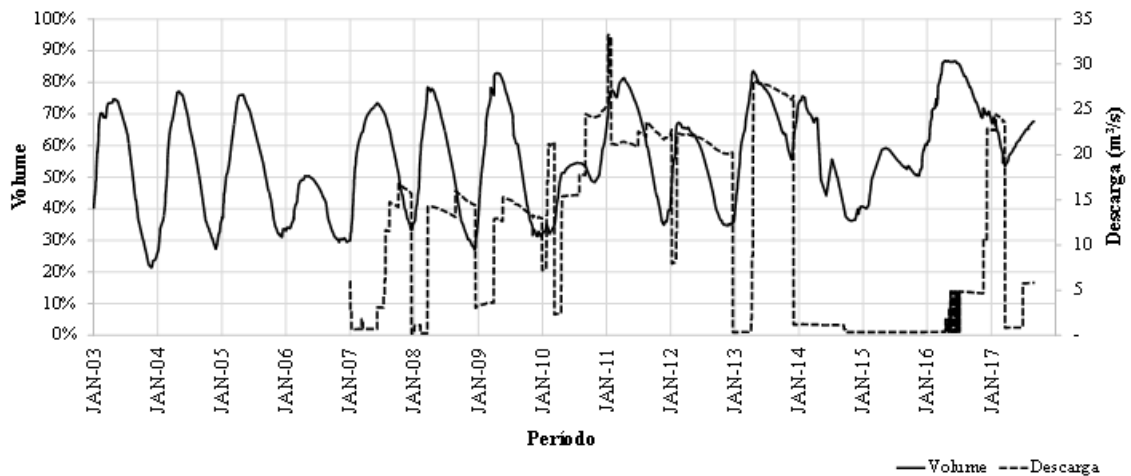
Além das descargas da barragem, outra saída de água pela operação é a captação para abastecimento público com uma vazão média de $0,30 m^3/s$ a partir de 2015 e, a partir

Figura 6 – Volumes percentuais do reservatório de Chapéu D’Uvas de 02/01/2003 a 05/09/2017



Fonte: [30]

Figura 7 – Descargas em m^3 do reservatório de Chapéu D’Uvas de 02/01/2007 a 05/09/2017 e volumes percentuais do reservatório de Chapéu D’Uvas de 02/01/2003 a 05/09/2017



Fonte: Adaptado de [30]

de julho de 2017, chegou a $0,60 m^3/s$, semelhante a vazão captada de outro manancial, o ribeirão Espírito Santo, que chega a $0,62 m^3/s$. [30]

2.1.4 Estudos realizados na Represa de Chapéu D’Uvas

Além dos estudos técnicos para o projeto e construção da barragem, poucos outros foram desenvolvidos na BCRCO, principalmente sobre aspectos ambientais. Entre esses poucos, um dos mais antigos foi publicado em 2001 por Lacerda [32]. A pesquisadora

estudou a ictiofauna da represa, analisando sua distribuição longitudinal e dieta das principais espécies da área de influência do reservatório. O estudo aponta para os impactos do barramento e do lago na comunidade íctica.

Em 22 de março de 2002 foi publicada matéria num jornal de circulação local em Juiz de Fora versando sobre um estudo realizado pelo professor da UFJF, Fábio Roland, sobre a presença de cianobactérias na represa. Segundo Machado em [19]:

A matéria destacava a alta incidência da alga *Cylindrospermopsis raciborskii*, devido ao não prévio desmatamento da área alagada, que pode comprometer a qualidade da água para o consumo humano, uma vez que a espécie concentra cianotoxina, que pode causar problemas hepáticos e neurológicos.

A notícia causou preocupação na população de Juiz de Fora. Tanto que, poucos dias depois da divulgação da mesma, técnicos da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa) estiveram na cidade para realizar análises mais detalhadas da água da represa. O próprio Diretor-Presidente da Companhia procurou esclarecer a população sobre os reais riscos da presença de cianobactérias na água para consumo humano.[33] Vale ressaltar que naquela época a água da represa ainda não era utilizada para abastecimento público, o que veio ocorrer apenas em 2014, ou seja, 12 anos depois. Machado em [19] relata a diminuição na contagem dessas algas no reservatório ao longo dos anos. Também os dados de campo desta pesquisa irão apresentar mais informações sobre o estado atual do reservatório no que se refere às cianobactérias.

No ano de 2009 foi publicado um artigo científico intitulado "Estudo dos impactos socioambientais da represa de Chapéu D'Uvas e análise de sua importância para o município de Juiz de Fora"[34]. O trabalho buscou fazer uma revisão histórica da construção da barragem e seus impactos nas comunidades locais, abordando com maior ênfase as modificações na Colônia de São Firmino e em Dores do Paraibuna. Também relacionou problemas ambientais como o desmatamento ao redor da represa e os processos erosivos nas encostas da bacia.

No ano de 2009 foi realizado um estudo por Silva e Neto [35] sobre a situação do entorno da represa. As pesquisadoras relataram sobre as ocupações e uso e cobertura da terra na bacia, verificaram também problemas ambientais como os relatados em [34].

Um estudo sobre a caracterização geoambiental da área foi publicado em 2012 por Oliveira [29], abrangendo a área do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraibuna, da nascente até a barragem de Chapéu D'Uvas. No estudo se verificou o já citado avanço do desmatamento atingindo as margens dos corpos hídricos e junto às cabeceiras. Além do desmatamento, o autor aponta outro fator que pode contribuir para a ocorrência dos processos erosivos e consequente assoreamento do lago: o ajustamento morfodinâmico

por consequência do enchimento da represa, o qual pode gerar efeitos hidrológicos e geomorfológicos como o aumento das zonas saturadas nas encostas.[29]

Machado [19] realizou, por mais de três anos, um estudo publicado em 2012 sob título "Diagnóstico ambiental e ordenamento territorial: instrumentos para a gestão da bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas/MG". O pesquisador produziu um rico material descritivo e histórico sobre a concepção, projeto e construção da barragem, além dos impactos sociais causados pelo enchimento do lago. Em suas conclusões, Machado apontou o que considera os três maiores problemas da bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas:

(...) sua configuração político-administrativa; os processos de erosão superficial e conseqüente assoreamento da represa; e a introdução de efluentes domésticos sem prévio tratamento. Todos diretamente relacionados à redução da quantidade e à degradação da qualidade das águas desse novo manancial. [19]

Em seu estudo Machado [19] levantou proposições para o ordenamento territorial da bacia, também visando oferecer subsídios para a gestão do manancial. Sua pesquisa contemplou a elaboração dos diagnósticos físico-ambiental e socioeconômico, de uso e cobertura da terra, possibilitando o conhecimento mais detalhado da realidade daquela área.

Um outro importante trabalho histórico e descritivo sobre a região foi realizado por Ribeiro [21], publicado também em 2012. O pesquisador estudou as unidades geoecológicas da bacia e fez uma análise dos impactos da incorporação do manancial ao sistema de abastecimento de água de Juiz de Fora. De modo semelhante ao trabalho de Machado, Ribeiro também realizou um estudo sobre a bacia visando subsidiar o planejamento ambiental e a gestão daquele recurso hídrico. O pesquisador identificou diversos problemas ambientais na bacia, destacando-se:

(...) a poluição e a contaminação das águas da represa através da introdução de esgotos domésticos; a ocupação das áreas de preservação permanente; os processos erosivos originados pela retirada da cobertura vegetal, levando ao assoreamento dos cursos de água; a disposição inadequada dos resíduos sólidos; etc.[21]

Ribeiro destaca também "a necessidade da adoção de medidas de disciplinamento do uso e ocupação da terra e de conservação dos recursos hídricos na bacia".[21]

Em 2013 Souza Lima et al. [31] avaliaram relações entre as características fisiográficas de dois trechos do rio Paraibuna e os processos hidrológicos atuantes, com o intuito de verificar a influência da represa de Chapéu D'Uvas no regime de vazões do mesmo rio. Especificamente sobre a barragem, os pesquisadores concluíram que a operação da mesma

"atenuou a amplitude entre as vazões máximas e mínimas, permitindo a regularização do rio Paraibuna". Porém, com o aumento da área impermeabilizada na bacia do mesmo rio, à jusante da barragem, houve aumento no escoamento superficial e, com isso, continuaram a ocorrer grandes picos de vazão. As obras de retificação do rio causaram efeitos que, somados com a construção da barragem, ajudaram a diminuir a ocorrência de enchentes da cidade de Juiz de Fora. [31]

No ano de 2013 a UFJF comprou a antiga Fazenda do Engenho, situada às margens da represa de Chapéu D'uvas, no município de Ewbank da Câmara. O propósito era transformar a fazenda numa unidade experimental de pesquisa. O imóvel sofreu com ações de vandalismo e furtos. Até o momento a instalação da estrutura necessária para as pesquisas não foi efetivada, embora a área já seja utilizada como apoio para algumas atividades de campo. [36, 37] Espera-se que esta se torne realmente uma importante unidade de pesquisa e que assim promova mais estudos sobre a represa e sua bacia.

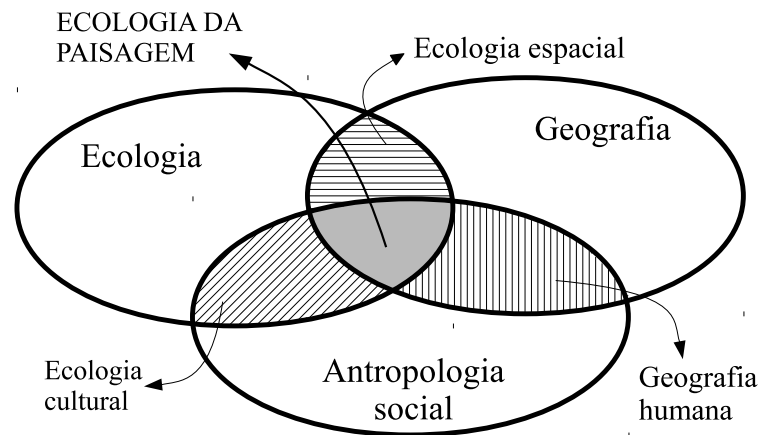
Até mesmo por se tratar de um manancial recente, poucos estudos científicos são encontrados sobre a BCRC. Aqui foram registrados os que tratavam diretamente da represa e sua bacia, publicados e encontrados ao longo desta pesquisa. Destes estudos, apenas Machado [19] e Ribeiro [21] estudaram parâmetros de qualidade da água da represa. Ambos os pesquisadores realizaram diversos levantamentos em campo, entrevistas, observações, medições. Geraram mapas temáticos como de uso e cobertura da terra, declividade, hidrografia, tipos de solo, entre outros. A produção dessas duas pesquisas constitui rica fonte de consulta, não apenas sobre a BCRC, mas sobre a região e os municípios que a compõem. No entanto, para verificação da qualidade da água foram utilizados apenas dados da represa fornecidos pela Cesama e pelo Igam. Tais dados se referem a amostras coletadas em um único ponto do reservatório, em geral próximo à captação. Não foi realizado levantamento sobre a qualidade da água dos tributários do lago, abrangendo a bacia.

2.2 LIMNOLOGIA DA PAISAGEM

O conceito de limnologia da paisagem tem origem na ecologia da paisagem. Segundo Wiens [38] a ecologia da paisagem está na interseção das disciplinas bem estabelecidas da geografia, ecologia e antropologia social, e ainda incorpora também elementos dos híbridos dessas disciplinas: ecologia espacial (ecologia + geografia), geografia humana (geografia + antropologia social) e ecologia cultural (antropologia social + ecologia), como ilustrado na Figura 8.

Wiens considera que este escopo é muito amplo, e assim permite várias abordagens enfatizando diversos elementos destes temas, sob os quais a ecologia da paisagem estuda a influência do padrão espacial nos processos ecológicos [38]. Dentre essas abordagens, há uma perspectiva segundo Forman [39], a qual relaciona a ênfase nos processos ecológicos

Figura 8 – Diagrama conceitual das disciplinas da ecologia de paisagens



Fonte: Adaptado de [38]

com as atividades humanas, enfatizando a importância de se considerar a presença antrópica na paisagem e a relevância da ecologia da paisagem para a gestão dos recursos naturais e do uso da terra.

Forman [39] explica que a paisagem é formada por mosaicos cujos padrões dependem da escala de observação, podendo ser aquela observada por uma pessoa, ou mesmo uma região ou continente. Esses padrões são criados por três mecanismos: as características do meio físico como relevo, tipos de solo e corpos d'água; os distúrbios naturais como tornados e fogo; e as atividades humanas como desmatamento, agricultura e construção de rodovias. Além disso, geralmente, vários processos biológicos atuam modificando estes padrões[39]. Ainda segundo Forman, um mosaico, independente da escala, é formado por três elementos básicos para qualquer padrão: manchas, corredores e matriz. Estes elementos podem ter origem natural ou antrópica, e podem ser aplicados em padrões de diferentes ecossistemas, estágios de sucessão ou uso da terra. Os ecossistemas que se encontram inseridos na matriz de paisagem são considerados manchas, estão fisicamente isolados ou separado de outra mancha do mesmo tipo de ecossistema. Fragmentos de mata, ou um campo de determinado cultivo, quando isolados, são considerados mancha. Os corredores são elementos que conectam as manchas, ou ainda, podem representar barreiras para a conexão ou movimentação de espécies. Um fragmento linear de mata ligando duas manchas facilitará a movimentação de espécies entre elas, mas uma rodovia, por exemplo, separando-as, pode dificultar essa conectividade. A matriz é o conjunto de elementos de uma paisagem [39]. Esta estrutura conceitual desenvolvida por Forman é importante para o entendimento da aplicação da ecologia de paisagem nos estudos de ambientes aquáticos e ribeirinhos.

Wiens [38] publicou no ano de 2002 um estudo no qual defendeu a aplicação dos

conceitos e ferramentas da ecologia de paisagem em ambientes ribeirinhos e aquáticos, ou ainda, como definido por ele no título de seu trabalho, "levando a ecologia de paisagem para a água". Segundo o autor, este conceito é tradicionalmente aplicado na terra, mas pode também ser aplicado para ambientes aquáticos. Wiens propõe então que se estude as paisagens ribeirinhas de modo paralelo com os estudos de paisagens terrestres, contribuindo assim para um alargamento da ecologia da paisagem. Ilustra e discute tal aplicação e assim conclui em seu trabalho que tanto a ecologia de paisagem tem muito para contribuir aos que trabalham com ecossistemas ribeirinhos, como esses também podem contribuir para a primeira. [38]

Outros trabalhos relacionando ecologia da paisagem, limnologia e hidrologia foram realizados, como os de Magnuson e Kratz [40], Kratz et al. [41], Carpenter e Brock [42], Winter [43]. Desse modo foi sendo formada uma base de conhecimento sobre esta temática interdisciplinar propiciando seu desenvolvimento.

No ano de 2009 um grupo de pesquisadores do *Department of Fisheries and Wildlife*, da *Michigan State University*, publicou um trabalho que apresenta uma proposta de "*lake-landscape context (LLC) framework*" [44]. Ou seja, uma estrutura de análise do contexto lago-paisagem. Na tentativa de organizar e estruturar as ideias desenvolvidas em diversas pesquisas publicadas relacionando limnologia e estudo da paisagem, Soranno et al. [44] buscavam ligar conexões aquáticas, características terrestres e efeitos humanos em escalas espaciais múltiplas, por meio da formalização dessas ideias em um quadro conceitual integrado que pudesse ser aplicável a uma variedade de lagos e regiões. A estrutura LLC proposta reconhece três conjuntos de recursos paisagísticos que influenciam as variações das características da água e interagem nas escalas locais e regionais: aquáticos, terrestres e humanos. E cada um desses conjuntos de recursos é hierarquicamente organizado, de modo que os recursos regionais restringem e definem o contexto para recursos locais. A ecologia de paisagem e seus elementos, conforme apresentado por Forman [39], é integrada nesta estrutura ao se tratar os lagos como manchas, cursos d'água e zonas úmidas como corredores e as características humanas e terrestres como as matrizes. [44]

Posteriormente, em outro trabalho, Soranno et al. [17] apresentaram uma evolução desta estrutura LLC e desenvolveram o que passaram a chamar de limnologia da paisagem (*landscape limnology*) com a seguinte definição:

A limnologia da paisagem é o estudo espacialmente explícito de lagos, riachos e zonas úmidas e sua interação com paisagens de água doce, terrestres e humanas, para determinar os efeitos do padrão nos processos ecossistêmicos em escalas temporais e espaciais (tradução do autor).

A Figura 9 ilustra esta nova estrutura, onde as características dos ecossistemas de água doce variam em função do contexto e da conectividade da mancha, definidos pelas

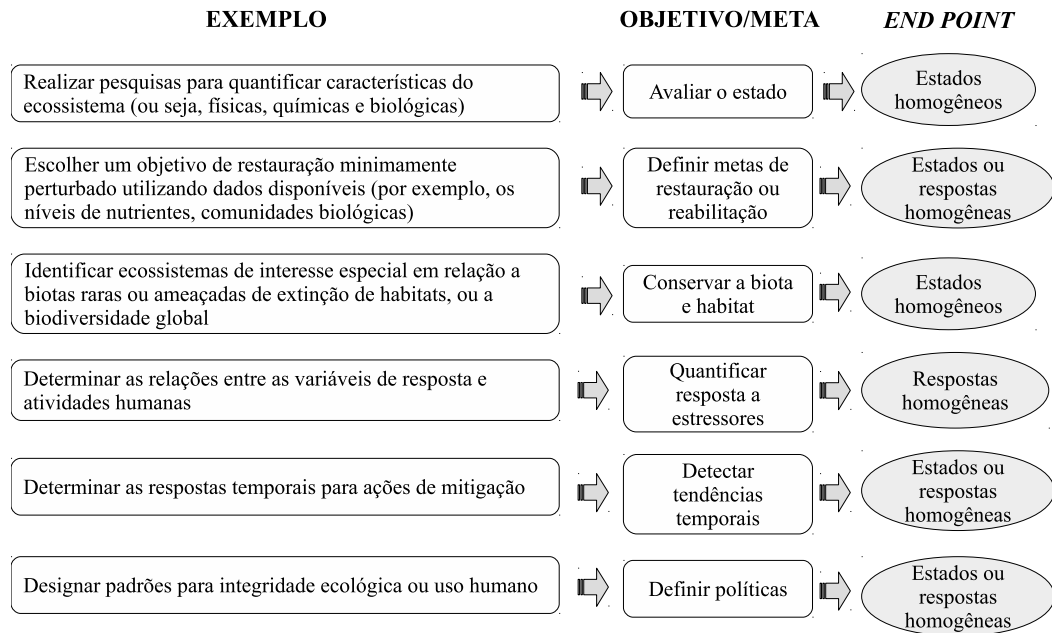
mancha está inserida. Por exemplo a extensão e composição das zonas ripárias e seu uso.

3. **Conectividade e direcionalidade da mancha:** a paisagem de água doce também define corredores, como os cursos d'água que transportam nutrientes, poluentes, permitem a movimentação de organismos entre manchas. Essa conectividade geralmente indica uma direcionalidade nos fluxos e deve ser considerada. Por exemplo, uma amostra de água coletada numa córrego em determinado ponto "B" provavelmente carregará características de uma amostra coletada no mesmo curso d'água num ponto "A" localizado a montante.
4. **Escala espacial e hierarquia:** os ecossistemas de água doce geralmente são controlados por paisagens hierarquicamente diferentes, fugindo ao escopo do entorno e, por vezes, até da bacia hidrográfica. Além disso, o grau de homogeneidade pode variar conforme a escala espacial considerada.

A partir destes princípios e estrutura, Soranno et al. [17] apresentam a importância da aplicação de modelagens preditivas com base em relações causais entre as variáveis, e não apenas abordagem de classificação do estado atual. Por exemplo, bacias hidrográficas não devem ser classificadas apenas pelo uso e cobertura da terra ou parâmetros semelhantes de qualidade da água, mas sim pela forma como a qualidade da água responde aos estressores. Outro ponto que os pesquisadores consideram como desafio para a modelagem e classificação de ecossistemas é a necessidade de uma relação explícita entre o tipo de modelo de classificação preditiva utilizado e o objetivo de gestão ou conservação. O modelo a ser escolhido dependerá então do *end point* desejado, termo utilizado pelos pesquisadores em referência à perspectiva da classificação, que pode ser de estado homogêneo ou resposta homogênea. Por exemplo, o nível de nitrogênio total em um lago é um estado, mas a variação do nível deste mesmo parâmetro conforme a ocorrência de chuva é uma resposta (à ação da chuva). [17] A Figura 10 apresenta os objetivos mais comuns de gestão e conservação de ecossistemas da escala de paisagem, e, para cada objetivo apresenta um exemplo e seu *end point*.

Conforme a Figura 10, se o objetivo é classificar ambientes para escolher uma meta de restauração (por exemplo, um lago mais eutrofizado), o *end point* seria de estados homogêneos, ou seja, os diversos lagos estudados seriam classificados pelo índice de estado trófico. Por outro lado, se o objetivo é classificar conforme a relação entre a concentração de fósforo total na água e o uso da terra para agricultura na bacia de contribuição, então o *end point* seria de respostas homogêneas. Assim, a escolha do modelo de classificação preditiva deve ser coerente com o objetivo de manejo e conservação que se deseja alcançar. [17]

Figura 10 – Objetivos comuns de gestão e de conservação e *end points* mais adequados para a gestão e conservação dos ecossistemas na escala da paisagem



Fonte: Adaptado de [17]

O sistema de modelagem proposto então por Soranno et al., a partir das Figuras 9 e 10, consiste em quatro etapas relacionadas aqui, sumariamente: [17]

1. **Escolher o *end point*** da classificação preditiva (estados homogêneos ou respostas homogêneas), conforme objetivos de gestão. É importante que as metas sejam declaradas quantitativamente para facilitar o processo de monitoramento.
2. **Criar classes** de ecossistemas a partir dos princípios de limnologia de paisagem.
3. **Desenvolver ações de gestão** para cada classe e monitorar os ecossistemas.
4. **Avaliar as ações de manejo** utilizando os dados de monitoramento, conferir com as metas estabelecidas e, se necessário, revisar as ações.

Para ilustrar o uso do modelo, Soranno et al. [17] apresentaram uma aplicação dos passos 1 a 3 para fixação de metas de restauração relacionadas à eutrofização para 1998 lagos temperados do norte dos Estados Unidos da América (USA). Foram utilizadas na análise as variáveis de paisagem como preditoras conforme os princípios de limnologia da paisagem:

- **Paisagem de água doce:** ecorregião (Unidade de Drenagem Ecológica (EDU)); precipitação média (1971-2000); *runoff* médio (1951-1980); índice médio do fluxo base dos rios perto do lago; tempo de residência da água; porcentagem de água

aberta (espelho d'água); percentagem de cobertura de zonas úmidas; profundidade média do lago; profundidade máxima do lago.

- **Paisagem terrestre:** ecorregião (EDU); características e espessura do sedimento quaternário; área da bacia; relação entre a área da bacia de captação e a área do lago; percentagem de cobertura florestal; elevação do lago.
- **Paisagem Humana:** densidade populacional; densidade habitacional; densidade de estradas; percentagem de pastagens; porcentagem de agricultura em fileiras; porcentagem de urbanização; percentagem de famílias com renda anual >\$100.000; número médio de quartos em unidades habitacionais; percentagem de unidades habitacionais com eliminação de esgotos sanitários; percentagem de unidades habitacionais construídas antes de 1940; percentagem de unidades habitacionais construídas entre 1980 e 1989.

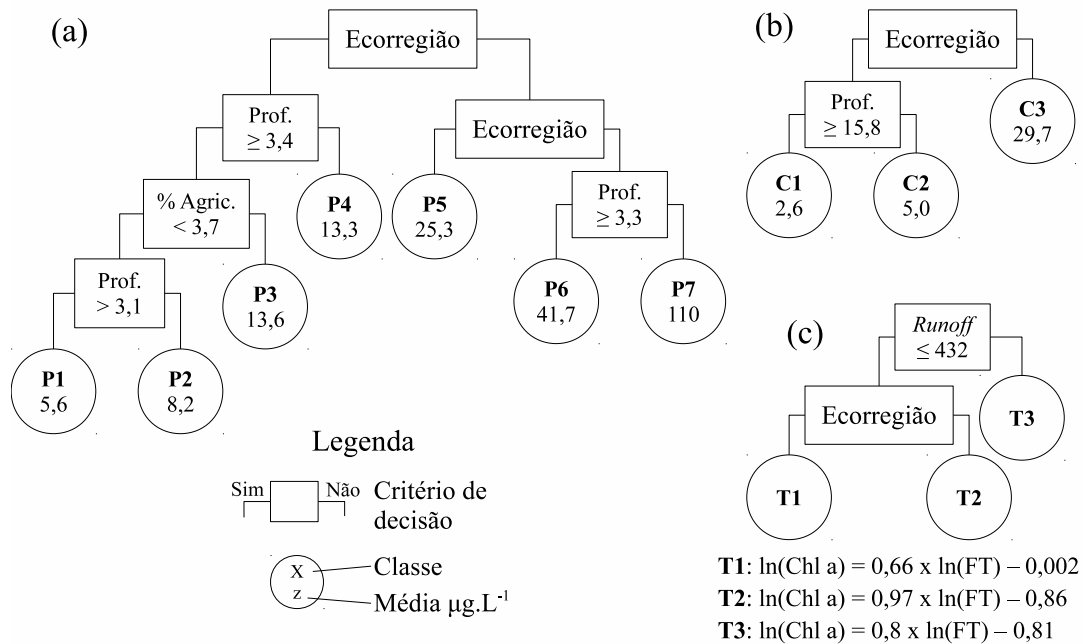
O conceito de ecorregião e as suas técnicas de delimitação foram desenvolvidas inicialmente entre as décadas de 1980 e 1990 [45] [46]. Os estudos foram motivados pela percepção de que variáveis como fisiografia, tipos de solo, uso e cobertura da terra são impactantes na qualidade da água de um corpo hídrico, e que são frequentemente distribuídas em fragmentos de vários tamanhos diferentes, com gradiente por toda a paisagem, geralmente ultrapassam os limites de uma ou mais bacias hidrográficas, como explica Jenerette et al. [47]. Buscou-se então, na tentativa de resolver essa questão, desenvolver uma maneira de delimitar regiões ecológicas "relativamente homogêneas". Esta delimitação passou a ser aplicada pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) e pela *Intergovernmental Task Force on Monitoring Water Quality 1995*. As classificações da paisagem para a predição de ambientes de água doce foram evoluindo e, com o desenvolvimento e melhoramento das ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, a delimitação por ecorregião foi sendo refinada ao longo do tempo. [48] Como o trabalho de Higgins et al. [49], que apresenta a delimitação por EDU a partir de dados espaciais disponíveis para classificar e mapear padrões ecológicos, em escalas conhecidas por moldar padrões de biodiversidade de água doce. Estes conceitos e delimitações, comumente aplicados nos USA e cujos dados são disponibilizados publicamente por instituições de pesquisa e pela USEPA, foram utilizados por Soranno et al. em seu exemplo de aplicação da limnologia da paisagem. Para mais informações sobre essas delimitações consultar [45, 47, 49, 48, 44, 17].

Como variáveis de resposta foram modeladas por Soranno et al. o fósforo total (FT), a clorofila (Chl), profundidade do lago e tamanho da área de contribuição da bacia. Os pesquisadores fizeram uma classificação pela variável FT (estado), uma classificação pela variável Chl (estado) e outra pela Chl (resposta) em função do FT como variável preditora. Segundo os pesquisadores, os parâmetros fósforo e clorofila estão relacionados a

sintomas indesejáveis de eutrofização do corpo hídrico, tipicamente definidos como excesso de biomassa de algas. As concentrações de FT na água são usualmente utilizadas pois este nutriente é, geralmente, um fator limitante para o crescimento de algas e, desse modo, tem uma forte correlação positiva com a Chl. Para a classificação baseada em estado os pesquisadores utilizaram modelos de árvore de regressão e, para a classificação baseada em resposta, modelos bayesianos conhecidos como *treed models*. Estes modelos *treed* são também baseados em árvore de regressão, porém considerados mais refinados por fazerem uma análise mais detalhada na busca de melhores relações. Para comparar os modelos das três classificações foi utilizado o Critério de Informação de Akaike (AIC). Para mais informações sobre os métodos estatísticos consultar [17].

Foram formadas, como resultado dos modelos, três classificações diferentes: o modelo para a variável FT criou sete classes, para Chl três classes, e, para o modelo de resposta Chl×FT foram criadas três classes. Todas as classificações foram definidas por variáveis regionais (ecorregião). A Figura 11 ilustra as classes que foram formadas.

Figura 11 – Diagramas de árvores de classificação e regressão: (a) fósforo total, (b) clorofila, (c) Chl×FT



Fonte: Adaptado de [17]

Nos resultados apresentados chama atenção o fato de que, mesmo com tantas variáveis preditores das paisagens de água doce, terrestre e humana, poucas foram necessárias nos critérios de decisão, sendo baseados, principalmente, nas ecorregiões, profundidade dos lagos e uso agrícola da terra na bacia. Soranno et al. destacam que as implicações ecológicas dos resultados devem ser consideradas, e não apenas as saídas estatísticas. Por exemplo, destaca-se a divisão das classes P3 e P4 do modelo para FT, pois, apesar de terem

valores próximos para a média de concentração (13,6 e 13,3 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente), os lagos da classe P3 são profundos e têm uso agrícola da terra na bacia enquanto os lagos da classe P4 são pouco profundos. Enquanto os lagos rasos têm concentrações elevadas de FT devido ao material interno ao sistema, os lagos com uso agrícola na bacia recebem FT dos processos de carreamento de nutrientes. Assim, os pesquisadores argumentam que a classificação baseada apenas na concentração de FT, sem considerar as variáveis preditoras, não permitiria identificar estas variações relacionadas à paisagem. [17]

Outro ponto que merece atenção é o resultado para o modelo baseado na resposta $\text{Chl} \times \text{FT}$. Considerando que o objetivo da classificação seja definir metas de restauração, conforme Figura 10, e que a meta de eutrofização para clorofila seja de 7,00 $\mu\text{g.L}^{-1}$, os lagos da classe T2 deverão ter a concentração de FT menor que 31 $\mu\text{g.L}^{-1}$, enquanto os lagos da classe T3 terão um objetivo de redução para 19 $\mu\text{g.L}^{-1}$ de FT. Ou seja, os lagos de cada classe precisarão de diferentes ações de controle, pois nelas a variável Chl se comporta de modo diverso em relação à concentração de fósforo. Os pesquisadores reforçam que as diferenças entre as classes de lago podem ser usadas para determinar onde os esforços de gestão, bem como os recursos a serem empenhados para redução do FT, podem ser mais eficientemente aplicados para alcançar a maior redução em Chl, encontrando assim um valor social de custo-benefício. [17]

Em suas conclusões, Soranno et al. enumeram três lições importantes: [17]

- (1) a abordagem de modelagem de classificação preditiva deve ser escolhida para corresponder à meta de gestão do ecossistema, (2) a importância relativa dos fatores paisagísticos regionais versus sub-regionais pode diferir para cada abordagem de modelagem de classificação preditiva, e (3) a modelagem preditiva da classificação dos ecossistemas proporciona a oportunidade para uma melhor compreensão da variação do ecossistema de água doce (tradução do autor).

Estudos relacionando paisagem e qualidade da água geralmente partem de princípios semelhantes ao trabalho de Soranno et al em [17], mesmo que não explicitamente usando a estrutura de limnologia da paisagem proposta por aqueles autores. Fergus et al. [50] investigaram, para um conjunto de lagos no norte dos USA, as relações entre a cobertura vegetal das zonas ripárias, o fósforo total do lago e a cor da água, usando modelos que também incorporam características de paisagem, como hidrogeomorfologia e uso da terra, em amplas escalas. As relações com o FT e a cor não foram afetadas por interações em escala local mas por características de paisagem regional. Por exemplo, quanto ao uso da terra para agricultura: nas bacias onde este tipo de uso é alto, a zona ripária estava associada à diminuição do FT, enquanto nas bacias com baixa quantidade de uso agrícola as zonas ripárias locais foram associadas ao aumento do FT. Também foram observadas

relações com as características hidrogeomórficas regionais, como a água subterrânea, e a configuração regional da paisagem e sua escala. [50]

Num trabalho para examinar a influência das características da paisagem, bem como da posição de cada lago nessa paisagem, e da biogeoquímica aquática, Sadro et al. [51] examinaram uma cadeia de lagos no estado da Califórnia, nos USA. Foram medidas variáveis químicas da água, matéria orgânica dissolvida, nutrientes e variáveis bióticas nas bacias. Os pesquisadores encontraram relações entre as características das paisagens (como elevação, declividade, afloramento de rochas, cobertura vegetal), a morfometria dos lagos (como profundidade, volume) e as variáveis biogeoquímicas da água. A posição do lago na paisagem também foi um preditor significativo de padrões em algumas variáveis biogeoquímicas, uma vez que a distribuição espacial influencia nas características da paisagem. [51]

Cheruvellil et al. [52] realizaram um estudo investigando a variação do poder preditivo entre as regiões, os ecossistemas e a estrutura regional. Foi analisado um conjunto de variáveis químicas da água dos lagos, variáveis hidrogeomórficas e antropogênicas em múltiplas escalas espaciais. Concluíram, entre outras questões, que uma proporção muito maior da variação total entre lagos foi explicada na escala regional do que na escala local. Esta conclusão remete à proposta de estrutura de limnologia da paisagem de Soranno et al. [44] onde se considerava a hierarquia e escala espacial conforme Figura 9.

Para estudar como as variáveis de paisagem influenciam nas concentrações de FT e, por consequência, nas comunidades de peixes em lagos no Minnesota (USA), Cross e Jacobson [53] usaram modelos com variação espacial de variáveis de paisagem conhecidas por influenciar as concentrações de FT nos lagos, como a profundidade do lago, a área da bacia hidrográfica e o desenvolvimento agrícola e urbano por bacia. Os modelos utilizados explicaram até 60% da variação do FT nos lagos e evidenciaram que as intervenções antrópicas no uso e cobertura da terra são um ponto de referência crítico, que pode alterar, significativamente, os níveis de FT e consequentemente as populações de peixes. Para os gestores de recursos pesqueiros, esta informação é importante no direcionamento de esforços para a gestão da bacia visando a proteção destes recursos. [53]

No ano de 2015 Soranno et al. [54] publicaram um estudo sobre a influência da escala, da conectividade hidrológica e das características regionais para análise dos efeitos do uso e cobertura da terra na concentração de nutrientes em lagos. Estes três fatores do uso e cobertura da terra foram relacionados com a concentração de FT e nitrogênio total (NT) em um conjunto de lagos de Michigan (USA). Os pesquisadores concluíram que todos os três fatores influenciavam a relação entre o uso e cobertura da terra na bacia e os nutrientes nos lagos [54]. Tais fatores, escala espacial, conectividade e características regionais, estavam presentes na estrutura de limnologia da paisagem proposta por Soranno et al. em [17] conforme Figura 9.

A aplicação de métodos estatísticos diversos, ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto tem auxiliado no desenvolvimento dos estudos relacionando ecologia (ou limnologia) da paisagem com a qualidade da água em corpos hídricos diversos, como se observa nos trabalhos aqui referenciados.

2.3 REGRESSÃO GEOGRAFICAMENTE PONDERADA (GWR)

Os trabalhos apresentados na Seção 2.2 sobre ecologia e limnologia da paisagem usaram diversos modelos estatísticos para suas análises. A distribuição espacial dos pontos estudados (lagos, bacias) estava implícita na consideração das regiões e paisagens. E, apesar de se considerar a conectividade (corredores) entre os elementos de paisagem, estas conexões espaciais não foram explicitamente formuladas. Uma maneira de modelar as relações espaciais é por meio da regressão geograficamente ponderada (Geographic Weighting Differentiated - GWR).

Tu e Xia em [55] realizaram uma aplicação da GWR para examinar as relações entre o uso da terra e a qualidade da água em 15 bacia hidrográficas situadas no leste do estado de Massachusetts (USA). Os pesquisadores citaram diversos trabalhos que também estudaram essas relações, em outros sítios, mas sempre tendo como estatística primária o método dos mínimos quadrados ordinários (OLS). No OLS a reta de regressão de y sobre x é a reta que torna a soma dos quadrados das distâncias verticais dos pontos observados à reta (resíduos) a menor possível [56]. Nesses estudos, as variáveis de qualidade da água dos diversos pontos de amostragem são as variáveis dependentes e as características de uso da terra e da paisagem das áreas de drenagem dos pontos de amostragem são as variáveis independentes na regressão. Porém, Tu e Xia [55] ressaltam que para a aplicação do OLS dois pressupostos básicos devem ser respeitados: os resíduos do modelo não estão correlacionados entre si (sem autocorrelação) e têm variação constante (homocedasticidade) - o que geralmente não é verificado previamente, podendo comprometer a interpretação do modelo.

Segundo Tu e Xia [55] o pressuposto da autocorrelação pode ser fragilizado pela correlação espacial, ou seja, o valor de uma variável em um ponto de amostragem pode estar relacionado aos valores da mesma variável nos pontos próximos. Isso pode ocorrer em pontos situados na mesma bacia de contribuição influenciados pelas mesmas atividades humanas, pelo uso e cobertura da terra e aspectos pedológicos. Também podem ocorrer quando estão localizados num mesmo curso d'água, onde os pontos mais à jusante poderão conter características da água de pontos mais a montante. No entanto, em alguns desses estudos, como em Jarvie, Oguchi e Neal [57], Woli et al. [58], Xiau e Ji [59], essas condições não foram consideradas. [55]

Para Fotheringham, Brunson e Charlton [60] a não-estacionaridade espacial significa que as relações entre variáveis independentes e dependentes não são constantes

em relação ao espaço. Então, Tu e Xia explicam que em alguns desses estudos citados as relações entre uso e cobertura da terra e parâmetros de qualidade da água variam significativamente em relação ao espaço, porque as características das bacias hidrográficas e as fontes de poluição não são as mesmas nas diferentes regiões onde os estudos foram realizados. Por exemplo, em alguns pontos há forte relação positiva entre a classe de uso da terra agrícola e os parâmetros sódio (Na) e cálcio (Ca), mas em outros pontos, de outras bacias, esta relação é forte negativa. Tu e Xia ressaltam também que a regressão pelo OLS pode ocultar algumas relações locais. [55]

Por exemplo, em uma área de estudo que contenha diferentes tipos de bacias hidrográficas, incluindo algumas altamente urbanizadas e outras dominadas pela agricultura, várias fontes de poluição para algumas variáveis da qualidade da água podem causar efeito misto nas relações e, às vezes, não podem ser identificadas correlações significativas ([61]). Uma relação global para toda a área de estudo obtida pela OLS não é capaz de representar as diferentes relações sobre o espaço.

A técnica conhecida como GWR vem sendo desenvolvida para explorar as relações espacialmente variáveis e para explicar a autocorrelação espacial. Uma das obras mais citadas sobre esta técnica é a de Fotheringham, Brunson e Charlton [60]. A GWR tenta capturar variações espaciais ao permitir que os parâmetros do modelo de regressão mudem ao longo do espaço. A estimativa local dos parâmetros do modelo é obtida ponderando todas as observações vizinhas usando uma função de decaimento da distância, assumindo que as observações próximas têm maior influência no ponto de regressão do que as observações mais distantes. Além dos coeficientes de determinação globais (r^2) calculados para o modelo GWR, um conjunto de resultados de regressão local incluindo estimativas de parâmetros locais, os valores do teste t nas estimativas de parâmetros locais, os valores locais de (r^2) e os resíduos locais para cada ponto de regressão (ponto de amostragem) também são gerados. Assim, Tu e Xia concluem que o modelo GWR pode servir como uma ferramenta útil para explorar as relações espacialmente variáveis entre o uso da terra e a qualidade da água e que o trabalho destes pesquisadores foi o primeiro a usar esta técnica para estudar tais relações. [55]

Na regressão geograficamente ponderada as estatísticas locais são tratadas como desagregação das estatísticas globais. Enquanto a global trabalha com um valor único para toda uma região (geralmente o valor médio de um parâmetro), com resultados não mapeáveis, não espaciais ou espacialmente limitados, buscando por regularidades ou padrões, a estatística local trabalha com múltiplos valores mapeáveis espacialmente em seus pontos e buscando por exceções ou *hot-spots*. Deste modo, a GWR, como uma estatística local, é capaz de produzir um conjunto de estimativas de parâmetros locais que mostram como uma relação varia no espaço. Também permite examinar o padrão espacial

das estimativas locais para obter alguma compreensão das possíveis causas ocultas deste padrão. [60]

Na regressão pelo método dos mínimos quadrados ordinários, a reta de regressão é indicada como:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \varepsilon \quad (2)$$

Onde y é a variável dependente, β_0 é o intercepto, β_i é a estimativa do parâmetro (coeficiente) para a variável independente x_i , p é o número de variáveis independentes, ε é o termo do erro com distribuição $N(0, \pi^2)$. O modelo GWR permite que os parâmetros locais e não globais sejam estimados para a localização da amostra e o modelo acima pode ser reescrito como:

$$y_i = \beta_0(u_j, v_j) + \sum_{i=1}^p \beta_i(u_j, v_j) x_{ij} + \varepsilon_j \quad (3)$$

Onde u_j e v_j são as coordenadas para cada ponto j , $\beta_0(u_j, v_j)$ é o intercepto para a localização j , $\beta_i(u_j, v_j)$ é a estimativa do parâmetro local para a variável independente x_i na localização j [60]. A GWR permite que os coeficientes variem continuamente em relação à área de estudo e que seja estimado, para qualquer ponto na área, um conjunto de coeficientes. Para isso faz uma calibração ponderando todas as observações em torno de um ponto amostral usando uma função de decaimento da distância, assumindo que as observações mais próximas da localização do ponto de amostra têm maior impacto nas estimativas de parâmetros locais. A expressão da matriz para esta estimativa é:

$$\hat{\beta}_i = (X^T W_i X)^{-1} X^T W_i y \quad (4)$$

Onde X é a matriz das variáveis independentes com uma coluna de 1 para o intercepto; y é o vetor da variável dependente; $\hat{\beta}_i = (\beta_{i0}, \dots, \beta_{im})$ é o vetor de $m + 1$ coeficientes de regressão local; e W_i é a matriz diagonal de ponderação geográfica de cada dado observado para o ponto de regressão i .

A matriz de ponderação W_i é calculada com uma função de núcleo baseada no proximidades entre o ponto de regressão i e os N pontos de dados em torno dele. Uma série de funções de núcleo podem ser usadas para o esquema de ponderação, como, por exemplo, a Gaussiana, que em sua forma contínua usual pode ser definido como:

$$w_{ij} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(-\frac{d_{ij}^2}{b^2}\right)\right\} \quad (5)$$

Onde w_{ij} é o peso da observação j para a observação i , d_{ij}^2 é a distância entre as observações i e j , b é a largura da janela ou parâmetro de suavidade. Quando a distância é maior do que a largura da janela, o peso aproxima-se rapidamente de zero.

Tu e Xia [55] usaram em sua aplicação o núcleo com largura de janela adaptativa, porque a densidade da amostra varia em relação à área de estudo. A largura de janela ótima foi determinada minimizando o AIC, conforme descrito em Fortheringham, Brunson e Charlton em [60].

Como indicadores da qualidade da água foram utilizados os parâmetros: Ca, magnésio (Mg), Na, cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{-2}), amônio (NH_4^+), nitrito (NO_2^-), nitrogênio kjeldahl (KN), nitrato mais nitrito ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^-$), fósforo (P), PO_4^{-3} , sólidos dissolvidos (SD) e condutividade específica (SC). Como variáveis preditoras de uso da terra e paisagem foram utilizadas, em valores percentuais da bacia de contribuição, as classes agrícola, floresta, áreas abertas não desenvolvidas, comercial, industrial, transporte e mineração, recreativo, residencial, área desenvolvida, densidade populacional. Para mais detalhes sobre a metodologia consultar [55].

Os pesquisadores encontraram valores baixos para o coeficiente de determinação (r^2) no método OLS para a relação entre as características de uso e cobertura da terra e os parâmetros de qualidade da água. Em contrapartida, para o método GWR foram encontrados valores significativos, o que levou ao entendimento de que os modelos GWR fazem previsões consideravelmente melhores da qualidade da água do que os modelos OLS correspondentes [55]. Porém, ainda era necessário que se fizesse a verificação pelos valores de AIC e o teste F. Ao realizar tais análises, Tu e Xia confirmaram que os resultados do método GWR foram melhores.

Ao checarem o pressuposto da não autocorrelação dos resíduos, os pesquisadores encontraram autocorrelações positivas nos resíduos de alguns parâmetros pelo OLS, enquanto na GWR não foram encontradas na maioria dos parâmetros. Isto indica que os modelos OLS não foram adequados para identificar os relacionamentos entre o uso da terra e os indicadores de qualidade da água, enquanto os modelos GWR melhoraram a confiabilidade dos relacionamentos, reduzindo a autocorrelação espacial entre os resíduos. [55]

Deste modo, Tu e Xia concluem que seu estudo demonstrou que as relações de uso da terra e qualidade da água não são constantes em relação ao espaço, e a técnica GWR fornece uma ferramenta simples, mas poderosa, para explorar os relacionamentos espacialmente variáveis tornando-se útil para a pesquisa e o gerenciamento ambiental em bacias hidrográficas nas escalas regionais, nacionais e até globais. [55]

Em 2011 Tu [11] publicou novo trabalho aplicando a mesma técnica na mesma região, porém com um número menor de classes de uso da terra, reforçando suas conclusões

em [55].

Zhang [62], partindo da preocupação de que, geralmente, o efeito de decaimento da distância sobre o fluxo desempenha um papel importante na retenção de nutrientes de fontes difusas para águas superficiais, desenvolveu um estudo na bacia superior do rio *Chattahoochee*, no estado da Geórgia (USA). O pesquisador ressalta que esse efeito foi negligenciado de forma inadequada em muitos estudos que adotaram o método de modelagem de regressão para quantificar a relação entre a paisagem da bacia hidrográfica e o nível de carga de nutrientes nos cursos d'água. Em seu estudo, Zhang não utilizou o método GWR, mas um outro modelo espacialmente explícito chamado *Integrated Grid's Exporting and Delivery* (IGED). O modelo IGED é uma estrutura de abordagem espacial distribuída simples, projetada especificamente para simular a carga média anual de nutrientes na escala da bacia hidrográfica, usando diversos conjuntos de dados espaciais como entrada. Zhang conclui seu trabalho ressaltando que modelos simples tendem a degradar detalhes espaciais e prejudicar a precisão, enquanto os modelos espacialmente explícitos são mais precisos, porém exigem mais dados de entrada e capacidade de computação. Assim, classificar geograficamente a área de estudo pode ajudar a esclarecer o desenvolvimento de modelos de regressão simples que também são precisos o suficiente [62]. Ou seja, paralelamente ao trabalho de Tu et al. [61], Tu e Xia [55] e Tu [11], Zhang demonstra a importância de se considerar as relações espaciais no estudo da bacia hidrográfica.

Em 2011, Brown et al. [63] realizaram um estudo para examinar a relação entre o uso e cobertura da terra, pluviometria e a água superficial em 149 sub bacias hidrográficas em uma região predominantemente agrícola que cobre 2,6 milhões de hectares no sudeste da Austrália. Os pesquisadores também argumentam, assim como nos trabalhos anteriormente citados [61, 55, 11], que a técnica GWR pode melhorar significativamente o desempenho do modelo de regressão se comparado ao OLS, tendo o potencial de melhorar a fidelidade das relações identificadas, reduzindo as autocorrelações espaciais e considerando as variações locais e a não estacionaridade espacial entre as variáveis.

Huang et al. [64] publicaram em 2015 um estudo aplicando a regressão geograficamente ponderada para verificar se as relações entre o uso e cobertura da terra e a poluição da água variam espacialmente em uma bacia hidrográfica subtropical do sudeste da China. Os pesquisadores concluíram, com o uso da GWR, que a classe floresta teve uma associação negativa com a maioria dos poluentes no espaço como um todo. Porém, esta classe apresentou associação negativa mais forte com alguns parâmetros como NH_4^+ , Cl^- e K^+ nas sub-bacias hidrográficas urbanas, e, para outros parâmetros, como NO_3^- , nas sub bacias agrícolas, sugerindo que a cobertura por florestas ajuda a diminuir os efeitos na água da aplicação de fertilizantes nas culturas.

An et al. [65] realizaram um estudo na bacia do rio Nakdong, localizado ao sudeste da Coreia do Sul. Compararam o desempenho dos modelos estatísticos OLS e

GWR aplicados às comunidades de diatomáceas, macroinvertebrados e peixes em áreas de gerenciamento de sub bacias hidrográficas. O modelo GWR, além de apresentar melhores coeficientes de determinação (r^2), revelaram efeitos locais específicos do uso e cobertura da terra sobre indicadores biológicos. Segundo os pesquisadores, conforme as conclusões de seus estudos, os modelos OLS podem fornecer um meio efetivo de avaliar tendências gerais em regiões maiores, além serem mais práticos para a criação de políticas ambientais, enquanto o método GWR pode ser mais útil para efetivamente aplicar essas políticas em cursos d'água ou bacias específicas, priorizando áreas de gerenciamento de sub bacias hidrográficas. [65]

Numa pesquisa sobre o impacto do uso e cobertura da terra e da densidade populacional na qualidade das águas superficiais na bacia hidrográfica do rio Wen-Rui Tang, no leste da China, Chen et al. [66] aplicaram e compararam os resultados dos modelos OLS e GWR. Dentre as conclusões do estudo está a constatação de que o impacto do uso da terra na qualidade da água variou com as escalas espaciais e sazonais, com efeitos positivos para certos indicadores de uso da terra em determinadas bacias, e negativos para os mesmos indicadores em outras sub bacias diferentes. E ainda, na pesquisa os modelos GWR demonstraram uma melhor precisão de predição.

Os trabalhos aqui apresentados demonstram a aplicabilidade e a eficácia dos modelos de regressão geograficamente ponderada nos estudos da relação entre o uso e cobertura da terra, características da paisagem e a qualidade de água em bacias e sub bacias hidrográficas.

3 USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DE CONTRIBUIÇÃO DA REPRESA DE CHAPÉU D’UVAS

3.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o estudo do atual uso da terra na BCRCO foi utilizada uma imagem do satélite *Sentinel* disponibilizada pela *European Space Agency*, com data de aquisição 3 de julho de 2016, com resolução de 10 m. O *software* utilizado para o tratamento ds imagens e geoprocessamento foi o ArcGIS versão 10.2.1. A cena foi referenciada no sistema de coordenadas UTM, *datum* SIRGAS2000, zona 23S.

Foi realizada a composição com as bandas 2, 3, 4 e 8, com a ferramenta *Image Analysis* do ArcGIS. O índice de vegetação utilizado foi o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), calculado com a ferramenta *Arctoolbox raster calculator*, também do ArcGIS. Não foi necessária correção atmosférica e o NDVI permitiu a diferenciação clara de classes não sendo necessária a correção topográfica.

A rede hidrográfica foi definida a partir da carta de hidrografia vetorial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:50.000.

Na sequência foi realizada a classificação supervisionada manual com uso da ferramenta *Arctoolbox Maximum Likelihood Classification* do ArcGIS, tendo como apoio o NDVI, imagens do *Google Earth*, do *Bing Maps* (Microsoft) e *World Imagery* (ESRI), bem como dos trabalhos de Machado [19] e Ribeiro [21], e ainda com as observações em campo durante a campanha de reconhecimento e as quatro campanhas de coletas. Para facilitar a comparação temporal do período 2010-2016 das classes de uso e cobertura da terra foram utilizadas as mesmas classes que Ribeiro utilizou em [21], com exceção da classe denominada por aquele pesquisador como reflorestamento, que é uma unidade da subclasse silvicultura conforme Manual de Uso da Terra do IBGE. Outra unidade dessa subclasse é o cultivo agroflorestal, nomenclatura esta utilizada para tratar os cultivos: [67]

que são uma forma de uso da terra na qual se combinam espécies arbóreas lenhosas (frutíferas e/ou madeiras) com cultivos agrícolas e/ou animais, de forma simultânea ou em sequência temporal e que interagem econômica e ecologicamente em uma mesma unidade de terra.

Nas campanhas realizadas em 2016 e 2017 foram observadas em algumas áreas o pastoreio de gado bovino entre as florestas de eucalipto. Porém, pelas dimensões da bacia, há dificuldade de se verificar em quais áreas de plantios homogêneos há combinação com cultivos agrícolas ou animais, ou seja, há dificuldade para se diferenciar as unidades reflorestamento e cultivo agroflorestal. Por este motivo, decidiu-se adotar nesta pesquisa o nome da subclasse silvicultura para essas áreas, pois, deste modo, são contempladas as

duas unidades. As classes ficaram definidas como: área urbanizada, áreas úmidas, cultura agrícola, mata, pasto sujo, pastagem, represa, silvicultura, solo exposto.

Para definição das sub bacias de contribuição de cada ponto de amostragem foi utilizada a ferramenta *Hydrology* do ArcGIS sobre imagem do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

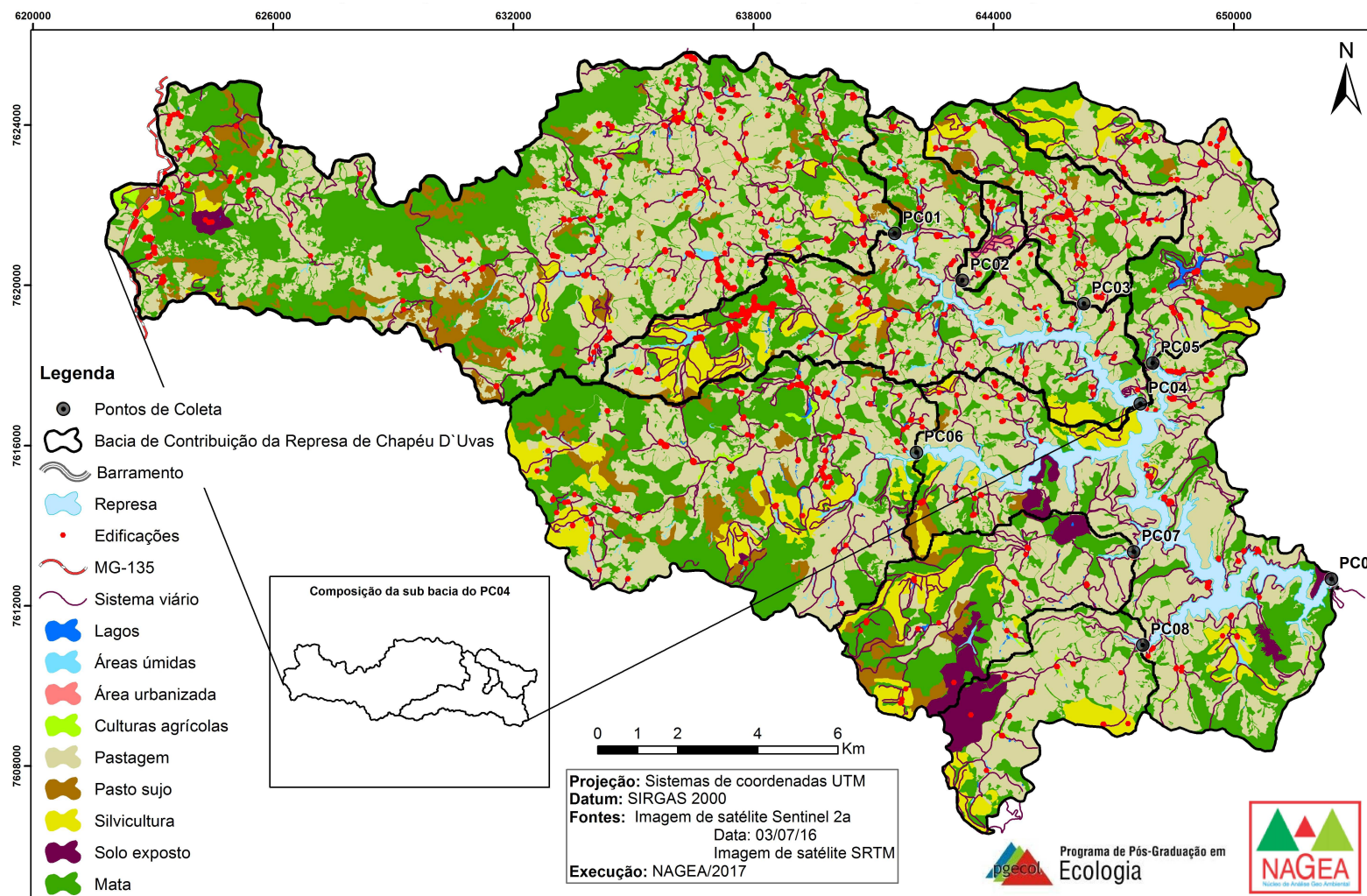
O mapeamento das áreas de preservação permanente (APP) foi realizado em conformidade com a Lei nº12.651, de 25 de maio de 2012 (Lei nº12.651/2012), com uso do *software* ArcGIS. Para a delimitação da faixa marginal ao longo dos cursos d'água foi utilizada a ferramenta *Buffer*. Para delimitação das APP de nascentes foi utilizada a ferramenta *Feature Vertice To Point*, a partir da rede hidrográfica, para localizar as nascentes. A seguir, foi utilizada novamente a ferramenta *Buffer* para delimitar a APP no entorno. A faixa de preservação no entorno do reservatório, de acordo com o Lei nº12.651/2012, foi definida entre as cotas 741 m e 745 m. Na delimitação foi utilizada a imagem do SRTM para, com a ferramenta *Contour* do ArcGIS, se gerar as curvas de nível a cada 1 m. Geradas as curvas, foram preservadas apenas as referentes às cotas 741 m e 745 m sendo descartadas as demais. Esta faixa de 4 m em altitude é muito estreita ao se considerar a resolução da imagem SRTM e do método. Por isso foram necessários ajustes e uma verificação manual em toda a faixa. A delimitação da APP de declividade foi realizada também a partir da imagem SRTM, desta vez com a ferramenta *Slope* do ArcGIS. Para gerar a APP de topo de morro, a partir da imagem SRTM, foi aplicada a ferramenta TopoMAPP 1.0, criada pelo Departamento de Solos da UFV [68].

A classificação da imagem do ano 2016 foi comparada com a realizada por Ribeiro em [21] a partir de uma imagem de 2010 do sistema de satélites alemão *RapidEye* (resolução de 5 m) a fim de se detectar alterações no uso e cobertura do solo na BCRC. A comparação foi executada com o Sistema de Análise Geo-Ambiental desenvolvido pelo Laboratório de Geoprocessamento, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (SAGA/UFRJ). Foi utilizada a função Monitoria do SAGA/UFRJ, para execução da Monitoria Simples, a qual verifica as alterações gerais nas áreas classificadas. Também foram executadas as monitorias "Deixou de ser" e "Tornou-se", as quais verificam as alterações entre as classes. O SAGA/UFRJ gerou como resultado as estatísticas e os mapas com as alterações das classes, os quais foram então retrabalhados no ArcGIS para confecção do mapa de mudanças da bacia.

3.2 CARACTERIZAÇÃO GERAL DO USO E COBERTURA DA TERRA NA BCRC

As classes de uso e cobertura da terra adotadas nesta pesquisa serão apresentadas a seguir, conforme Figura 12. O mapa de uso apresenta também a delimitação das sub bacias, as quais serão abordadas na Seção 3.3.

Figura 12 – Uso e cobertura da terra na BCRC



Conforme já apresentado na Seção 1.6, a BCRCO está situada nos municípios de Antônio Carlos, Ewbank da Câmara e Santos Dumont. A região da bacia possui características predominantemente rurais, com baixa densidade populacional.

A área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na área total da BCRCO são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais classes de uso e cobertura da terra na BCRCO - área absoluta e percentual

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	312,888	100,00
Pastagem	159,142	50,86
Mata	97,053	31,02
Silvicultura	21,176	6,77
Pasto sujo	15,988	5,11
Represa	9,097	2,91
Solo exposto	5,057	1,62
Cultura agrícola	2,430	0,78
Áreas úmidas	2,013	0,64
Lagos	0,668	0,08
Área urbanizada	0,264	0,08

3.2.1 Pastagem

Nesta classe estão as formas de vegetação características dos pastos utilizados na atividade agropecuária extensiva, a qual necessita de grandes áreas para alimentação do gado. Geralmente ocupada por gramíneas de espécies exóticas, mais resistentes. As áreas de pastagem ocupam atualmente a maior parte da BCRCO, 50,86% da bacia, distribuídas por toda a região.

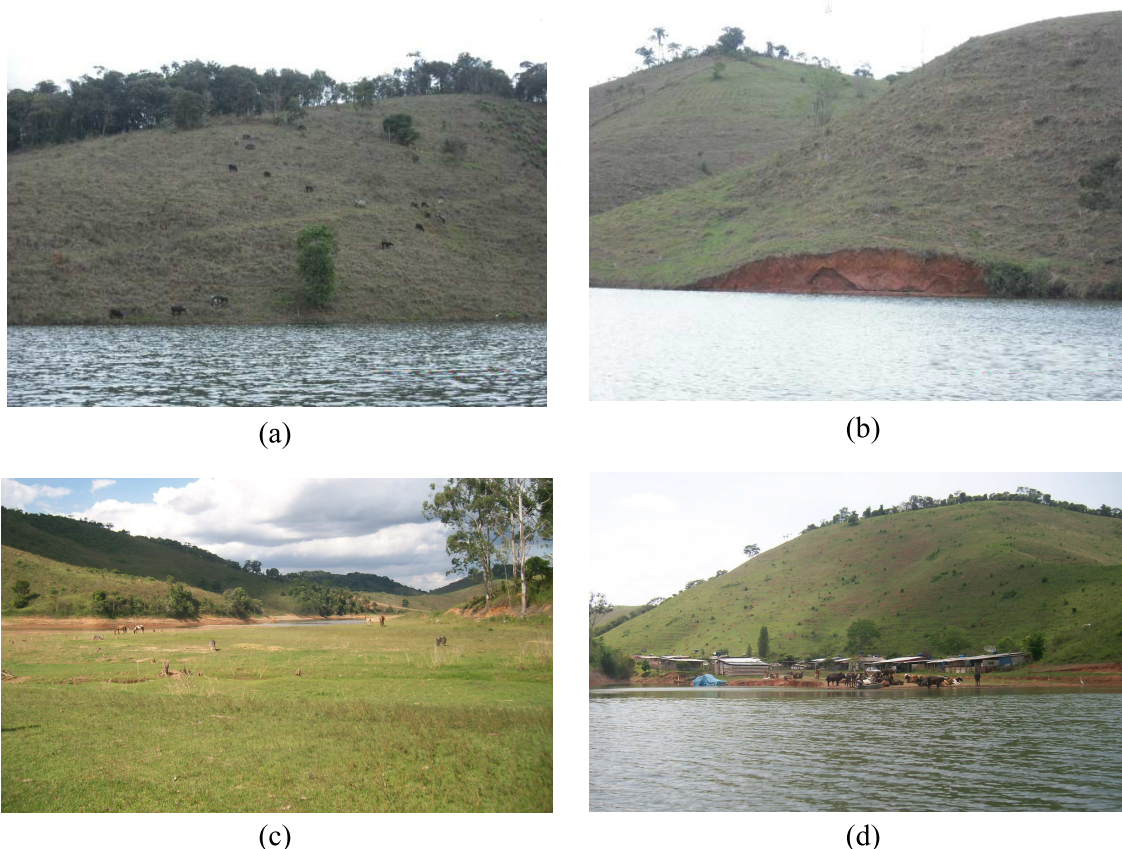
Geralmente, o impacto deste tipo de uso e cobertura da terra na qualidade da água está relacionado com o carreamento de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, provenientes dos fertilizantes utilizados para enriquecimento do pasto. E ainda, nas margens do lago, ocupando a faixa ciliar, facilita os processos erosivos causados pelo solapar da água nas encostas e pelo deplecionamento do reservatório.

A Figura 13 ilustra algumas áreas de pastagem na BCRCO, com exemplo de um ponto de erosão em encosta e o gado pastando em área de depleciamento do reservatório.

3.2.2 Mata

A cobertura vegetal original da BCRCO é de Floresta Tropical Semidecidual e Floresta Ombrófila Mista, características do bioma Mata Atlântica. Todavia, a ocupação de região levou à supressão das florestas nativas para a implantação de monoculturas e pastagens, como ocorreu, de um modo geral, com a Zona da Mata mineira. [19] [21]

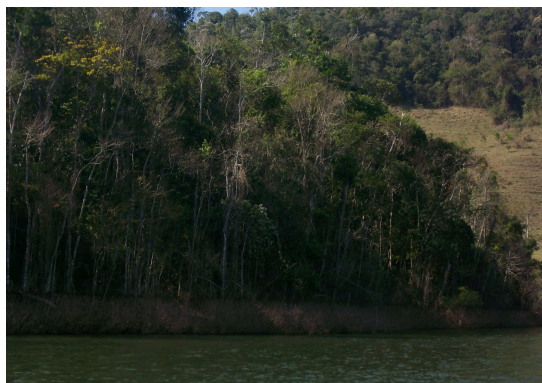
Figura 13 – Áreas de pastagem na BCRCO: (a) gado pastando na encosta, (b) ponto de erosão na margem coberta por pastagem, (c) gado pastando em área de depleciamento do reservatório, (d) área de pasto na encosta e gado próximo ao espelho d'água



Na BCRCO restam apenas 31,02% de matas nativas nas pequenas formações florestais remanescentes, em diferentes estágios de sucessão. [19] Com a inundação do lago, parte da mata ciliar dos cursos d'água ficou submersa. A vegetação que atualmente se encontra nas margens do lago, apesar de sua localização, não necessariamente possui características de vegetação ripária. Isto porque não são formadas por espécies próprias de margens e áreas alagáveis, mas sim de terrenos firmes que, pela inundação, estão agora nesta condição. Como explica Soares em [69], geralmente, a mata ciliar criada artificialmente pela inundação de um reservatório não carrega as mesmas características edáficas daquelas naturais. Além disso, a dinâmica do corpo hídrico e suas influências neste meio biótico também são diferentes, pois, enquanto as cheias de um rio depositam nutrientes na forma de sedimentos, matéria orgânica e também sementes que renovam a vegetação, nos reservatórios artificiais a contração do nível da água causa processos erosivos com carreamento de solo e matéria orgânica, empobrecendo suas margens as quais, como num ciclo, se tornarão ainda mais suscetíveis à erosão. [69, 70]

Na Figura 14 é possível verificar o efeito dos processos de inundação e erosão, mesmo com a presença de mata, uma vez que esta, por não ter características de vegetação ripária, não consegue cumprir o papel de proteger as margens do reservatório.

Figura 14 – Áreas de mata na BCRC: (a) mata próximo ao espelho d'água, (b) vista de mata em encosta e topo de morro, (c) processo erosivo nas margens do reservatório comprometendo a estabilidade dos indivíduos arbóreos, (d) processo erosivo na encosta coberta por mata



(a)



(b)



(c)



(d)

3.2.3 Silvicultura

A silvicultura é a terceira classe em maior ocupação na bacia cobrindo 6,77% da área total. Nas campanhas foi observada em quase toda extensão do lago. A cultura predominante é de eucalipto e, em alguns trechos, foi observado o uso da área em consórcio com pastagens e pinus.

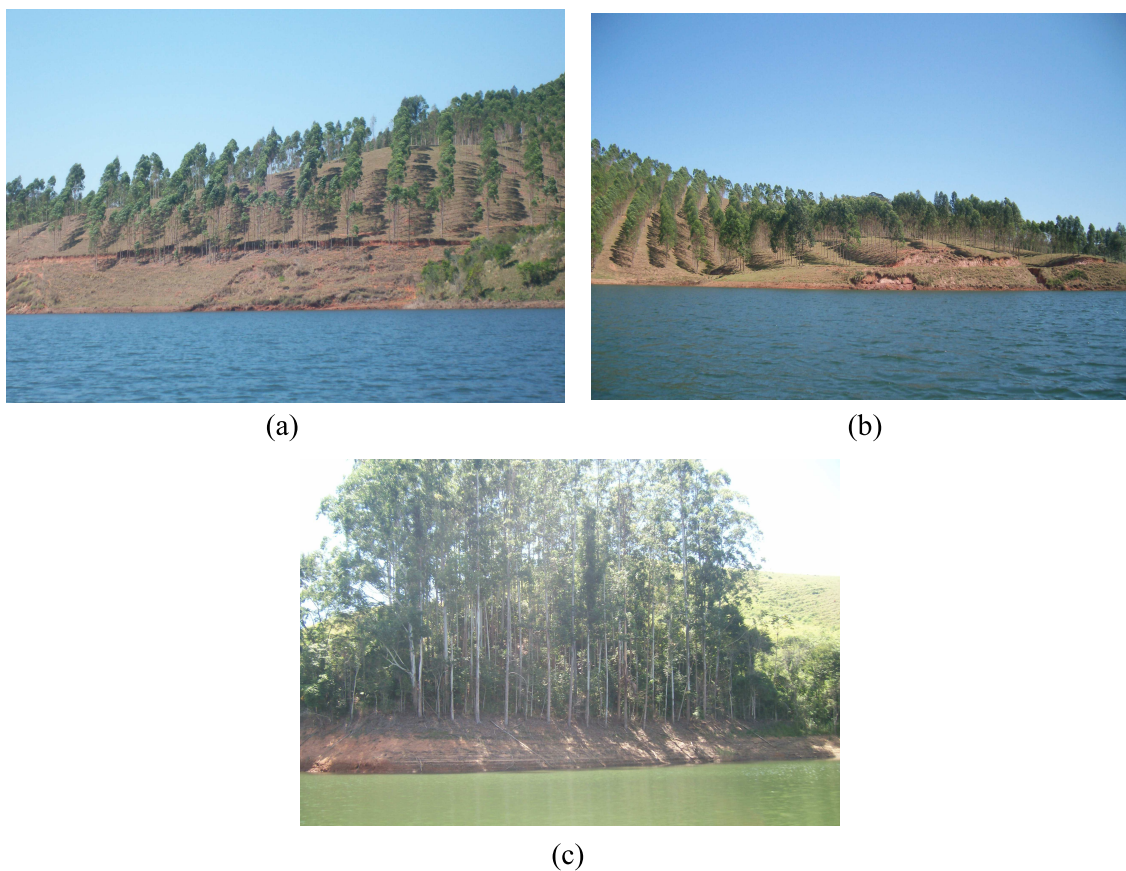
Na região, conforme explicado por Machado em [19], o incentivo dado pelas empresas privadas, principalmente as siderúrgicas situadas em Juiz de Fora e Santos Dumont, impulsionou o desenvolvimento desta atividade econômica em substituição à pecuária.

A Figura 15 ilustra o plantio de eucalipto na BCRC, com processos erosivos nas margens do reservatório.

3.2.4 Pasto sujo

A classe de pasto sujo corresponde a áreas com cobertura vegetal de espécies herbáceas e arbustivas, indicando um processo de regeneração iniciado provavelmente pelo

Figura 15 – Áreas de silvicultura na BCRC: (a) plantio de eucalipto em encosta, (b) plantio de eucalipto e erosão nas margens do lago, (c) eucalipto próximo ao espelho d'água



abandono da área de pastagem. [21]

Cobre 5,11% da área da BCRC, somando aproximadamente 16 km². Na Figura 16 se observa esse tipo de cobertura em pontos na margem do lago, com processos erosivos atuantes.

3.2.5 Represa

A classe represa foi definida como o espelho d'água do reservatório delimitado na imagem de classificação. Variações no nível do lago implicarão em variações também nesta área. Nesta análise foi medida como pouco mais de 9 km², o que representa 2,91% da área total da BCRC.

3.2.6 Solo exposto

As áreas sem cobertura vegetal ou edificação e que não estão inundadas foram identificadas como a classe de solo exposto. Estas áreas podem ser criadas por intervenções humanas como a preparação da terra para plantio e movimentação de terra para implantação de infraestrutura ou edificações. Desse modo, podem, com o passar do tempo, se transformar em classes de cultura agrícola, pastagem, silvicultura, área urbanizada. Ou

Figura 16 – Áreas de pasto sujo na BCRC: (a) pasto sujo com processo erosivo em encosta, (b) pasto sujo próximo a uma área de lazer, (c) pasto sujo e erosão por depleciamento do reservatório



(a)



(b)



(c)

ainda, como pior situação, evoluir para processos erosivos. Mesmo sendo uma condição transitória do terreno, definiu-se nesta pesquisa solo exposto como uma classe de uso e cobertura por sua representatividade em algumas sub bacias.

A Figura 17 ilustra uma área de solo exposto, preparado para plantio.

Figura 17 – Área de solo exposto na BCRC: (a) terreno preparado para atividade agrícola (b) encosta íngreme preparada para plantio, com alta suscetibilidade à erosão



(a)



(b)

3.2.7 Cultura agrícola

A classe cultura agrícola é, relativamente as outras atividades de pastagem e silvicultura, muito pequena. Cobre uma área de 2,43 km² correspondendo a 0,78% da área total. Como verificado por Ribeiro em [21], na BCRCO as culturas agrícolas são desenvolvidas em pequenas propriedades rurais, geralmente visando a subsistência ou ainda para alimentação do gado.

Verifica-se também a produção de hortifrutigranjeiros destinados a abastecer os núcleos urbanos mais próximos. Os pequenos cultivos agrícolas aparecem no entorno dessas propriedades, incluindo produtos como o arroz, o feijão, o milho, a cana-de-açúcar, a mandioca, os hortifrutigranjeiros, etc. [21]

A Figura 18 mostra uma área com plantio de capim para o gado, e outra com pequeno pomar nos fundos de uma casa.

Figura 18 – Área de cultura agrícola na BCRCO: (a) cultura de capim para o gado (b) pomar com bananeiras e outras culturas



3.2.8 Áreas úmidas

São classificadas como áreas úmidas as regiões de várzea do rio Paraíba, áreas de depleciamento do reservatório, bem como as várzeas dos tributários da represa. Alguns pontos específicos, afastados da represa, também podem ser observados. Neste caso se referem a áreas no entorno de nascente, geralmente represadas, açudes e outros pequenos corpos d'água. Somam praticamente 2 km² representando 0,64% da área total da BCRCO.

A Figura 19 ilustra esta classe na proximidade da foz do ribeirão São Bento e foz do ribeirão Lambari. A variação no nível do reservatório impõe condições diversas à vegetação dessas áreas, pois, ora estão inundadas, ora não, promovendo uma dinâmica de crescimento e degradação desta fitomassa.

Figura 19 – Áreas úmidas na BCRCO: braço do reservatório no ribeirão São Bento (a) e ribeirão Lambari (b)



3.2.9 Lagos

A classe de lagos é formada por pequenos açudes formados nas propriedades rurais, ocupando 0,21% da área total da bacia. Segundo Ribeiro em [21], esses corpos d'água são utilizados, geralmente, para irrigação das culturas agrícolas e dessedentação de animais. Como na região não há rede de abastecimento, essas águas também são utilizadas para outros usos menos nobres.

3.2.10 Área urbanizada

Na classe área urbanizada estão as aglomerações de edificações e infraestrutura encontrados na BCRCO. É a menor classe de uso, com apenas 0,26 km² que representam menos de 0,1% da área total.

A região tem por característica baixa densidade populacional, conforme levantamento feito por Machado em [19]. A única área contínua expressiva, como citado por Ribeiro em [21], é o distrito de Nova Dores do Paraibuna. No trabalho de Machado há um levantamento pormenorizado das ocupações residenciais, classificadas como vila (Nova Dores do Paraibuna), um povoado e oito vilarejos. Para mais detalhes consultar em [19].

Machado explica que a ocupação humana na BCRCO "pode ser resumida a três modalidades: ocupação rural esparsa, ocupação ocasional e os aglomerados rurais isolados." As moradias esparsas são tipicamente rurais, geralmente se referem às sedes de fazendas e sítios e moradias de empregados destas. A ocupação ocasional se refere a casas de veraneio, tendo sido observado a expansão deste tipo de propriedade nas margens da represa, principalmente as com alto padrão de construção. [19]

Entretanto, a modalidade de ocupação que mais concentra a população da bacia, é a categoria definida pelo IBGE como Aglomerados Rurais Isolados, reconhecidos como localidades situadas em área

rural, com maior densidade de ocupação. Na bacia, esse tipo de ocupação ocorre nos municípios de Antônio Carlos e Santos Dumont, sendo ausente na área rural de Ewbank da Câmara. [19]

As edificações isoladas não foram computadas nesta classe, contudo aparecem no mapa de uso identificadas separadamente.

Na Figura 20 estão ilustrados casos de ocupação rural esparsa, ocupação ocasional e aglomerados rurais isolados.

Figura 20 – Áreas urbanas na BCRCO: (a) ocupação rural esparsa, (b) (c) (d) ocupações ocasionais de alto padrão, (e) ocupação ocasional de baixo padrão, (f) pequeno aglomerado rural



(a)



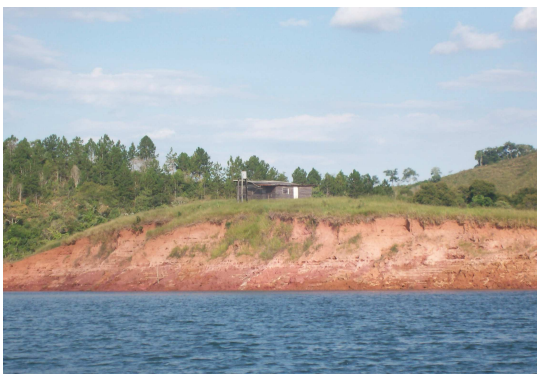
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA POR SUB BACIA DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Foram definidos 9 pontos de amostragem na BCRC D e o procedimento para a definição destes será detalhada no Capítulo 4. Para cada ponto de amostragem foi gerada a respectiva sub bacia de contribuição e foram calculados os índices das classes de uso e cobertura da terra. A Figura 12, apresentada na Seção 3.2, ilustra a composição e distribuição das classes de uso e cobertura da terra na BCRC D com delimitação das sub bacias.

3.3.1 Sub bacia do ponto de amostragem PC01

O ponto PC01 está localizado no rio Paraibuna, num trecho de transição entre os ambientes lótico e lêntico, ou seja, onde o rio encontra o lago da represa. Sua sub bacia possui área aproximada de 97,32 km², o que corresponde a 31,10% da área total da BCRC D. A área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC01 - exutório do rio Paraibuna

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	97,32	100,00
Pastagem	49,157	50,21
Mata	36,572	37,58
Pasto sujo	7,408	7,61
Silvicultura	1,833	1,88
Cultura agrícola	1,095	1,13
Áreas úmidas	0,626	0,64
Solo exposto	0,466	0,48
Lagos	0,137	0,14
Represa	0,030	0,03

Semelhante ao mapa de uso geral da BCRC D a classe pastagem cobre metade da sub bacia do PC01, seguida pela classe de mata a qual é proporcionalmente maior que o observado em toda bacia. Esta é uma região com maiores declividades e altitudes, onde se localiza a nascente do rio Paraibuna. Não foi registrada a classe área urbana, embora estejam locadas algumas edificações isoladas.

3.3.2 Sub bacia do ponto de amostragem PC02

O ponto PC02 está localizado no foz do córrego Zíper, tributário da margem esquerda da represa. A sub bacia possui área aproximada de 2,40 km², o que corresponde a 0,77% da área total da BCRC D. Na Tabela 5 são apresentados os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Tabela 5 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC02 - foz do córrego Zíper

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	2,399	100,00
Pastagem	1,530	63,78
Mata	0,498	20,77
Área urbanizada	0,264	11,01
Áreas úmidas	0,044	1,85
Cultura agrícola	0,024	1,01
Pasto sujo	0,023	0,97
Lagos	0,015	0,62

Nesta sub bacia está situada a vila do distrito de Nova Dores do Paraibuna, única área urbanizada classificada na BCRCO e que representa 11% da área da sub bacia. A pequena área agrícola, em apenas 1% da sub bacia, reforça as características urbanas da mesma. Nesta sub bacia não foram classificadas áreas de silvicultura e solo exposto.

3.3.3 Sub bacia do ponto de amostragem PC03

O ponto de amostragem PC03 está na foz do córrego Samambaia, tributário da margem esquerda da represa. A sub bacia possui área de 14,11 km² e representa 4,51% da área total da BCRCO. Na Tabela 6 são apresentados os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Tabela 6 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC03 - foz do córrego Samambaia

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	14,112	100,00
Pastagem	9,118	64,61
Mata	3,533	25,03
Silvicultura	0,719	5,10
Pasto sujo	0,483	3,42
Cultura agrícola	0,145	1,03
Áreas úmidas	0,072	0,51
Represa	0,024	0,17
Lagos	0,018	0,13

A sub bacia do córrego Samambaia possui uma ocupação por pastagens proporcionalmente superior à da BCRCO, e somada com a silvicultura cobrem 70% da sub bacia. Não foi classificada área de solo exposto.

3.3.4 Sub bacia do ponto de amostragem PC04

O ponto de amostragem PC04 está localizado no meio do lago da represa. Sua sub bacia é composta pelas sub bacias dos pontos PC01, PC02 e PC03, visto que toda a água

drenada destes pontos passará pelo ponto PC04. Soma-se a estas sub bacias uma área de 40,930 km² no médio curso da represa, que será identificada nas análises como PC04*, formando assim os 154,765 km² da sub bacia do ponto PC04. Na Tabela 7 são apresentados os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Tabela 7 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC04 - Represa - médio curso

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	154,765	100,00
Pastagem	82,383	53,23
Mata	50,627	32,71
Pasto sujo	9,195	5,94
Silvicultura	6,684	4,32
Represa	1,9974	1,29
Cultura agrícola	1,626	1,05
Áreas úmidas	1,259	0,81
Solo exposto	0,466	0,30
Lagos	0,265	0,17
Área urbanizada	0,264	0,171

Pode ser observado na Tabela 7 que as características desta sub bacia carregam as informações das de montante, com o aumento da classe represa, a qual considera todo o espelho d'água até este ponto.

No recorte PC04*, porém, destaca-se a classe de silvicultura. Dos 6,684 km² de área da sub bacia PC04, 4,132 km² estão neste recorte.

3.3.5 Sub bacia do ponto de amostragem PC05

O ponto de amostragem PC05 está localizado na foz do rio Taquaruçu, tributário da margem esquerda da represa. Possui 20,984 km² de área, que correspondem a 6,71% da BCRCO.

Na Tabela 8 são apresentados os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Como na classificação geral da BCRCO a pastagem é a classe que cobre a maior parte desta sub bacia. Não foi classificada área urbanizada, embora se localizem nesta área algumas edificações isoladas. Também não foi registrada a ocorrência de solo exposto.

3.3.6 Sub bacia do ponto de amostragem PC06

O ponto de amostragem PC06 está situado na foz do ribeirão São Bento, tributário da margem direita da represa, o qual forma o maior braço do lago. É o ponto de amostragem

Tabela 8 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC05 - foz do rio Taquaruçu

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	20,984	100,00
Pastagem	11,474	54,68
Mata	5,6417	26,88
Silvicultura	2,305	10,98
Pasto sujo	1,055	5,03
Lagos	0,212	1,01
Cultura agrícola	0,192	0,91
Represa	0,063	0,30
Áreas úmidas	0,043	0,21

mais afastado do antigo leito do rio Paraibuna. A sub bacia do ribeirão São Bento possui área de 50,894 km² correspondentes a 16,27% do total da BCRCO.

A Tabela 9 apresenta os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Tabela 9 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC06 - foz do ribeirão São Bento

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	50,894	100,00
Pastagem	22,224	43,67
Mata	19,395	38,11
Silvicultura	4,471	9,32
Pasto sujo	3,290	6,46
Áreas úmidas	0,538	1,06
Cultura agrícola	0,333	0,65
Lagos	0,184	0,36
Represa	0,144	0,28
Solo exposto	0,044	0,09

Diferentemente do que acontece na área total da BCRCO, a classe pastagem representa menos da metade da área da sub bacia, embora ainda seja a maior cobertura. É possível observar que o percentual da classe mata se aproxima da pastagem, seguida pela silvicultura. Não foi registrada área urbanizada na sub bacia do ribeirão São Bento.

3.3.7 Sub bacia do ponto de amostragem PC07

O ponto de amostragem PC07 está localizado na foz do córrego Goiabeira, tributário da margem direita da represa. A sub bacia possui 21,324 km² que correspondem a 6,82% da área total da BCRCO. A Tabela 10 apresenta os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Tabela 10 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC07 - foz do córrego Goiabeira

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	21,324	100,00
Pastagem	7,562	35,46
Mata	7,331	34,38
Silvicultura	2,697	12,65
Pasto sujo	1,751	8,21
Solo exposto	1,738	8,15
Áreas úmidas	0,082	0,38
Lagos	0,065	0,31
Represa	0,059	0,28
Cultura agrícola	0,038	0,18

Esta sub bacia apresentou a menor área percentual na classe pastagem de toda a BCRC. Além disso, a classe mata está praticamente com a mesma proporção. Outro ponto de destaque é a silvicultura muito superior à classe cultura agrícola.

3.3.8 Sub bacia do ponto de amostragem PC08

O ponto de amostragem PC08 está localizado na foz do ribeirão Lambari, tributário da margem direita da represa. A sub bacia possui 15,661 km² que correspondem a 5,01% da área total da BCRC. A Tabela 11 apresenta os números da área ocupada por classe e o percentual que cada uma representa na sub bacia.

Tabela 11 – Principais classes de uso e cobertura da terra na sub bacia do PC08 - foz do ribeirão Lambari

Classe	Área (km ²)	Área (%)
TOTAL	15,661	100,00
Pastagem	9,410	60,08
Mata	2,446	15,62
Silvicultura	1,901	12,14
Solo exposto	1,712	10,93
Áreas úmidas	0,013	0,08
Lagos	0,019	0,12
Represa	0,050	0,32
Cultura agrícola	0,110	0,70

Esta sub bacia apresentou uma proporção da área classe pastagem maior que média da BCRC. Além disso, a classe mata está pouco maior que a classe silvicultura, a qual é muito superior à classe cultura agrícola. O percentual elevado da classe solo exposto está relacionado a uma grande área a qual foi provavelmente preparada para uso agrícola ou silvicultura. Nas imagens de satélite é possível perceber as marcas alinhadas no solo, características de preparo mecanizado.

3.3.9 Sub bacia do ponto de amostragem PC09

O ponto de amostragem PC09 está localizado na captação da represa, logo, sua sub bacia é na verdade toda a BCRC D, conforme estatísticas já apresentadas de uso e cobertura da terra na Tabela 3. Além das sub bacias PC01 a PC08, há um recorte de 49,260 km² o qual será identificado nas análises como PC09*.

3.3.10 Análises preliminares das características do uso e cobertura da terra na BCRC D

A sub bacia do ponto de amostragem PC04 - médio curso, a qual contempla também as sub bacias dos pontos PC01, PC02 e PC03, corresponde a praticamente 50% da área total da BCRC D. Desse modo, há de se esperar que apresente as principais características da região.

Na área da BCRC D destaca-se a ocupação por pastagem, com 50,86% da cobertura. Do total de áreas de pastagens, 30,89% estão na sub bacia do PC01, e 16,26% no recorte PC09*. A classe de cultura agrícola também é mais recorrente na sub bacia PC01, onde estão 45,05% das áreas de agricultura da BCRC D, assim como a classe de mata, que corresponde a 31,01% do total da BCRC D, 37,68% estão nesta sub bacia. Outro ponto que merece destaque é a proporção da classe pasto sujo na sub bacia do PC01 a qual corresponde a 46,34% do total desta classe em toda a BCRC D. Ou seja, a sub bacia com 31,10% da área total da bacia abriga quase a metade do total desta classe, o que pode indicar processos de recuperação da mata a partir do abandono de áreas de pasto na região.

Enquanto a região a montante do ponto PC04 se destaca pelo percentual de mata, de pastagem e pasto sujo, a região de jusante se destaca pela classe silvicultura. A sub bacia do ponto PC06 - foz do ribeirão São Bento, a qual possui 16,26% da área total da BCRC D, é responsável por 22,39% da classe silvicultura na bacia. É a maior área em km² ocupada por esta classe na BCRC D, seguida pelo recorte da sub bacia PC04* com 19,51% desta classe na BCRC D. Estes números mostram que na região do médio curso e braço da represa no ribeirão São Bento há a maior concentração de atividades de silvicultura da bacia, o que fora percebido durante as campanhas para coleta das amostras.

E ainda, na sub bacia do PC07 - foz do córrego Goiabeira, a qual representa apenas 6,81% da área total da BCRC D, estão 34,37% da classe solo exposto da bacia. Do mesmo modo, na sub bacia do ponto PC08 - foz do ribeirão Lambari, que corresponde a 5,00% da área da bacia, estão 33,86% das áreas de solo exposto da BCRC D. Ambas áreas têm sinais de preparo mecanizado e poderão ser utilizadas para plantio de eucalipto. No recorte PC09* estão 21,67% desta classe.

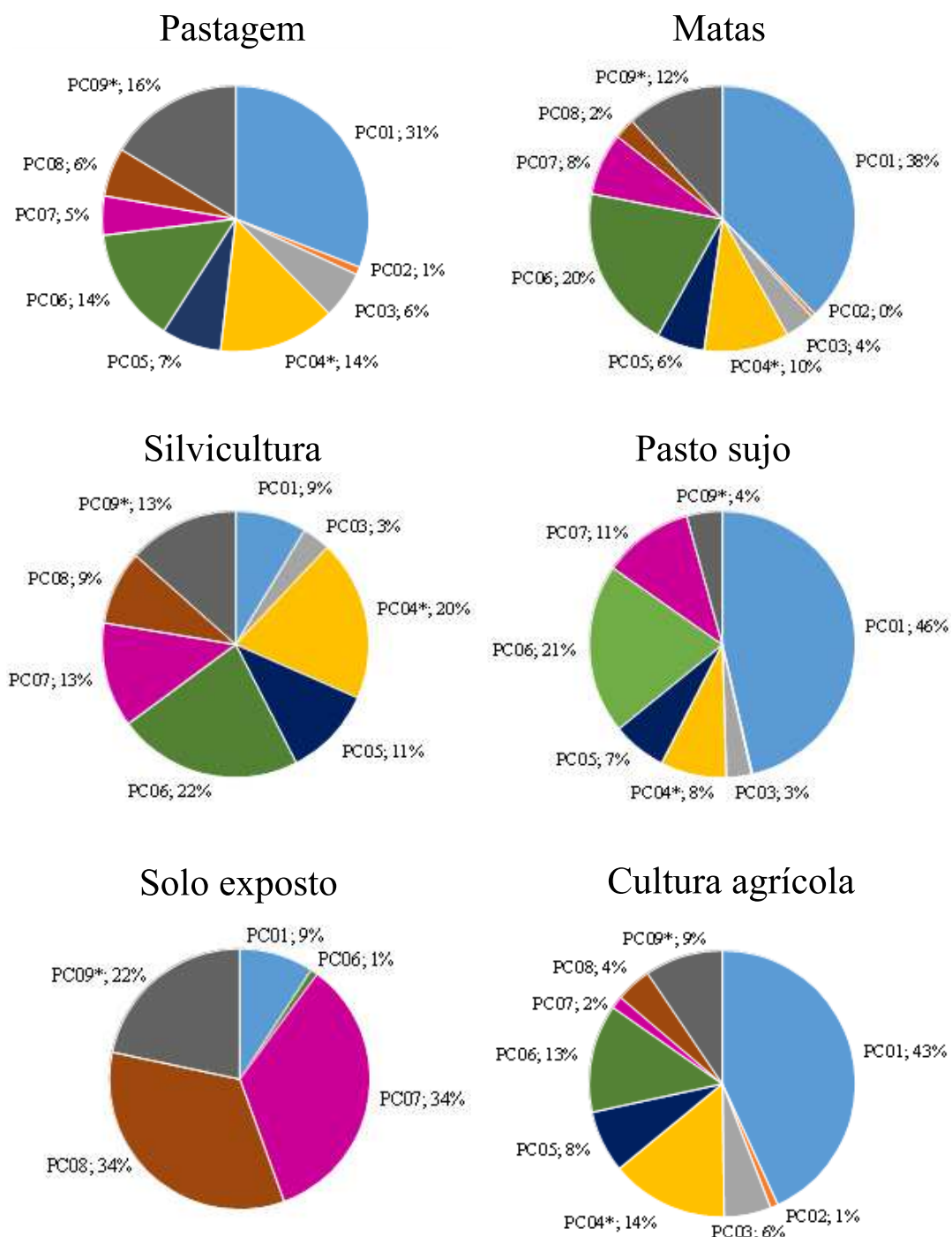
Uma informação preocupante é o fato de apenas 31,02% da BCRC D serem cobertos

por mata. Em se tratando de um manancial de abastecimento, a proteção da sua bacia de contribuição deve ser preocupação contante dos gestores públicos.

A Figura 21 ilustra a distribuição de algumas classes entre as sub bacias. Na ilustração pode ser observado que a sub bacia do PC01 abriga a maior parcela de toda a área de pastagem da BCRC, assim como maior percentual das áreas de mata, pasto sujo e cultura agrícola da bacia de contribuição. A cobertura por silvicultura se destaca no médio curso, nas sub bacias dos pontos PC04*, PC05, PC06 e PC07. A classe solo exposto se apresenta predominantemente nas sub bacias dos pontos PC07, PC08 e PC09*, indicando o provável crescimento da silvicultura nessas áreas.

Figura 21 – Percentual do uso e cobertura da terra na BCRC D por sub bacia

■ PC01 ■ PC02 ■ PC03 ■ PC04* ■ PC05 ■ PC06 ■ PC07 ■ PC08 ■ PC09*



3.4 LEVANTAMENTO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

A Lei nº12.651/2012 define no inciso II do artigo 3º as Área de Preservação Permanente (APP) como: [71]

área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabili-

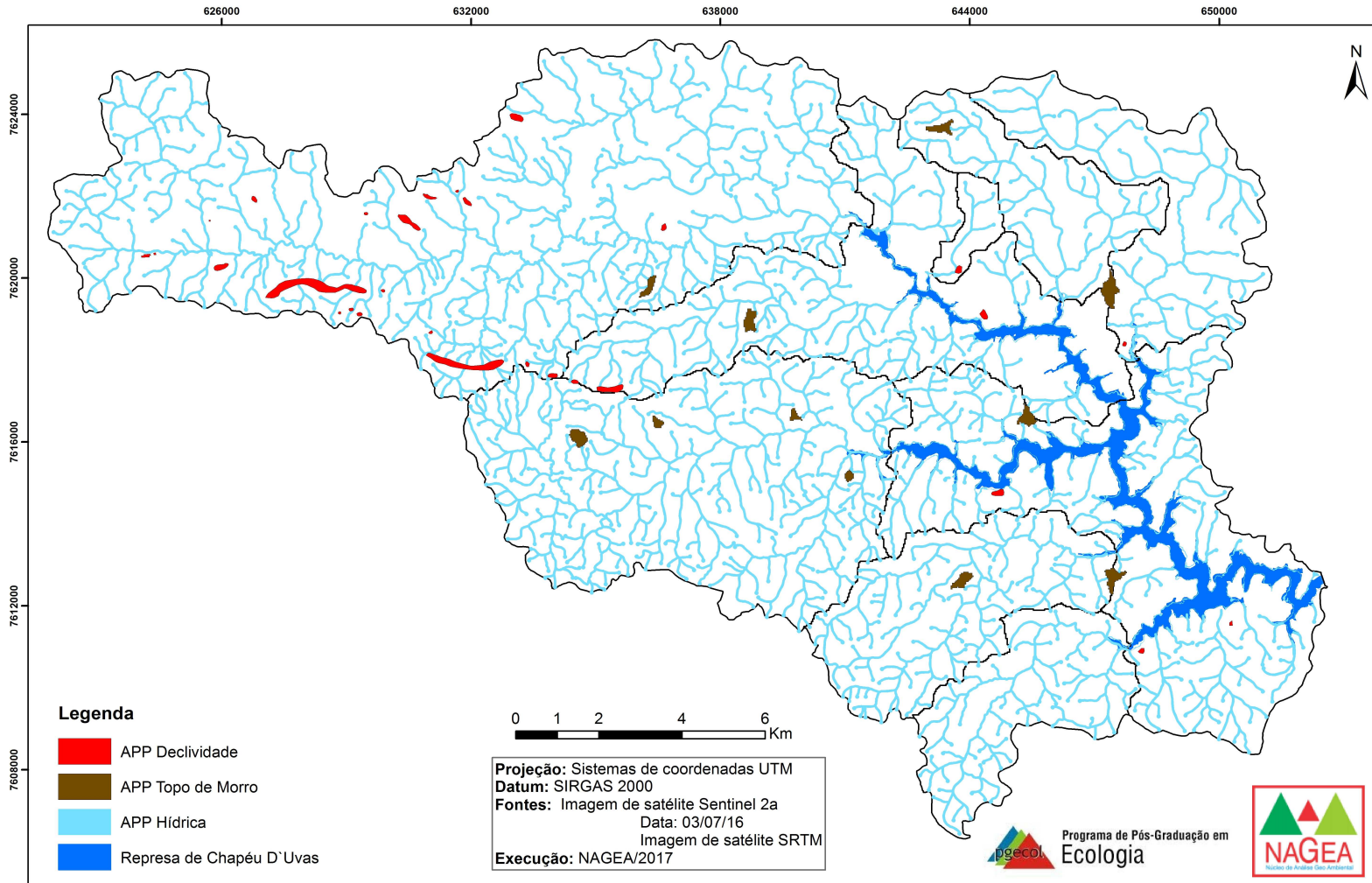
dade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

A mesma lei delimita as áreas de preservação permanente e, a partir desta norma, foram calculadas as APP legalmente definidas na Lei nº12.651/2012, com o uso de *software* ArcGIS, conforme condições listadas a seguir:

- Para faixas marginais dos córregos, desde a borda da calha do leito regular = 30 m (conforme alínea a do inciso I do art. 4º)
- Para o entorno de nascentes = 50 m (conforme inciso IV do art. 4º)
- Para o entorno do reservatório = faixa entre a cota máxima de operação (741 m) e a cota máxima *maximorum* (745 m) (conforme art. 62)
- Topos de morro (conforme inciso IX do art. 4º)
- Encostas (conforme inciso V do art. 4º)

As faixas marginais, entorno de nascentes e do reservatório foram agrupadas e definidas como APP Hídrica, conforme o mapa da Figura 22, o qual ilustra a distribuição destas áreas na BCRC.

Figura 22 – Áreas de Preservação Permanente na BCRC



A Tabela 12 apresenta a cobertura, em km², de APP legalmente definida para a BCRC D e sub bacias. Com o uso do *software* SAGA/UFRJ foi realizada a Monitoria comparando as APP legalmente definidas com as classes de uso e cobertura da terra identificadas no mapa de 2016, sendo que as classes de mata, represa e áreas úmidas foram consideradas como APP remanescentes. Como se observa, dos 55,56 km² de áreas a serem preservadas na BCRC D, apenas 19,62 km² estão sendo, atualmente, respeitados, o que corresponde a 35,31%. As pastagens ocupam 49,03% das APP na bacia, seguidas pelas atividades de silvicultura que ocupam 6,63% dessas áreas. A sub bacia mais preservada é a do PC01, na cabeceira do rio Paraibuna, com 40,73% de APP remanescente, e a com menor percentual remanescente é do PC08, no ribeirão Lambari, com apenas 18,29%. Os números apresentados na Tabela 12 alertam para a situação crítica da bacia, não apenas pelo viés legal da questão, mas, principalmente, pela importância ecológica e hidrológica das áreas de preservação permanente.

Tabela 12 – Ocupação das Áreas de Preservação Permanente e APP remanescentes na BCRC D - 2016

	Pas		Silv		Psuj		Solexp		Cult		Lagos		Urb		APP Legal	APP r	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	km ²	%
BCRCD	27,2390	49,03	3,6837	6,63	2,8917	5,2	0,8471	1,52	0,7734	1,39	0,4428	0,8	0,0288	0,05	55,5608	19,6200	35,31
PC01	8,3490	47,84	0,2028	1,16	1,3919	7,98	0,0610	0,35	0,2479	1,42	0,0694	0,40	0,0000	0,00	17,4514	7,1076	40,73
PC02	0,1591	53,41	0,0000	0,00	0,0003	0,10	0,0000	0,00	0,0238	7,99	0,0063	2,11	0,0288	9,67	0,2979	0,0797	26,75
PC03	1,4196	61,00	0,1507	6,48	0,0730	3,14	0,0000	0,00	0,0266	1,14	0,0104	0,45	0,0000	0,00	2,3272	0,6469	27,80
PC04	3,2131	50,82	0,8002	12,66	0,1955	3,09	0,0000	0,00	0,0892	1,41	0,0666	1,05	0,0000	0,00	6,3221	1,9575	30,96
PC05	1,5207	50,37	0,3586	11,88	0,2012	6,66	0,0000	0,00	0,0632	2,09	0,1002	3,32	0,0000	0,00	3,0193	0,7657	25,36
PC06	5,1289	46,29	0,8028	7,24	0,6388	5,76	0,0007	0,01	0,1586	1,43	0,1098	0,99	0,0000	0,00	11,0810	4,2414	38,28
PC07	1,5690	34,76	0,5940	13,16	0,2611	5,78	0,2517	5,58	0,0145	0,32	0,0560	1,24	0,0000	0,00	4,5140	1,7674	39,15
PC08	1,7322	56,66	0,3523	11,52	0,0000	0,00	0,3332	10,90	0,0656	2,15	0,0134	0,44	0,0000	0,00	3,0570	0,5590	18,29
PC09	4,1474	55,37	0,4223	5,64	0,1299	1,73	0,2005	2,68	0,0840	1,12	0,0107	0,14	0,0000	0,00	7,4909	2,4951	33,31

(Pas) Pastagem; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (APP Legal) APP legalmente definida na Lei nº12.651/2012; (APP r) APP remanescente.

3.5 COMPARAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA 2010-2016

3.5.1 Monitoria Simples

A Tabela 13 apresenta o resultado da monitoria simples. As classes que aumentaram sua área total entre os anos 2010 e 2016 foram mata, silvicultura, solo exposto, áreas úmidas e área urbanizada. As classes que tiveram diminuição na área total foram pastagem, pasto sujo, represa, cultura agrícola e lagos. É importante considerar que, especialmente, a distribuição das classes foi alterada, porém a Tabela 13 apresenta apenas o saldo final por classe. Ou seja, houve redução de uma determinada classe numa região da bacia, compensada pelo aumento da mesma classe em outra região.

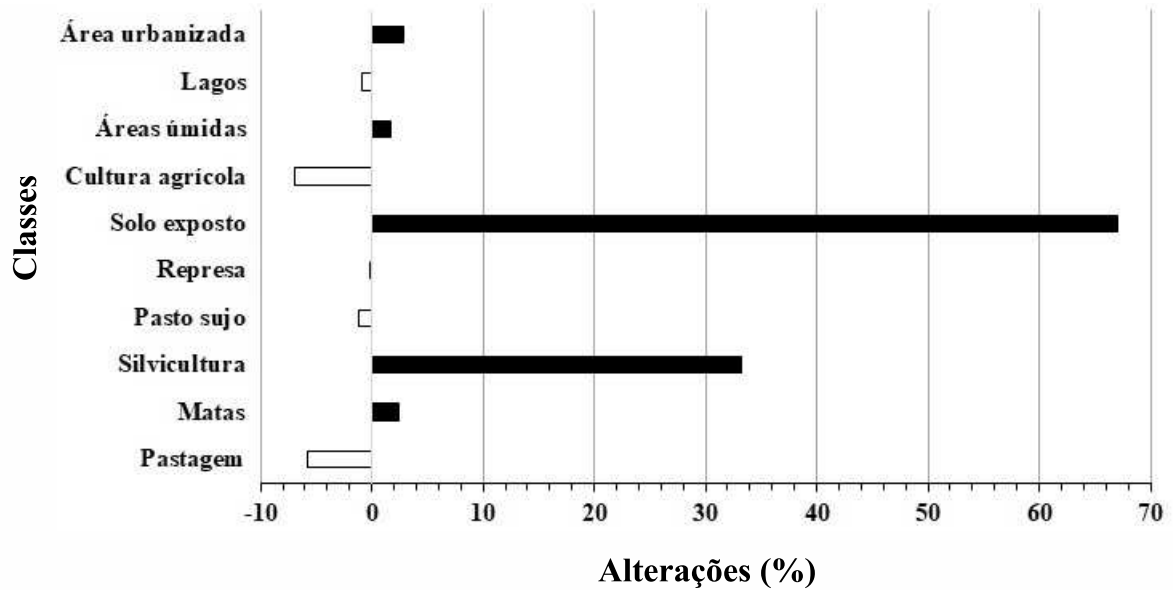
Tabela 13 – Monitoria Simples - BCRC D 2010-2016

Classe	Alteração	
	km ²	%
Pastagem	-9,5773	-5,71
Mata	2,2897	2,43
Silvicultura	5,2643	33,28
Pasto Sujo	-0,1929	-1,20
Represa	-0,0153	-0,17
Solo Exposto	2,4188	67,02
Cultura Agrícola	-0,1920	-6,99
Áreas Úmidas	0,0344	1,74
Lagos	-0,0068	-0,87
Área Urbanizada	0,0074	2,88

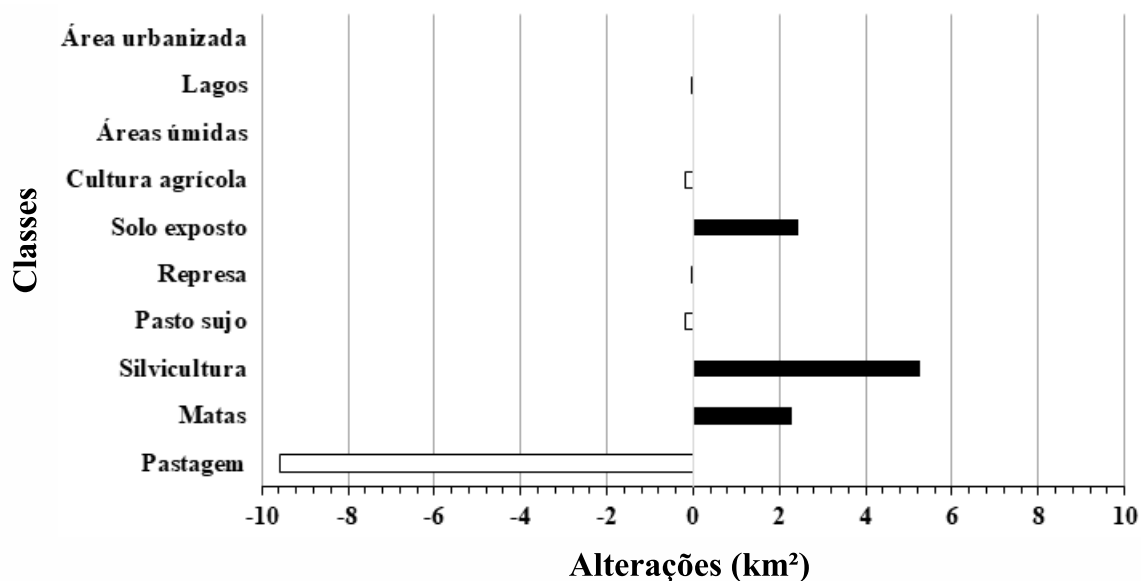
Em área absoluta o maior crescimento foi da classe silvicultura, com um aumento de 5,2643 km². Em termos percentuais o maior crescimento foi da classe solo exposto, com 67,02% de aumento em relação ao ano de 2010. A maior redução em área absoluta foi da classe pastagem, com -9,5773 km². A classe cultura agrícola apresentou a maior redução percentual, com -6,99%. O aumento, embora pequeno, da classe Mata, (2,2897 km²), pode ter sido motivado pela exigência do Cadastro Ambiental Rural (CAR), o qual foi criado pela Lei nº12.651/2012 e regulamentado pela Instrução Normativa nº 2/2014 do Ministério do Meio Ambiente. Trata-se de um registro obrigatório para todos os imóveis rurais, cadastrando informações sobre as Áreas de Preservação Permanente (APP), Reserva Legal e outras formas de vegetação nativa.

A Figura 23 apresenta o gráfico com as alterações das classes de uso e cobertura da terra na BCRC D entre os anos 2010-2016, em termos percentuais, facilitando a visualização com destaque para o aumento percentual da classe solo exposto. A variação da classe represa é muito pequena (-0,17%), sendo difícil sua visualização no gráfico. Esta redução está associada às variações no nível da represa (como apresentado na Figura 6) para as datas de aquisição das imagens em 2010 e 2016.

Figura 23 – Monitoria Simples (%) - BCRCO 2010-2016



A Figura 24 apresenta o gráfico com as alterações das classes de uso e cobertura da terra na BCRCO entre os anos 2010-2016, em área absoluta (km^2), facilitando a visualização com destaque para o crescimento das áreas da classe silvicultura e diminuição da classe pastagem, em termos absolutos. Neste gráfico, a variação em km^2 para as classes pasto sujo, represa, cultura agrícola, áreas úmidas, lagos e área urbanizada são muito pequenas em comparação à pastagem, e, por isso, sua visualização no gráfico ficou prejudicada.

Figura 24 – Monitoria Simples (km^2) - BCRCO 2010-2016

Estes resultados evidenciam a mudança nas atividades econômicas desenvolvidas na BCRCO, com substituição da agropecuária pela silvicultura, principalmente de eucalipto,

com incentivo das siderúrgicas da região, como relatado por Machado em [19] e Ribeiro em [21]. A redução das área de cultura agrícola também merece atenção. No entanto, apenas com a Monitoria "Deixou de ser" e "Tornou-se" pode ser confirmada esta transição.

3.5.2 Monitoria Deixou de ser e Tornou-se

A Tabela 14 apresenta a relação "Deixou de ser" e "Tornou-se" para as classes de uso e cobertura da terra na BCRC. Estes dados permitem identificar com maior detalhe as alterações ocorridas.

Pode ser verificado que, da área que deixou de ser coberta pela classe pastagem, a maior parcela, 4,6746 km², equivalente a 37,66% das mudanças, foi transformada em solo exposto. Praticamente a mesma área, 4,6116 km², foi alterada para silvicultura. Diante destes resultados é provável que parte desta área convertida de pastagem em solo exposto será coberta, em breve, por silvicultura e outra parte provavelmente será restabelecida em novas pastagens. Este resultado confirma a mudança das atividades econômicas predominantemente exercidas na bacia, passando de pecuária para silvicultura. Da área que deixou de ser pastagem 2,6626 km², o que corresponde a 21,45% das alterações, foram regenerados para a classe mata.

Em contrapartida, das áreas que deixaram de ser cobertas por mata, 0,9686 km², o que corresponde a 59,22% da área desmatada, passaram a ser pastagem. Ou seja, houve uma redistribuição espacial entre estas duas classes, mas com saldo positivo para a regeneração das áreas de mata em relação a pastagens. Outros 0,3765 km², que são 23,24% de toda área que deixou de ser mata, foram convertidos em silvicultura, evidenciando o avanço desta atividade econômica sobre os remanescentes de mata na bacia.

Do que era silvicultura em 2010, uma área de 0,1518 km² foi convertida em mata, representando 46,59% de toda área que deixou de ser silvicultura, o que sugere uma redistribuição espacial destas classes, mas com crescimento da silvicultura sobre a mata. Outros 0,1251 km², correspondentes a 38,40% das alterações, passaram a ser cobertos por pastagem, o que ainda dá um saldo positivo do crescimento da silvicultura sobre a pastagem.

Da área que deixou de ser coberta por pasto sujo 0,5335 km² foram regenerados em matas, o que corresponde a 47,91% das mudanças. Outros 0,4166 km² foram restabelecidos em pastagem e 0,1190 km² foram convertidos em áreas de silvicultura.

Da área que deixou de ser da classe solo exposto, a maior parcela, cerca de 0,9749 km², correspondentes a 39,46% do que deixou de ser solo exposto, foram ocupados por pastagens. Ou seja, eram áreas em estágio de preparo, provavelmente mecanizado, para o estabelecimento ou restabelecimento de pastagens. Outros 0,4694 km² foram regenerados em matas e 0,4105 km² ocupados por silvicultura, ilustrando novamente o avanço desta

atividade econômica na bacia.

Das áreas de deixaram de ser cultura agrícola, a maior parcela, 0,3005 km², correspondentes a 68,65% das alterações, foram convertidos em pastagem, outros 14,62% em mata e 10,99% em silvicultura. A classe cultura agrícola foi a única que deu lugar para o avanço da área urbanizada, com 0,0074 km² na região do Distrito de Nova Dores do Paraibuna.

Analisando a Monitoria Tornou-se, pode se verificar que do total de áreas que se tornaram pastagem, a maior parcela, 34,39%, teve origem na classe solo exposto, outros 33,85% tiveram origem nas áreas de mata e 14,69% nas áreas de pasto sujo. Ou seja, enquanto a silvicultura avança sobre as áreas de pastagens, em outros pontos a vegetação nativa ainda é suprimida para criação de novas áreas de pastagens.

Da área que tornou-se mata, a maior parcela, 68,10%, teve origem nas áreas de pastagem, 13,64% são referentes a áreas de regeneração do pasto sujo e 12,00% de solo exposto. Ou seja, o abandono de áreas de pastagem é a principal contribuição para o crescimento da classe mata na BCRCO.

Da área que passou a ser coberta por silvicultura, 82,50% tiveram origem em áreas de pastagem. Este dado reforça a percepção de que as atividades econômicas predominantes da bacia têm mudado de pecuária para silvicultura. Outros 6,74% tiveram origem em áreas de mata, o que merece atenção dos gestores pois indica o avanço desta atividade econômica sobre os remanescentes de mata atlântica na bacia.

Da área que tornou-se pasto sujo, as principais origens forma as pastagens (43,77%) e solo exposto (42,30%), confirmando que a formação de áreas de pasto sujo é proveniente do abandono de áreas de pastagem.

Da área que tornou-se solo exposto 95,61% tiveram origem em áreas de pastagem, o que indica o preparo destas áreas para receber a silvicultura, ou para reabilitação das pastagens, ou ainda, o início de processos erosivos. Contudo, conforme já relatado, as imagens de satélite permitiram identificar o preparo mecanizado da maior parte destas áreas.

Sobre as alterações, deixou de ser e tornou-se, da classe represa, ainda que pequenas, apresentadas na Tabela 14, devem ser considerados dois fatores: (i) a variação dos níveis da represa nas datas de aquisição das imagens 2010 - 2016, e, (ii) a resolução da imagem SRTM. Tais fatores interferem na classificação das imagens e, por consequência, na monitoria.

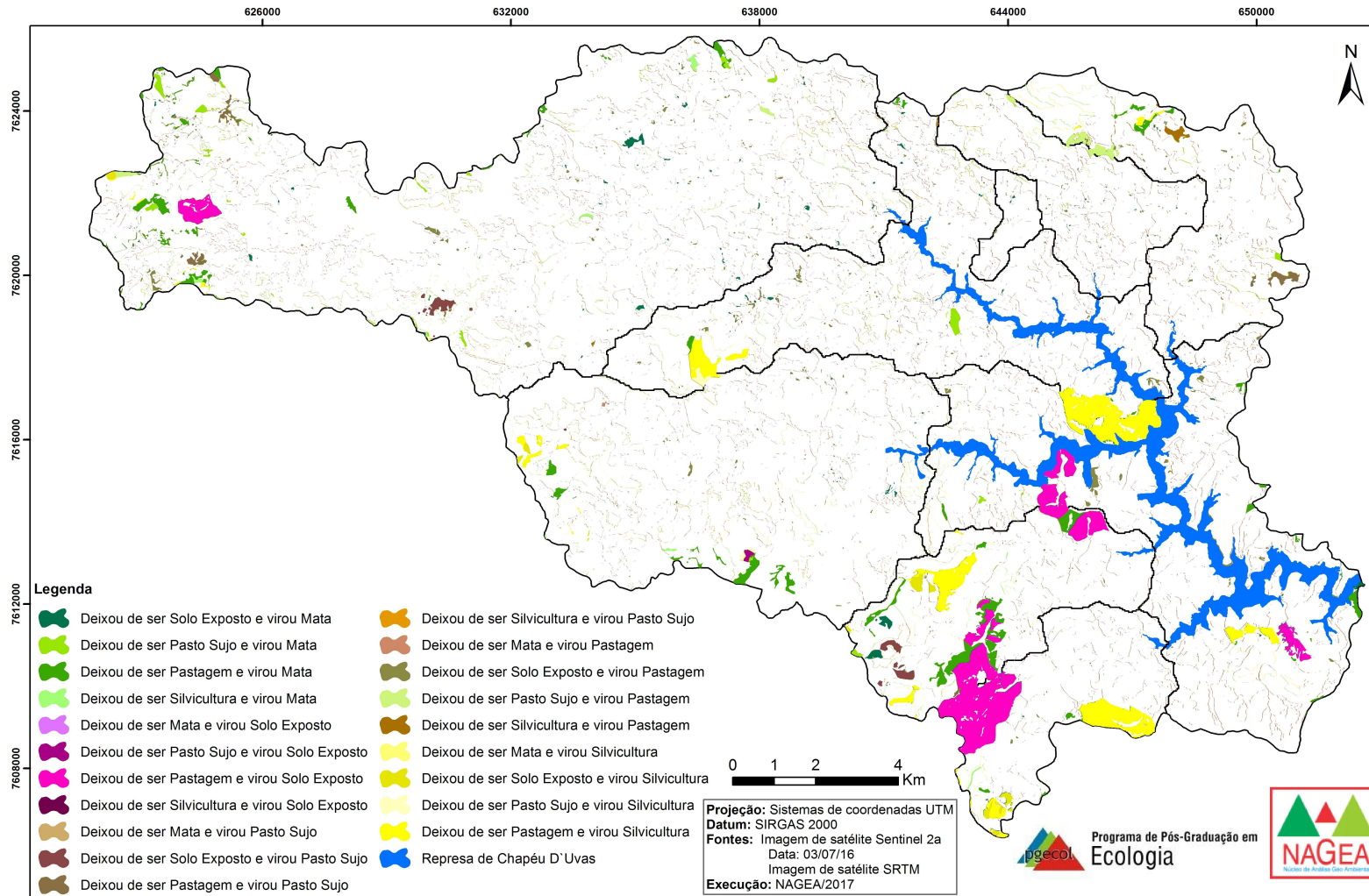
A Figura 25 apresenta um mapa com as principais alterações no uso e cobertura da terra da BCRCO no período 2010-2016.

Tabela 14 – Monitoria Deixou de ser e Tornou-se - BCRCO 2010-2016

Classe	Tornou-se (km ²)										
	Pas	Mat	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	
Deixou de ser (km²)											
Pas	-	2,6626	4,6116	0,4030	0	4,6746	0,0371	0,0203	0,0017	0	
Mat	0,9596	-	0,3765	0,1242	0,0100	0,1376	0,0072	0,0060	0,0053	0	
Silv	0,1251	0,1518	-	0	0	0	0,0488	0,0001	0	0	
Psuj	0,4166	0,5335	0,1190	-	0	0,0444	0	0	0	0	
Repr	0,0108	0,0042	0,0004	0	-	0	0	0	0	0	
Solexp	0,9749	0,4694	0,4105	0,3895	0	-	0,1526	0,0484	0,0250	0	
Cult	0,3005	0,0640	0,0481	0,0032	0	0,0055	-	0,0077	0,0013	0,0074	
Umid	0,0044	0,0089	0,0133	0,0001	0	0,0214	0	-	0	0	
Lagos	0,019	0,006	0,0085	0,0006	0	0,0054	0	0	-	0	
Urb	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	

Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) Mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada.

Figura 25 – Alterações no uso e cobertura da terra da BCRC D 2010 - 2016



3.5.3 Monitoria por sub bacia

A monitoria por sub bacia permite compreender melhor como ocorreu a variação das classes de uso e cobertura da terra. A Tabela 15 apresenta este resultado.

Na sub bacia do PC01 a classe com maior crescimento absoluto foi a de mata, com 0,7746 km² que correspondem a um avanço de 2,16%, seguida pela classe silvicultura, a qual avançou 0,0922 km² de área, o que corresponde a um crescimento de 5,28% em relação a 2010. Apesar do crescimento da área de vegetação nativa, esta indicação do avanço da silvicultura na cabeceira do rio Paraibuna, região com maiores altitudes e declividades da BCRCO, alerta para o avanço dessa atividade econômica na região. Reduziram suas áreas nesta mesma sub bacia as classes pastagem, com -0,6023 km² (-1,20%) e solo exposto, com -0,4192 km² (-47,77%), classe esta que provavelmente deu lugar à silvicultura.

Na sub bacia do PC02, onde se localiza o distrito de Nova Dores do Paraibuna, houve um crescimento da área de pastagem em 0,0387 km² (2,00%) e, discretamente, da área urbanizada em 0,0075 km² (2,90%). A maior redução foi da classe cultura agrícola com -0,0210 km² de área (-46,88%), o que também desperta a atenção por se tratar da única área urbanizada da BCRCO onde, provavelmente, se pratica o tipo de agricultura para subsistência. A classe solo exposto, medida em 2010 com 0,0119 km², não foi identificada em 2016 nessa sub bacia.

Na sub bacia do PC03, onde se localiza o córrego Samambaia, destaca-se a redução da área de cultura agrícola, com saldo de -0,0305 km² (-17,53%). A classe solo exposto, medida em 2010 com 0,0524 km², não foi identificada em 2016 nesta sub bacia.

Na sub bacia do PC04*, a qual se refere ao recorte de PC04 (desconsiderando as áreas das sub bacias PC01, PC02 e PC03), destaca-se o crescimento da silvicultura em 1,3709 km² (50,39%) contra a redução da área de pastagem em -1,0091 km² (-4,24%) e da área de cultura agrícola em -0,0666 km² (-16,04%). A classe solo exposto, medida em 2010 com 0,2563 km², não foi identificada em 2016 nessa sub bacia, dando lugar, provavelmente, à silvicultura.

Na sub bacia do PC05, foz do rio Taquaraçu, destaca-se o crescimento das áreas de pastagem em 0,1284 km² (1,15%) e mata em 0,1082 km² (1,93%), contra uma discreta redução na área de silvicultura em -0,0128 km² (-0,55%). A classe pasto sujo foi reduzida em -0,1093 km² (-9,40%), a qual pode ter sido retomada pelas pastagens. A classe solo exposto, medida em 2010 com 0,1010 km², não foi identificada em 2016 nessa sub bacia.

Na sub bacia do PC06, foz do ribeirão São Bento, destaca-se o aumento da classe mata em 0,3421 km² (1,79%) e da silvicultura em 0,2859 km² (6,45%). A área de solo exposto foi reduzida em -0,1414 km² (-75,98%).

Na sub bacia do PC07, foz do córrego Goiabeira, destaca-se o crescimento da classe de mata em 1,0783 km² (17,27%) e da silvicultura em 0,8981 km² (49,86%). A

classe solo exposto cresceu em 1,2243 km² (243,35%), o que, conforme explicado, indica preparo mecanizado da terra. A área de pastagens reduziu em -3,3832 km² (-30,84%), representando o comportamento geral da BCRC: substituição da atividade agropecuária pela silvicultura.

Na sub bacia do PC08, foz do ribeirão Lambari, destaca-se o crescimento da área de silvicultura em 1,3395 km², o que representa um aumento de 238,73% em relação a 2010. A área de solo exposto aumentou em 1,5215 km², representando um crescimento de 774,69% em relação a 2010 (também identificado nas imagens o preparo mecanizado da terra). Este aumento na área de solo exposto sugere que haverá ainda um aumento na área de silvicultura nesta sub bacia. Destaca-se ainda a retração da classe pastagem com -2,7480 km² (-22,51%) e da classe cultura agrícola em -0,0324 km² (-23,00%).

Na sub bacia do PC09*, a qual se refere ao recorte do PC09 sem considerar as bacias de montante, destaca-se o crescimento da silvicultura em 1,2816 km² (81,65%) e da classe solo exposto em 0,6556 km² (150,61%), o que indica o provável crescimento da atividade silvicultura na sub bacia. A classe pastagem foi reduzida em -1,7655 km² (-6,34%).

Esta análise das sub bacias reforça a percepção de que é na região do médio curso da represa até a barragem que se verifica o avanço mais consistente da atividade de silvicultura e a retração das áreas de pastagens na BCRC.

Tabela 15 – Monitoria Simples por sub bacia - BCRCO 2010-2016 - Alteração em km²

Classe	Unid	Sub bacia								
		PC01	PC02	PC03	PC04*	PC05	PC06	PC07	PC08	PC09*
Pastagem	Km ²	-0,6023	0,0387	0,1492	-1,0091	0,1284	-0,3855	-3,3832	-2,7480	-1,7655
	%	-1,20	2,00	1,72	-4,24	1,15	-1,68	-30,84	-22,51	-6,34
Mata	Km ²	0,7746	-0,0114	-0,0120	0,1636	0,1082	0,3421	1,0783	-0,0584	-0,0949
	%	2,16	-0,85	-0,39	1,65	1,93	1,79	17,27	-2,46	-0,84
Silvicultura	Km ²	0,0922	0,0000	0,0063	1,3709	-0,0128	0,2859	0,8981	1,3395	1,2816
	%	5,28	0,00	0,88	50,39	-0,55	6,45	49,86	238,73	81,65
Pasto sujo	Km ²	0,0831	-0,0002	-0,0622	-0,2065	-0,1093	-0,0822	0,2071	-0,0002	-0,0227
	%	1,14	0,00	-11,35	-13,88	-9,40	-2,43	13,43	0,00	-3,14
Represa	Km ²	0,0000	0,0000	0,0000	-0,0023	-0,0024	-0,0001	-0,0001	-0,0001	-0,0103
	%	0,00	0,00	0,00	-0,12	-3,82	-0,07	-0,17	-0,21	-0,15
Solo exposto	Km ²	-0,4192	-0,0119	-0,0524	-0,2563	-0,1010	-0,1414	1,2243	1,5215	0,6556
	%	-47,77	-100,00	-100,00	-100,00	-100,00	-75,98	243,35	774,69	150,61
Cultura agrícola	Km ²	0,0255	-0,0210	-0,0305	-0,0666	-0,0038	-0,0301	-0,0085	-0,0324	-0,0246
	%	2,41	-46,88	-17,53	-16,04	-1,94	-8,36	-18,01	-23,00	-9,79
Áreas úmidas	Km ²	0,0347	0,0000	0,0006	0,0147	-0,0109	0,0253	-0,0138	-0,0152	-0,0007
	%	5,98	0,00	0,86	2,95	-20,26	5,06	-14,48	-54,68	-0,90
Lagos	Km ²	0,0099	0,0005	0,0001	0,0031	0,0017	-0,0148	0,0003	-0,0078	0,0002
	%	8,28	3,79	0,63	3,49	0,82	-7,77	0,42	-29,55	0,98
Área urbanizada	Km ²	0,0000	0,0075	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	%	0,00	2,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4 QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS

4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Há dois conjuntos de dados sobre qualidade da água utilizados nesta pesquisa: um conjunto formado pelos dados fornecidos pela Cesama referentes às coletas mensais realizadas na captação da barragem; outro conjunto referente às coletas realizadas pelo autor.

Os dados fornecidos pela Cesama, relativos a um ponto de amostragem situado onde hoje se encontra a captação, abrangem o período de janeiro de 2005 até dezembro de 2017, com frequência mensal. Os parâmetros informados estão listados na Tabela 16. Apesar das observações serem mensais, não há regularidade quanto aos parâmetros analisados, então a tabela informa também o número de observações (Nº obs) registradas para cada parâmetro de qualidade da água. As amostras foram coletada por técnicos da empresa e analisadas nos laboratórios da própria companhia.

Tabela 16 – Parâmetros de qualidade da água da represa de Chapéu D'Uvas - 2005 à 2017 - Dados fornecidos pela Cesama

Parâmetro	Unidade	Nº obs
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹	79
Condutividade elétrica	μS.cm ⁻¹	142
Potencial Hidrogeniônico	pH	146
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹	96
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	109
Turbidez	UNT	146
Ferro	mg.L ⁻¹	137
Manganês	mg.L ⁻¹	125
Cloreto	mg.L ⁻¹	145
Dureza	mg.L ⁻¹	131
Oxigênio Consumido	mg.L ⁻¹	136
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg.L ⁻¹	125
Coliformes Totais	NMP.100ml ⁻¹	115
<i>Escherichia coli</i>	NMP.100ml ⁻¹	114
Densidade de Cianobactérias	células.ml ⁻¹	108

Os dados foram organizados e processados conforme parâmetros, ano e estação (seca/chuva) sendo a estação seca nos meses de maio a setembro, e, estação de chuva nos meses de outubro a abril. [22] Para comparar os resultados das estações de seca e chuva foi realizado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para o nível de significância de 5%. Este teste não paramétrico foi escolhido visto a não normalidade dos dados. O objetivo foi comparar as medidas de posição das amostras, neste caso, leituras na seca e na chuva, e verificar se existem diferenças significativas entre os seus resultados. Para sua aplicação devem ser atendidas exigências como: as duas amostras devem ser

mutuamente independentes, as diferenças entre as medidas devem ser variáveis contínuas com distribuição simétrica, e, o nível de mensuração deve ser em escala intervalar. [56]

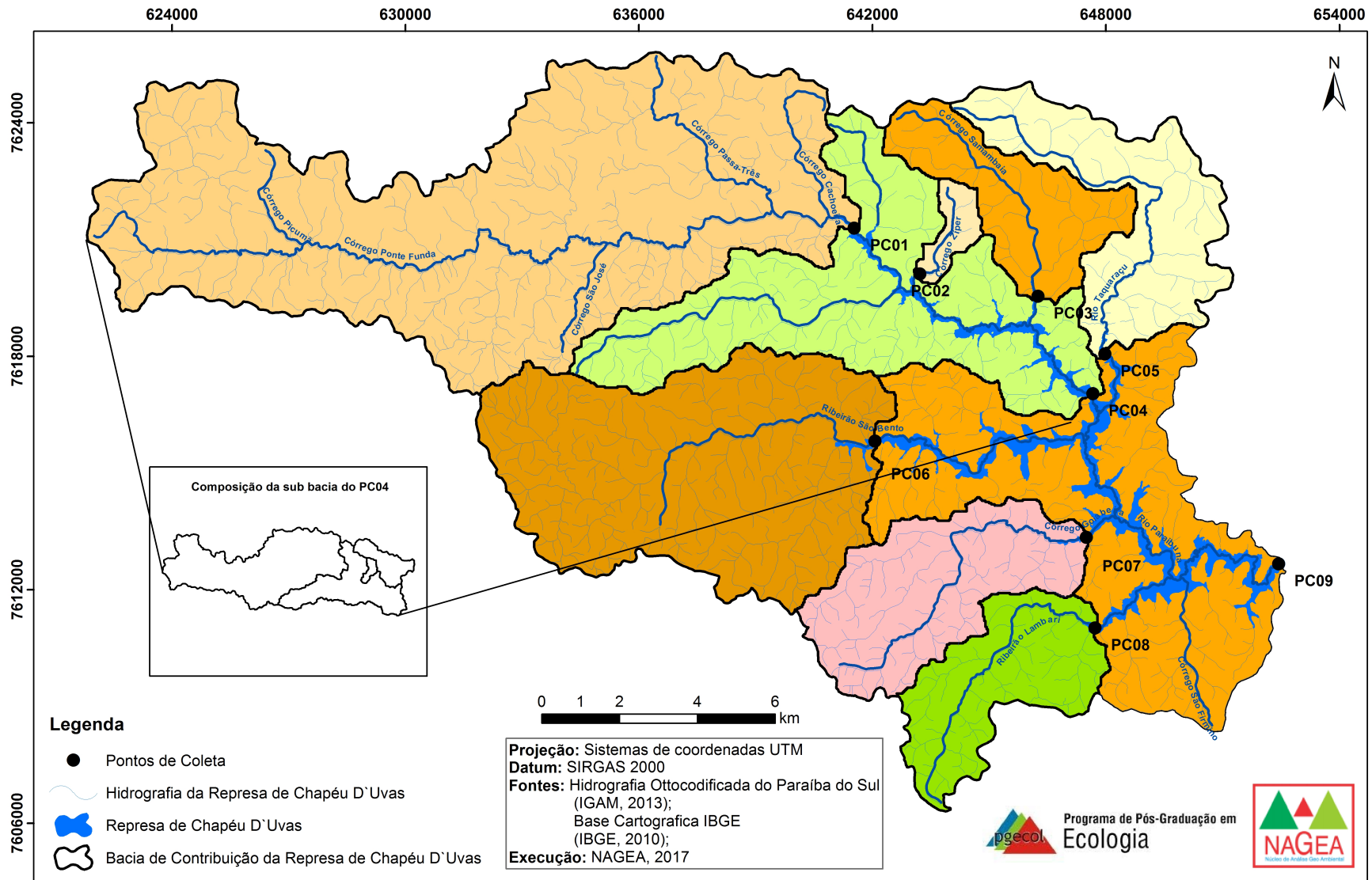
O segundo conjunto de dados se refere às amostras coletadas pelo autor no desenvolvimento desta pesquisa. Entre os anos de 2016 e 2017 foram realizadas quatro coletas de amostras superficiais em nove pontos da BCRCO. Os pontos de coleta foram escolhidos preliminarmente a partir dos mapas e trabalhos realizados por Machado[19] e Ribeiro[21]. Após uma análise preliminar dos possíveis pontos e das características das respectivas sub bacias, a proposta foi apresentada e discutida com os dois referidos pesquisadores, os quais contribuíram na definição dos pontos de amostragem. Posteriormente foi realizada uma campanha de reconhecimento em 30 de junho de 2016 para confirmação dos pontos, conforme Tabela 17.

Tabela 17 – Pontos de coleta na BCRCO - Coordenadas no sistema UTM, datum SIRGAS2000, zona 23K

Ponto	X	Y	Z	Descrição
PC01	640925	7621515	748	Exutório do rio Paraibuna
PC02	643318	7620068	771	Foz do córrego Zipper
PC03	646100	7619843	747	Foz do córrego Samambaia
PC04	647674	7617066	747	Represa - médio curso
PC05	647868	7618859	757	Foz do rio Taquaruçu
PC06	641145	7615684	744	Foz do ribeirão São Bento
PC07	646433	7613334	737	Foz do córrego Goiabeira
PC08	647096	7611367	739	Foz do ribeirão Lambari
PC09	652396	7612640	739	Captação

A Figura 26 apresenta a localização dos pontos na bacia. Os pontos PC04 e PC09 são localizados dentro do reservatório, sendo que o primeiro está situado no médio curso da represa, na zona longitudinal considerada de transição, e o segundo, próximo à barragem, na zona lacustre. [72] Os demais são situados nos afluentes da represa, próximos aos pontos de exutório ou foz.

Figura 26 – Localização dos pontos de coleta na BCRCD



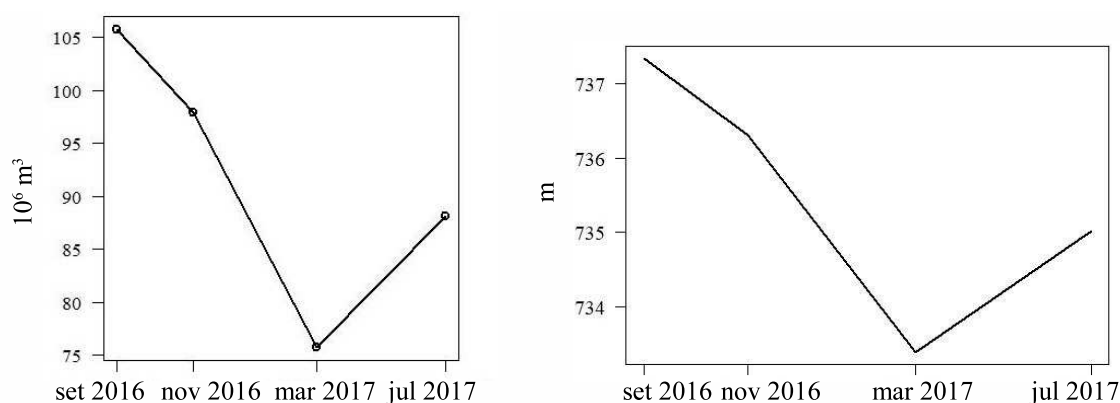
Na definição dos pontos foram consideradas as limitações de recursos disponíveis para coleta e análise, bem como as características de cada tributário e de sua sub bacia, no intuito de captar a maior quantidade de informações possíveis sobre a qualidade da água na BCRCO.

As coletas foram realizadas nos dias 12 de setembro e 21 de novembro de 2016, 13 de março e 9 de julho de 2017. O deslocamento rodoviário, de aproximadamente 60 km, se iniciava por volta de 06:00 horas, partindo do 4º Batalhão de Bombeiros Militar de Juiz de Fora, situado na Avenida Brasil, 3405, em Juiz de Fora. O deslocamento aquático se iniciava por volta de 08:30h. O ponto de abordagem no lago se dava próximo à ponte de ferro, no distrito de Nova Dores do Paraibuna, município de Santos Dumont, MG. As coletas se iniciavam no ponto PC01 e, após 88,6 km navegando na represa, era alcançado o último ponto de coleta, PC09, por volta de 16:30h. A Tabela 18 apresenta o nível do reservatório e seu volume nas datas de coleta, bem como se houve ou não ocorrência de chuva nas 48 horas anteriores à coleta. A Figura 27 ilustra graficamente a variação do volume e do nível da represa por data de amostragem. A Tabela 19 apresenta as datas e horários de coleta por ponto de amostragem.

Tabela 18 – Nível e volume do reservatório por data de amostragem

Data	Nível (m)	Volume ($10^6.m^3$)	Chuva (48h)
12/09/16	737,34	105,784	Não
21/11/16	736,30	97,880	Sim
13/03/17	733,39	75,764	Não
09/07/17	735,020	88,152	Sim

Figura 27 – Volume e nível da represa de Chapéu D’Uvas por data de amostragem



Em cada ponto foram coletadas amostras as quais eram acondicionadas em recipientes inertes de vidro ou plástico e devidamente preservadas, seguindo demais orientações contidas no Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras publicado pela Agência Nacional de Águas [73]. Alguns parâmetros foram medidos *in loco* utilizando uma sonda multiparamétrica YSI. As análises foram processadas no Laboratório de Ecologia Aquática

Tabela 19 – Data e hora de coleta por ponto de amostragem

	PC01	PC02	PC03	PC04	PC05	PC06	PC07	PC08	PC09
12/09/16	08:58	10:06	10:40	11:10	11:58	13:46	15:15	15:54	16:44
21/11/16	08:53	09:37	10:23	10:56	11:30	12:17	13:24	14:09	14:52
13/03/17	09:14	10:40	11:50	12:25	12:56	14:42	16:01	16:48	17:23
09/07/17	09:24	10:24	11:01	11:28	12:23	13:21	14:26	15:14	16:04

(LEA) do Instituto de Ciências Biológicas (ICB) da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e no Laboratório Central da Cesama, conforme Tabela 20.

Tabela 20 – Parâmetros de qualidade da água por laboratório

Parâmetro	Unidade	Laboratório
Temperatura	°C	Sonda Multiparamétrica YSI
Oxigênio Dissolvido Saturação	%	Sonda Multiparamétrica YSI
Oxigênio Dissolvido	mg.L ⁻¹	Sonda Multiparamétrica YSI
Condutividade	μS.cm ⁻¹	Sonda Multiparamétrica YSI
Potencial Hidrogeniônico	pH	Sonda Multiparamétrica YSI
Potencial de Oxirredução	mV	Sonda Multiparamétrica YSI
Nitrato	mg.L ⁻¹	LEA
Nitrito	mg.L ⁻¹	LEA
Amônio	mg.L ⁻¹	LEA
Nitrogênio inorgânico dissolvido	mg.L ⁻¹	LEA
Nitrogênio orgânico total	mg.L ⁻¹	LEA
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹	LEA
Silicato	mg.L ⁻¹	LEA
Ortofosfato	mg.L ⁻¹	LEA
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	LEA
Cor	uH	Cesama
Turbidez	UNT	Cesama
Ferro	mg.L ⁻¹	Cesama
Cloretos	mg.L ⁻¹	Cesama
Dureza	mg.L ⁻¹	Cesama
Oxigênio consumido	mg.L ⁻¹	Cesama
Demanda Química de Oxigênio	mg.L ⁻¹	Cesama
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg.L ⁻¹	Cesama
Sólidos dissolvidos totais	mg.L ⁻¹	Cesama
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	Cesama
Coliformes Totais	NMP.100ml ⁻¹	Cesama
<i>Escherichia coli</i>	NMP.100ml ⁻¹	Cesama
Densidade Cianobactérias	células.ml ⁻¹	Cesama
Densidade Fitoplâncton - outros	células.ml ⁻¹	Cesama
Densidade Fitoplâncton Total	células.ml ⁻¹	Cesama

Os dois conjuntos de dados (históricos e das campanhas) foram organizados e passaram por uma análise exploratória inicial, que organizou os dados por parâmetro, por estação (seca = setembro 2016 e julho 2017; chuva = novembro 2016 e março 2017) e

por ponto de amostragem. Para comparar os resultados das estações de seca e chuva foi realizado o Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney para o nível de significância de 5%.

Foi realizada também uma análise das correlações das variáveis (parâmetros de qualidade da água), incluindo outras: o volume do reservatório, o tempo de residência, a precipitação mensal e a profundidade do disco de Secchi. Na análise foi adotada como moderada a correlação com coeficiente ρ de Pearson entre 0,5 e 0,69 (ou -0,5 a -0,69), forte a com coeficiente entre 0,7 e 0,89 (ou -0,7 a -0,89) e muito forte a correlação com coeficiente entre 0,9 e 1,0 (ou -0,9 a -1,0).

As informações históricas do volume foram fornecidas pela Cesama em [30], as quais foram tratadas e tabuladas conforme as datas das coletas de amostras de água. O volume pode influenciar aspectos como a turbidez da água, a altura da zona eufótica (penetração da luz) e a diluição de poluentes.

O tempo de residência (Tr) é o período durante o qual a água ou uma substância permanece em um componente do ciclo hidrológico. Para um reservatório o Tr se refere ao tempo necessário para que determinada massa de água passe pelo sistema. É definido pelo quociente do volume do reservatório pela vazão de descarga (e/ou adução) [74], dados estes também fornecidos pela Cesama em [30]. O Tr influencia aspectos como as florações de fitoplâncton. Foi utilizado o tempo médio mensal na análise das correlações.

A precipitação acumulada mensal foi utilizada na matriz de correlação, e obtida a partir das estações da ANA e INMET conforme descrito em 2.1.1.1. A ocorrência de chuvas pode influenciar aspectos como o arraste de materiais para os corpos hídricos, a diluição de poluentes e o revolvimento do fundo dos tributários e da represa.

A profundidade do disco de Secchi foi medida nas campanhas com o uso de um disco branco, com 20 cm de diâmetro, pintado de preto em dois quadrantes, preso a uma corda graduada. Ao ser mergulhado no lado da sombra do barco mede-se na corda graduada a profundidade na qual o disco se torna imperceptível aos olhos. Esta medida dá informações sobre a transparência da água e a profundidade da zona eufótica. Mais informações sobre a importância da medida de profundidade do disco de Secchi serão apresentadas na Seção 4.4.3.

4.2 DADOS HISTÓRICOS DA QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS NO PONTO DA CAPTAÇÃO

Conforme explicado na Seção 4.1, o conjunto de dados históricos se refere aos dados fornecidos pela Cesama, relativos a um ponto de amostragem na captação, para o período de janeiro de 2005 até dezembro de 2017, com frequência mensal.

4.2.1 Análise exploratória dos dados históricos dos parâmetros de qualidade da água

4.2.1.1 *Oxigênio Dissolvido - concentração (OD)*

O oxigênio dissolvido presente nas águas naturais é proveniente das trocas gasosas com a atmosfera, ou ainda, da fotossíntese das algas. Sua concentração é importante para o metabolismo dos organismos aeróbios, para algumas reações químicas e processos como a oxidação de matéria orgânica. Assim, quantidade de oxigênio dissolvido na água tem relação também com a temperatura, pois esta influencia na respiração dos organismos e em outros processos oxidativos [75].

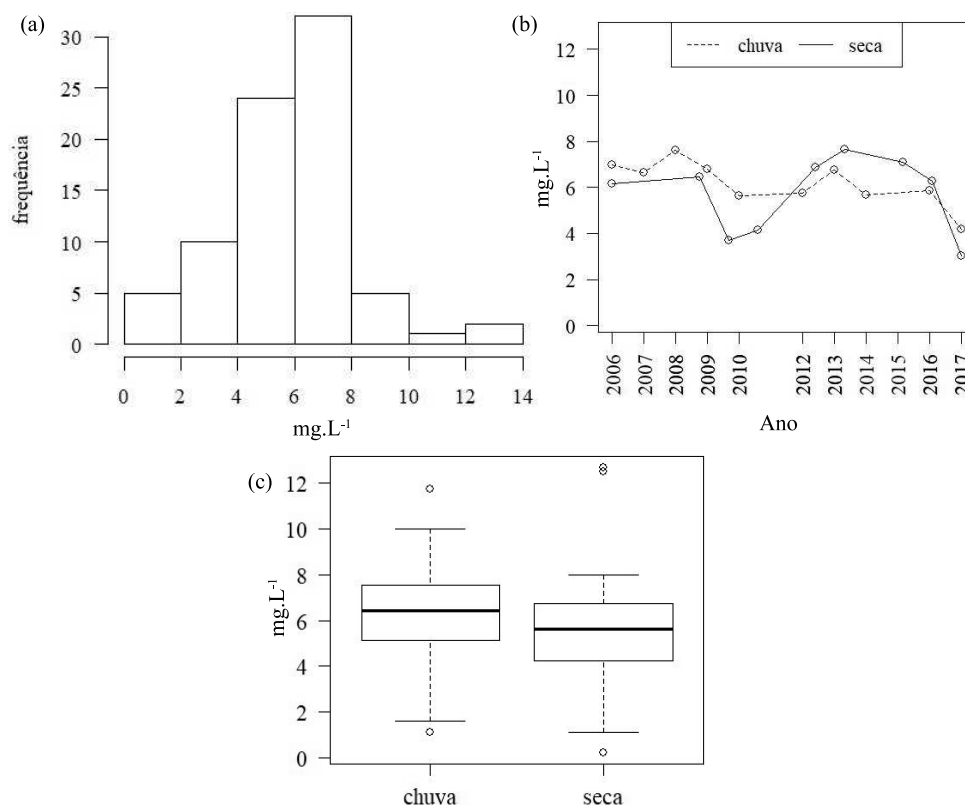
As principais causas de diminuição do nível de oxigênio em ambientes aquáticos são o consumo pela oxidação da matéria orgânica, respiração dos organismos e trocas gasosas com a atmosfera. Outros processos como a nitrificação e a oxidação química de substâncias como íons metálicos de ferro e manganês também consomem oxigênio. As fontes naturais de matéria orgânica a ser oxidada em ambientes aquáticos são de origem biológica, porém as interferências humanas, principalmente por meio do despejo de efluentes, ou mesmo pelo carreamento de nutrientes provenientes de atividades agropecuárias, potencializam o consumo de oxigênio. Alguns processos naturais também ajudam a oxigenar naturalmente a água, como a fotossíntese e a aeração promovida pelo fluxo em cursos d'água, principalmente naqueles rasos e/ou encachoeirados. [75, 76]

A Figura 28 em (a) mostra o histograma das leituras de concentração do oxigênio dissolvido, em (b) mostra a evolução temporal das médias das leituras para as estações de chuva e seca, em (c) os boxplots por estação de chuva e seca, com a linha do limite inferior conforme a Resolução Conama nº 357/05 (6 mg.L^{-1}).

Segundo a Resolução Conama nº 357/05, para águas de classe 1 o valor do OD não deve ser inferior a 6 mg.L^{-1} . A mediana, como se observa na Figura 28(a) e (b), esteve acima desse valor ($6,20 \text{ mg.L}^{-1}$). Porém 38 leituras foram registradas em valores mais baixos, em alguns casos resultando em médias anuais por estação abaixo de 6 mg.L^{-1} , o que pode ser explicado, a princípio, pelo período de amadurecimento do lago. Conforme relatado por Machado em [19] a área da represa de Chapéu D'Uvas foi inundada, a partir de 1995, sem que fosse retirada a vegetação. Em represas assim, devido à quantidade de fitomassa inundada, grande parte do oxigênio dissolvido é consumido na decomposição dessa matéria orgânica. Assim, nos primeiros anos de inundação há baixa concentração de oxigênio dissolvido na água, e os ciclos de chuva e estiagem pouco interferem nessa situação. Depois de alguns anos, a fase de baixas concentrações de OD passa a ser restrita ao período de estiagem. [75]

A Figura 28(c) ilustra que as leituras do parâmetro OD foram mais altas na estação chuvosa, acima do limite mínimo da Resolução Conama nº 357/05, enquanto a mediana

Figura 28 – Oxigênio Dissolvido (concentração): (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



da estação seca estava abaixo de $6,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Entretanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indica que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,0841$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,12$ nem maior que $1,55 \text{ mg.L}^{-1}$, podendo, então, ser zero.

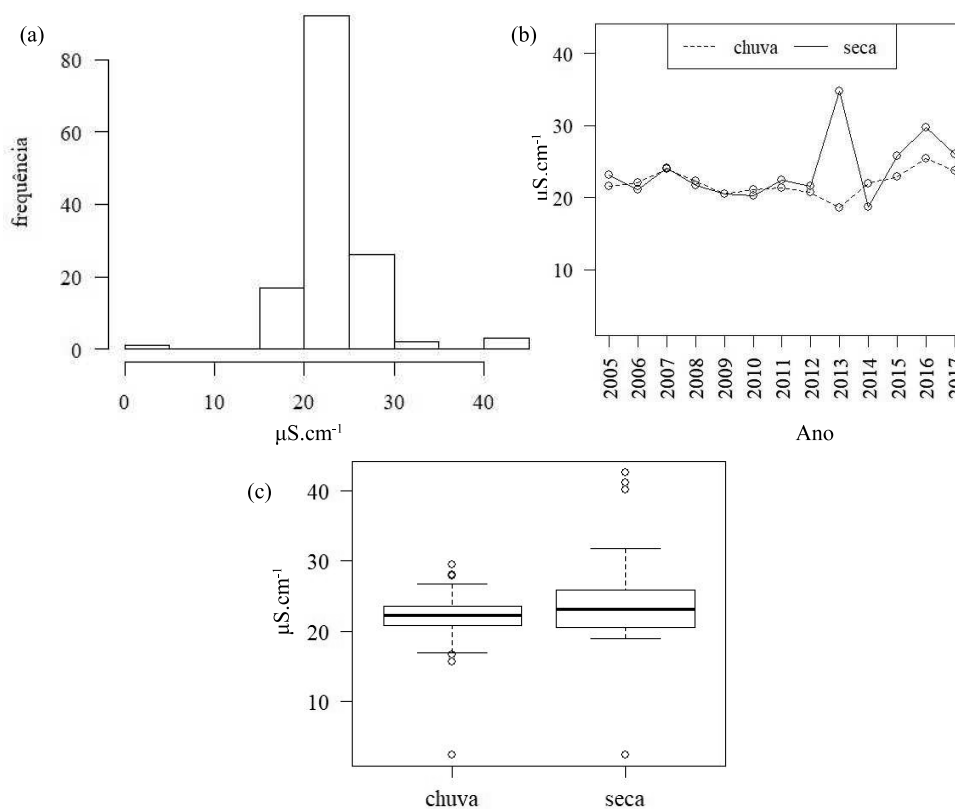
4.2.1.2 Condutividade Elétrica (CE)

A condutividade elétrica expressa a capacidade da água conduzir corrente elétrica. É afetada pela concentração de íons dissolvidos e pela presença de sólidos inorgânicos dissolvidos, como cloreto, sulfato, sódio, cálcio e outros. Como explica Straškraba [72], o comportamento dos minerais dependem basicamente, dos movimentos da água e da sua mistura, não participam intensivamente dos processos químicos-biológicos do reservatório. Sendo assim, conservadores, parâmetros como a condutividade são bons indicadores naturais. A condutividade sofre influência da temperatura e do pH, temperaturas mais elevadas tendem a aumentá-la. Outra característica importante é a geologia da bacia pois, águas que correm por leitos de rocha de granito tendem a apresentar valores mais baixos de condutividade que as águas de leitos calcários e argilosos. O aporte da água subterrânea, as quais são fortemente ionizadas a partir de minerais dissolvidos, também aumenta a condutividade nos corpos superficiais. Como fontes artificiais, podem alterar a

condutividade da água os despejos de efluentes industriais e a drenagem de áreas urbanas e agropecuárias. Por exemplo, a lixiviação em áreas com atividades agropecuárias ou o lançamento de esgotos domésticos fazem aumentar a condutividade, isto devido aos íons adicionais de Cl^- , fosfato (PO_4) e NO_3^- . Por outro lado, a presença de óleos ou adição de outros compostos orgânicos diminuiria a condutividade da água, uma vez que esses elementos não se decompõem em íons. [77, 78]

Do ponto de vista limnológico, esta é uma das variáveis mais importantes uma vez que pode fornecer informações tanto sobre o metabolismo do sistema aquático como dos processos que ocorrem na bacia de drenagem do corpo hídrico. A condutividade pode ajudar a conhecer sobre a magnitude da concentração iônica, a detectar fontes poluidoras e a avaliar as diferenças geoquímicas dos afluentes de um corpo d'água. [79]

Figura 29 – Condutividade elétrica: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



A Figura 29(a) e (b) mostra que a mediana das leituras de condutividade está em $22,43 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. A Resolução Conama nº 357/05 não define limites para este parâmetro. A Cetesb [80] afirma que valores acima de $100 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ indicam ambientes impactados. Por outro lado, a USEPA [78], considerando a influência das características naturais do meio sobre a condutividade das águas superficiais, como o influxo de águas subterrâneas, não define limites claros. Ainda explica que este parâmetro é um bom indicador de mudanças no sistema hídrico. Uma vez que a maioria dos corpos d'água mantém uma condutividade razoavelmente constante, esta pode ser utilizada como uma referência para comparação

de medições, no mesmo corpo hídrico, ao longo do tempo. Nos USA, por exemplo, a condutividade da água potável varia entre 50 e 1.500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. [81] No Brasil, nem mesmo a Portaria do Ministério da Saúde nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011 (Portaria MS nº 2.914/11), a qual define em seus anexos os padrões de potabilidade e qualidade da água para consumo humano, define limites para este parâmetro. A leitura máxima registrada nos dados históricos da captação da represa foi de 42,5 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Conforme a Figura 29(c) as leituras de condutividade não se diferenciaram por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indica que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,05168$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -2,19 nem maior que 2,93 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, limites praticamente insignificantes considerando as leituras registradas.

4.2.1.3 *Potencial Hidrogeniônico (pH)*

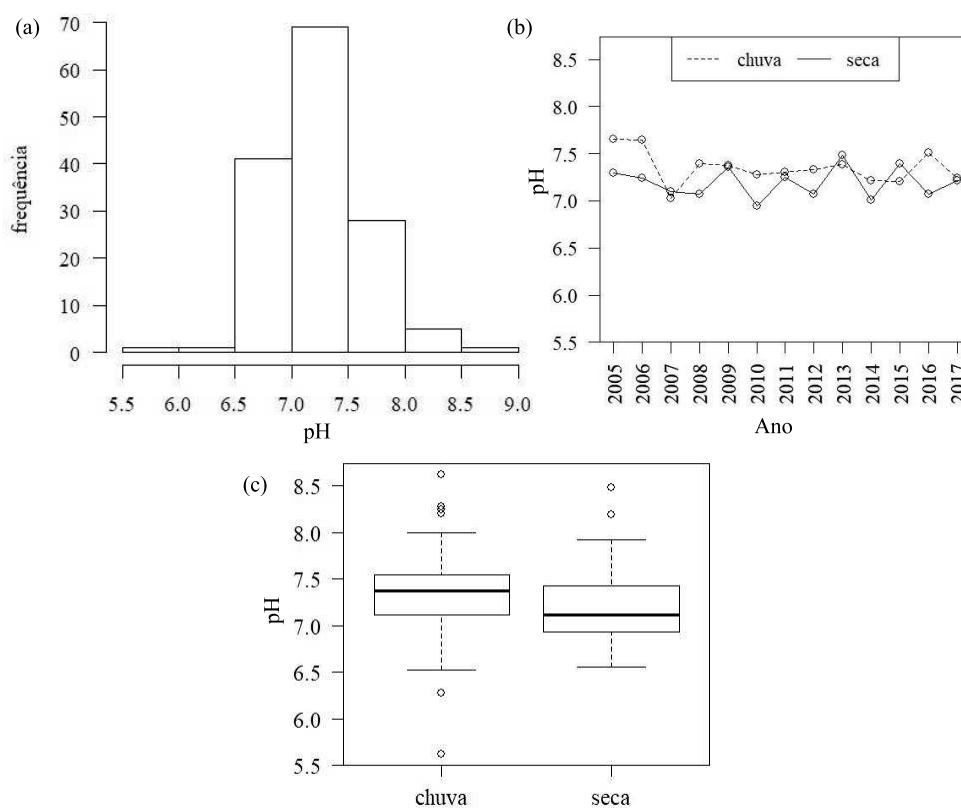
Segundo Esteves e Marinho em [82], os valores do potencial hidrogeniônico (pH) dos corpos d'água continentais, em geral, variam entre 6 e 8,5. Porém, valores extremos podem ser encontrados em regiões peculiares, como os valores mais altos encontrados (alcalinos) em águas ricas em sais de carbonato ou sob influência da água do mar, assim como valores baixos (ácidos), com leituras em torno de 5, que apresentam solos ácidos ou em ecossistemas de águas ricas em substâncias húmicas.

Causas naturais para alteração no pH podem estar associadas à dissolução de rochas, absorção de gases da atmosfera, fotossíntese e oxidação da matéria orgânica. O valor do pH tem importante relação com as comunidades vegetais e animais no meio aquático devido a seus efeitos na fisiologia de diversas espécies. Assim como o metabolismo destes organismos interfere no pH, o pH interfere de diferentes maneiras no metabolismo dos mesmos. Já as causas por intervenção humana estão relacionadas, por exemplo, ao despejo de esgotos domésticos - o que aumenta a quantidade de matéria orgânica a ser oxidada, despejos industriais, poluição atmosférica e chuva ácida. [82, 83]

A Figura 30 em (a) mostra que a maior frequência de leituras de pH estão entre os valores 6,5 e 8,0, com média em 7,28. Essas leituras estão dentro do limite da Resolução Conama nº 357/05 a qual estabelece, para águas de classe 1, que o pH deve estar entre 6,0 e 9,0. Apenas uma leitura (5,62) foi registrada fora deste intervalo. Em (b) se observa as médias anuais para as estações de chuva e seca.

As leituras de pH foram significativamente maiores na estação chuvosa, como se vê na Figura 30(c). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indica que as medianas são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,0065$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 0,04 nem maior que 0,30, o que, na prática, não representa diferença nas condições do meio em relação ao pH.

Figura 30 – Potencial Hidrogeniônico: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



4.2.1.4 Nitrogênio total (NT)

O nitrogênio, assim como o fósforo, é um nutriente importante para o metabolismo e a formação de biomassa. É indispensável e pode ser limitante para o crescimento de algas e outros microorganismos. [84]

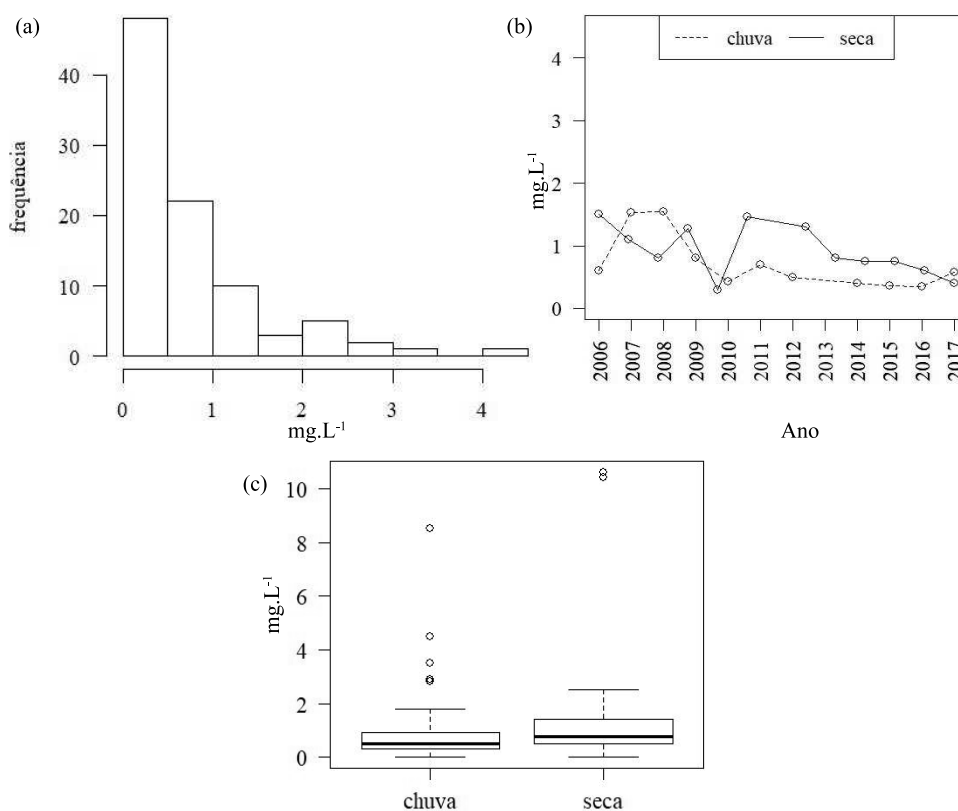
As principais fontes de nitrogênio nos lagos e reservatórios são a fixação biológica, chuvas e tempestades e o aporte dos ecossistemas adjacentes. E ainda pode haver aporte pelas atividades humanas por meio do lançamento de efluentes domésticos e industriais, bem como a lixiviação de áreas agrícolas da bacia de drenagem. Altas concentrações de N podem levar à proliferação de organismos produtores e à elevação na concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros micro-organismos mortos, consumindo altas taxas de oxigênio dissolvido, provocando eventuais condições de anaerobiose, o que pode levar à morte de alguns organismos. Outra consequência que pode ser observada, no caso de mananciais de abastecimento, é o aumento dos custos de tratamento de água devido à toxicidade de muitas algas, remoção da própria alga, remoção da cor, de sabor e odor. [83] A interferência humana, principalmente com o despejo de esgoto e o carreamento de insumos agrícolas para os corpos hídricos pode aumentar a concentração desse nutriente, provocando assim a eutrofização, o crescimento excessivo de determinados organismos e consequentes desequilíbrios. [83] Como citado na

Seção 2.1.1.2, os solos da BCRC D são pobres em nitrogênio.

A Figura ??(a) mostra que as leituras de NT são, em geral, baixas, com mediana em $0,55 \text{ mg.L}^{-1}$. A Resolução Conama n° 357/05 não estabelece limites para este parâmetro, pois rege sobre as formas da série nitrogenada.

As leituras de NT não se diferenciaram por estação, como mostra a Figura ??(c). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,1169$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,40$ nem maior que $0,000006 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, em termos práticos, a diferença é nula.

Figura 31 – Nitrogênio Total: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



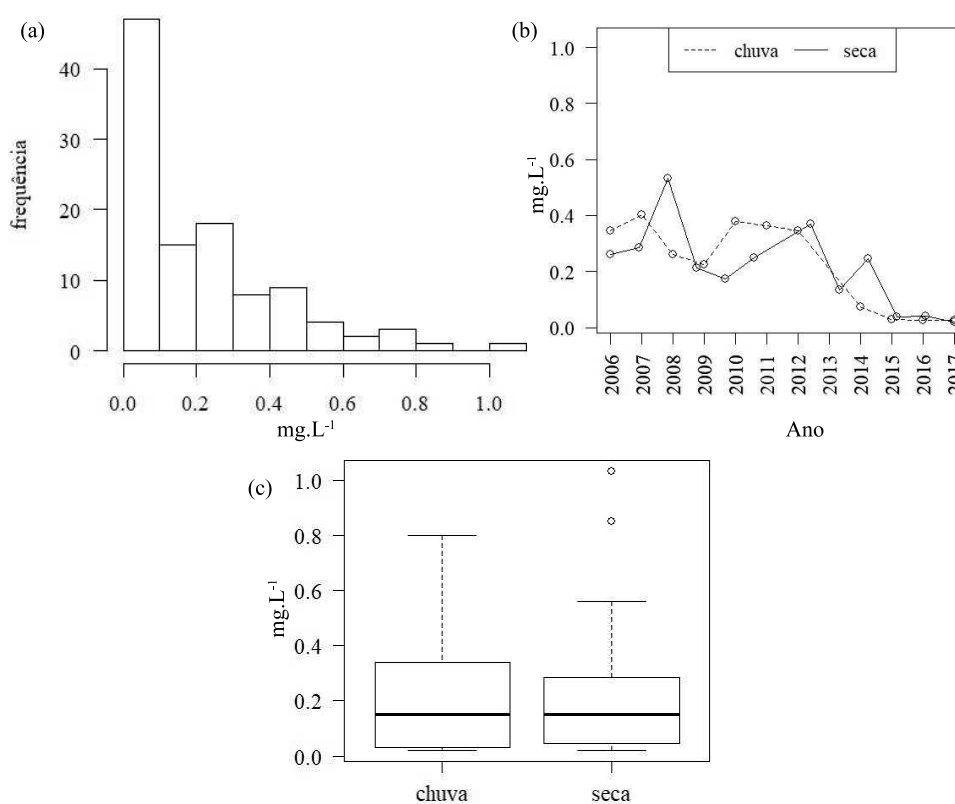
4.2.1.5 Fósforo total (FT)

Assim como o nitrogênio, o fósforo é importante para os sistemas biológicos, participando de diversos processos fundamentais dos seres vivos. Por ser um elemento menos abundante em corpos d'água, vem a ser um fator limitante em vários ecossistemas e indica o grau de fertilização do meio, os seja, as condições de eutrofização, justificando seu estudo. Entre as fontes naturais de fósforo está a liberação de fosfato a partir das rochas que formam a bacia de drenagem e a deposição de material particulado inorgânico e orgânico. [85]

As fontes artificiais estão associadas ao lançamento de esgotos domésticos, geralmente ricos em superfosfatos utilizados nos detergentes, na lixiviação de insumos agrícolas e alguns despejos industriais. [80]

A Resolução Conama nº 357/05 estipula o limite de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$ para os ambientes lênticos. Os valores de FT para a captação ficaram, no geral, acima deste limite, com mediana em $0,19 \text{ mg.L}^{-1}$. A Figura 32, em (a) mostra a distribuição das leituras de FT. Em (b) mostra as médias anuais também acima de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$. Foram registradas 109 leituras e destas, 90 estavam acima de $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$.

Figura 32 – Fósforo Total: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



Como se observa na Figura 32(c), as leituras de FT não se diferenciaram por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,8544$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,0500$ nem maior que $0,0499 \text{ mg.L}^{-1}$, podendo, então, ser zero.

4.2.1.6 Turbidez

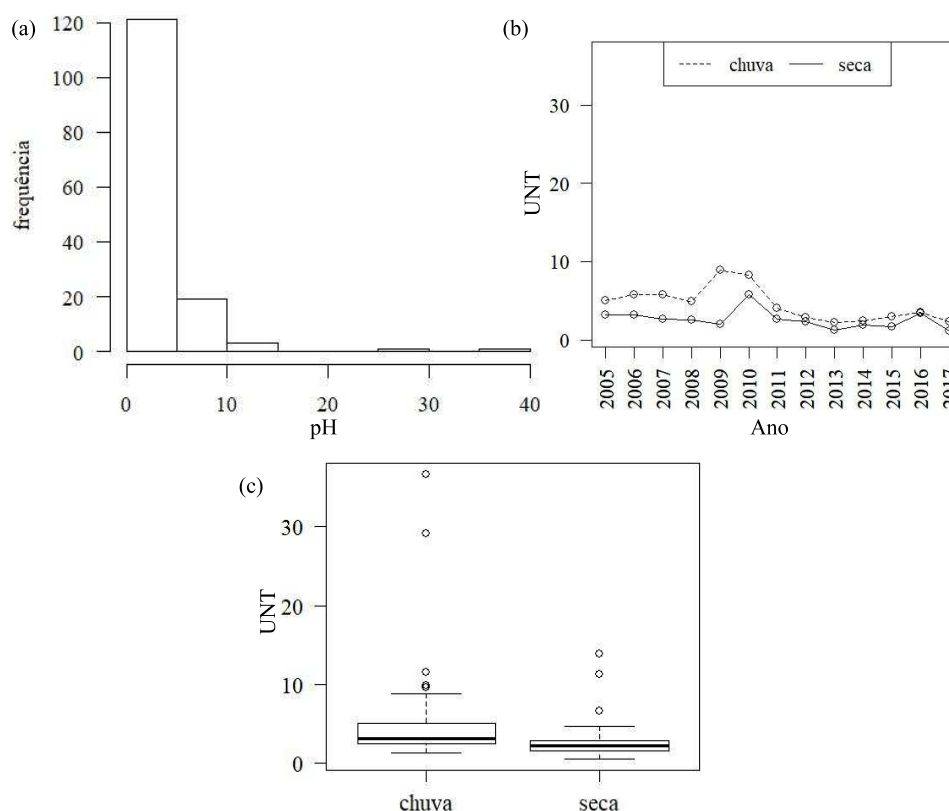
A turbidez é uma característica óptica da água que expressa a quantidade de luz que é espalhada ou absorvida pelo material presente na água quando atravessada por uma luz. Quanto maior a intensidade da luz dispersa, maior a turbidez, que é medida

em unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Entre os materiais que fazem com que a água seja turva estão os sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas de areia, silte e argila, de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, compostos orgânicos coloridos solúveis e outros organismos microscópicos. A elevação da turbidez de um corpo hídrico pode se dar pelo carreamento de materiais provenientes de processos erosivos nas margens, assim como lançamento de esgotos e efluentes industriais. [80, 83]

As altas concentrações de partículas aumentam a turbidez, afetam a penetração da luz, interferindo assim na fotossíntese das plantas aquáticas. Pode ainda reter mais calor, aumentando assim a temperatura da água, também diminui a concentração de oxigênio dissolvido. As partículas suspensas que turvam a água podem fornecer alimento e abrigo para agentes patogênicos, e assim, caso não seja removida na estação de tratamento de água, a turbidez pode promover o rebrote de agentes patogênicos no sistema de distribuição, levando a surtos de doenças transmitidas pela água. [80, 83]

A Figura 33 em (a) mostra que as leituras de turbidez são, em geral, baixas, com mediana em 2,57 UNT. A Resolução Conama nº 357/05 estipula, para classe 1, o limite de até 40 UNT e foi registrada apenas uma leitura acima deste limite. Em (b) se verifica as médias anuais por estação.

Figura 33 – Turbidez: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



As leituras de turbidez foram significativamente maiores na estação chuvosa, como se vê na Figura 33(c). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indica que as

medianas são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,0000007$). No entanto, há 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 0,69 nem maior que 1,62 UNT, o que, na prática, é uma diferença significativa considerando a ordem de grandeza das leituras registradas. Como relatado pela Cetesb em [80]

A erosão das margens dos rios em estações chuvosas é um exemplo de fenômeno que resulta em aumento da turbidez das águas e que exigem manobras operacionais, como alterações nas dosagens de coagulantes e auxiliares, nas estações de tratamento de águas. A erosão pode decorrer do mau uso do solo em que se impede a fixação da vegetação.

4.2.1.7 Ferro (*Fe*)

O ferro é um elemento muito frequente na superfície da terra e assim seus compostos são encontrados nos corpos d'água, sendo um nutriente indispensável ao metabolismo dos seres vivos. [79]

Sua concentração nas águas superficiais pode ser aumentada pelo carreamento do solo, devido a processos erosivos, e também por despejos de efluentes industriais, sendo importante parâmetro para a detecção de impactos das atividades humanas nos corpos hídricos. [80, 79]

A Figura 34(a) mostra que as leituras de Fe são, em geral, baixas, com mediana em $0,08 \text{ mg.L}^{-1}$. A Resolução Conama n° 357/05 estipula, para classe 1, o limite de até $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$. Apesar da mediana abaixo do limite da norma, 23 leituras de Fe ultrapassaram este limite. Como se observa na Figura 34(b) há médias anuais por estação, tanto na chuva quanto na seca, com valores acima de $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$.

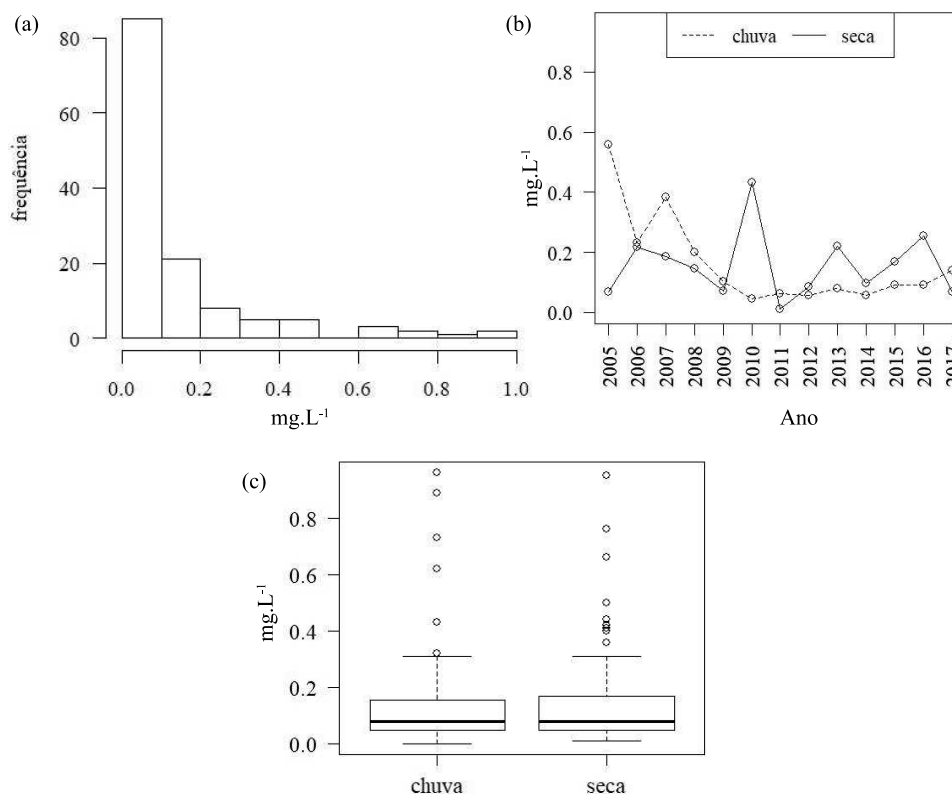
As leituras de Fe não se diferenciaram por estação, como se observa na Figura 34(b). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,695$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,02$ nem maior que $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, na prática, a diferença é nula.

4.2.1.8 Manganês (*Mn*)

Assim como o ferro, o manganês é um elemento muito frequente na superfície da terra e assim seus compostos são encontrados nos corpos d'água, sendo também um nutriente indispensável ao metabolismo dos seres vivos. [79]

Sua ocorrência natural nos corpos d'água pode ter a concentração aumentada pelo carreamento de solo como também pelos despejos de efluentes industriais. Em ambientes naturais raramente atinge concentrações de $1,0 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo mais frequentes

Figura 34 – Ferro: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



as concentrações em torno de $0,2 \text{ mg.L}^{-1}$. A Resolução Conama n^o 357/05 estipula, para classe 1, o limite para o manganês de até $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$.

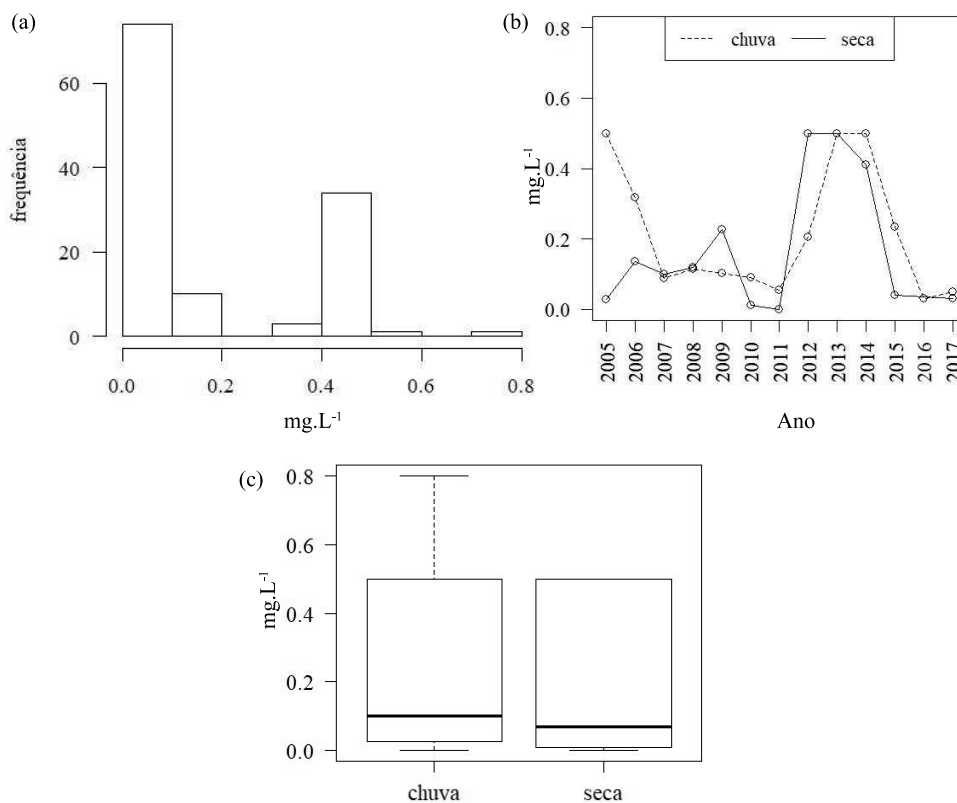
A Figura 35(a) mostra que as leituras de manganês são, em geral, baixas, com mediana em $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$. Porém, 51 leituras ficaram acima do limite da Resolução Conama n^o 357/05 ($0,1 \text{ mg.L}^{-1}$).

Assim como ocorreu com o ferro, as leituras de manganês não se diferenciaram por estação, conforme Figura 35(b). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,4128$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,00003$ nem maior que $0,04 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, na prática, a diferença é insignificante.

4.2.1.9 Cloreto (Cl^-)

Os íons cloreto fazem parte de importantes processos fisiológicos nas comunidades aquáticas, provocam alterações na pressão osmótica em células de microrganismos. [79, 80] Presente nos solos e rochas, também tem origem pela ação humana no lançamento de esgotos sanitários. Segundo a Cetesb em [80], "cada pessoa expele através da urina cerca 6 g de cloreto por dia, o que faz com que os esgotos apresentem concentrações de cloreto

Figura 35 – Manganês: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



que ultrapassam a 15 mg/L."

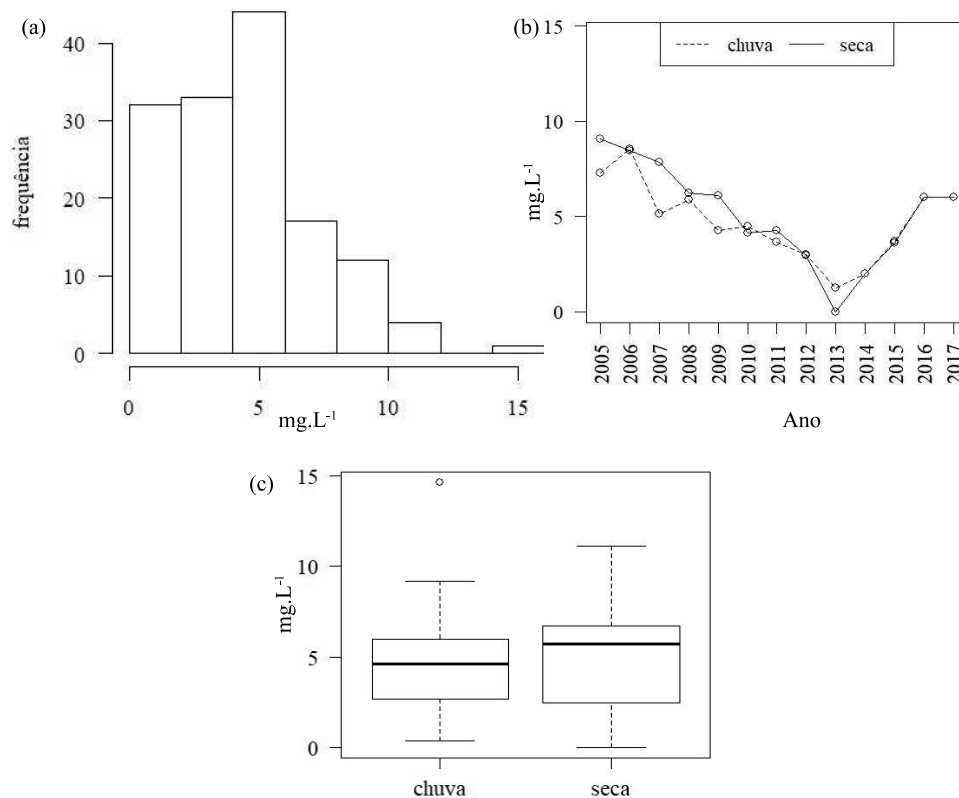
A Resolução Conama n^o 357/05 estipula, para classe 1, o limite para o cloreto de até 250 mg.L⁻¹. A Figura 36(a) mostra que as leituras de cloreto são, em geral, muito baixas, com mediana em 6,0 mg.L⁻¹, sendo que nenhuma leitura foi registrada acima do limite da referida norma. Figura 36(b) ilustra o comportamento das médias anuais por estação ao longo dos anos.

A Figura 36(b) mostra que as leituras do ânion cloreto não se diferenciaram por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,4243$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -1,28 nem maior que 0,32 mg.L⁻¹, ou seja, pode ser zero.

4.2.1.10 Dureza

A dureza da água está relacionada com o somatório das concentrações dos íons Ca⁺² e Mg⁺². Em regiões com solos ou sedimentos com concentrações de carbonatos muito baixas, geralmente apresentam pH neutro e águas "moles", ou seja, concentração de CaCO₃ inferior a 75 mg.L⁻¹. [82] Como citado na Seção 2.1.1.2, os solos da BCRC D são pobres

Figura 36 – Cloreto: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca

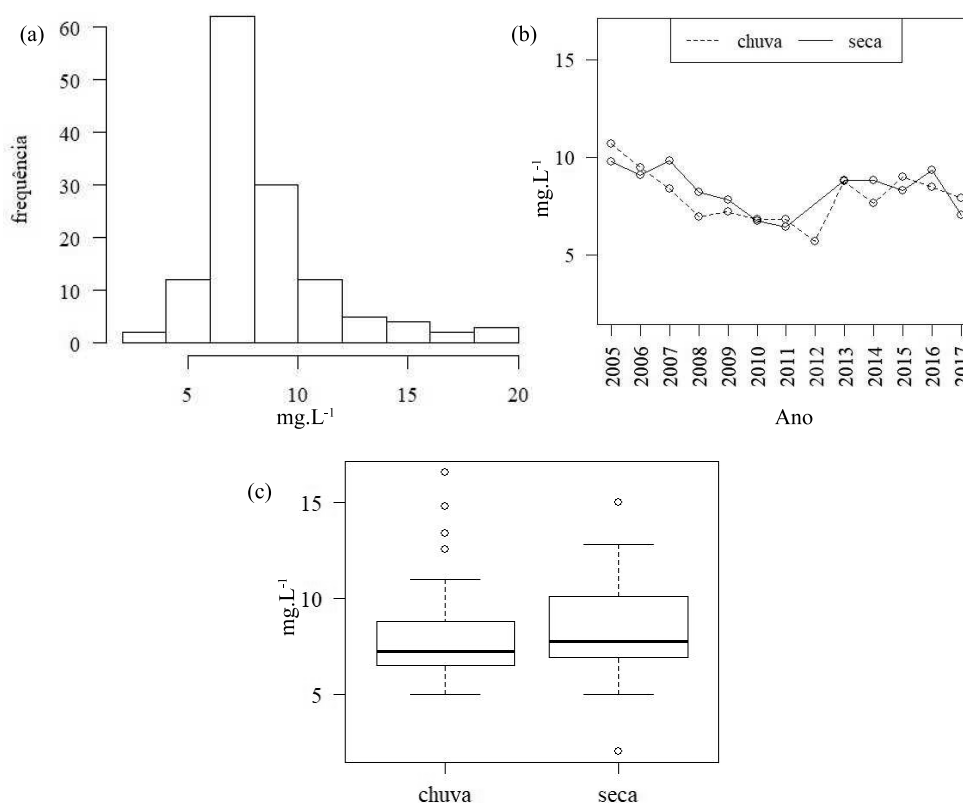


em Ca^{+2} e Mg^{+2} . Este é o cenário da BCRCDD, e os resultados das medições de dureza, conforme Figura 37(a), evidenciam isto. A mediana está em $7,6 \text{ mg.L}^{-1}$. A Figura 37(b) ilustra o comportamento das médias anuais para as estações de chuva e seca.

A dureza da água pode causar problemas de incrustação em tubulações e equipamentos do sistema de distribuição. Sobre impactos na saúde humana, não há associação clara. Todavia tem influência sobre as propriedades organolépticas (sabor) da água potável. Sendo assim, a Portaria MS nº 2.914/11 estabelece para a dureza da água potável o limite máximo de 500 mg.L^{-1} de CaCO_3 , valor este muito acima do encontrado nas amostras apresentadas na Figura 37.

As leituras de dureza da água não se diferenciaram por estação, como se observa na Figura 37(b). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,09989$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-1,15$ nem maior que $0,10$, valores pouco representativos, na prática, frente às leituras registradas.

Figura 37 – Dureza: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



4.2.1.11 Oxigênio Consumido (OC)

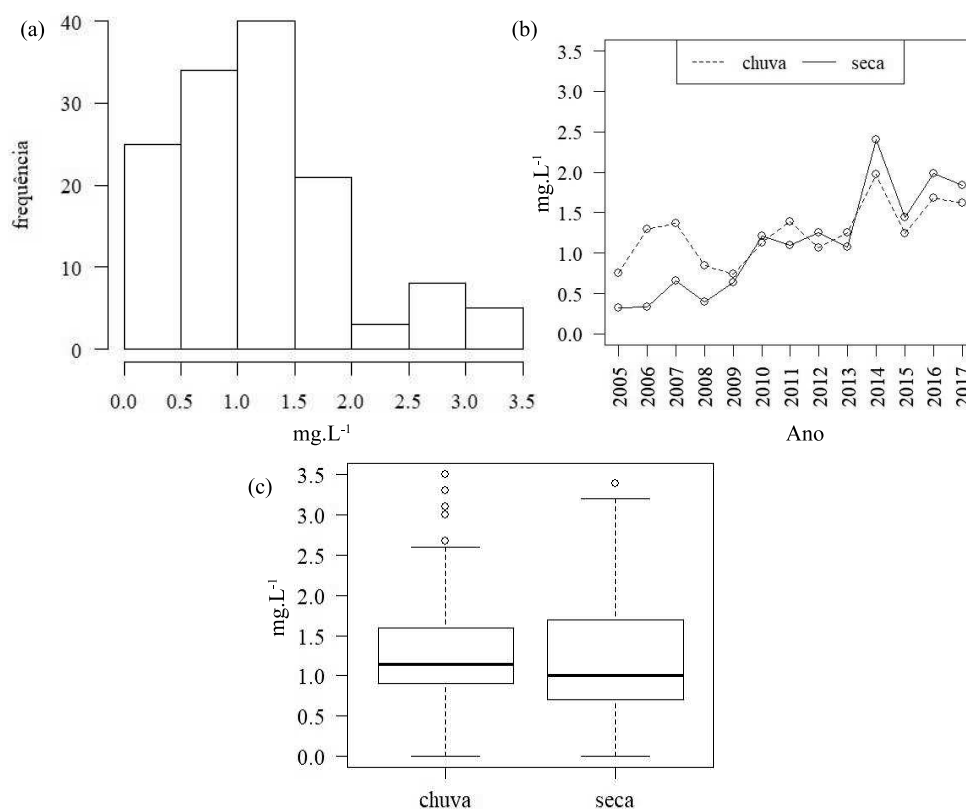
A medida deste parâmetro fornece informação sobre a quantidade de matéria orgânica que é oxidável na amostra. Quimicamente, o OC tem o mesmo significado que a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a qual mede a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Porém, a determinação do OC é mais indicada para águas com menor concentração de matéria orgânica, enquanto a DQO para águas com maior quantidade de matéria orgânica. Assim, o OC é um bom indicador de qualidade da água [86]. Não há definições nem limites legais para este parâmetro, embora quanto menor seu valor, menor a carga orgânica a ser oxidada e melhor então a qualidade da água. Como referência, tem-se que águas com leitura de OC acima de 5 mg.L⁻¹ de O₂ são consideradas com maior teor de carga orgânica. [86]

A Figura 38, em (a) mostra que as leituras de OC são, em geral, baixas, com mediana em 1,1 mg.L⁻¹. Em (b) se observa o comportamento das médias anuais por estação de chuva e seca.

Na Figura 38(c) se observa que as leituras de OC não se diferenciaram por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,3062$), com 95% de confiança que a diferença entre

as medianas não é menor que $-0,10$ nem maior que $0,34 \text{ mg.L}^{-1}$, ou que, na prática, considerando as leituras registradas, a diferença é nula.

Figura 38 – Oxigênio Consumido: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



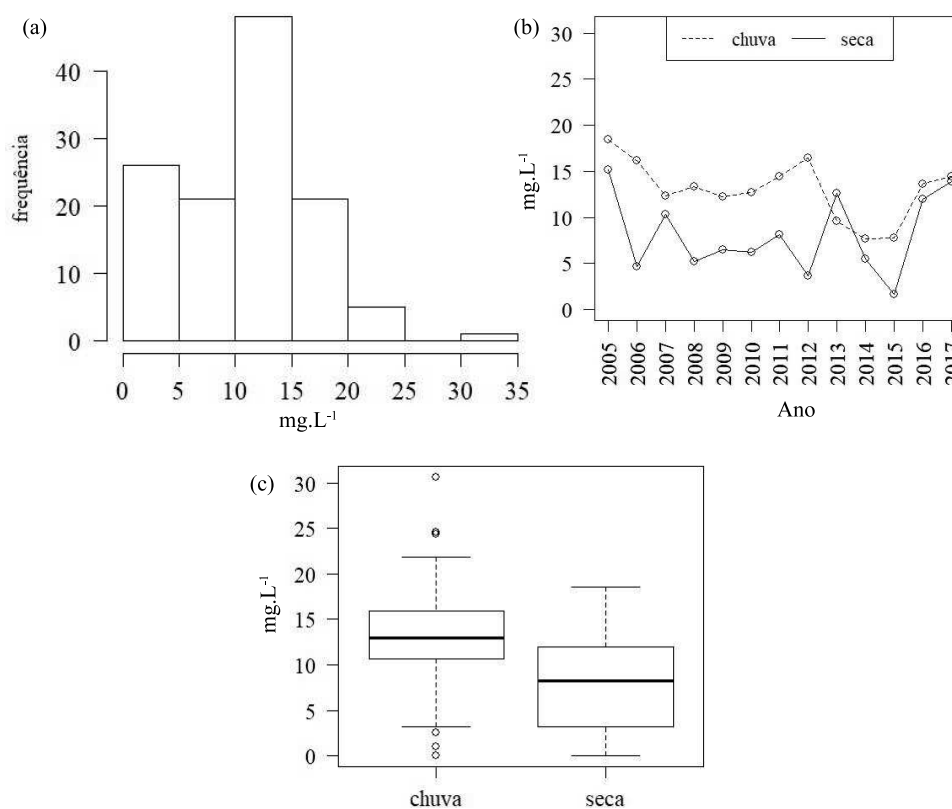
4.2.1.12 Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio ($DBO_{5,20}$) é um indicador da quantidade de oxigênio que é consumida pelos microorganismos existentes no corpo d'água para a degradação/oxidação da matéria orgânica, e assim transformar essa matéria numa forma inorgânica estável. Sua leitura corresponde à diferença de concentração de OD numa amostra medida antes e depois de um período de incubação de 5 dias, a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ou seja, corresponde à fração biodegradável dos compostos presentes na amostra analisada. Desse modo, este parâmetro é um indicador indireto da quantidade de matéria orgânica presente na água, sendo importante para o controle das estações de tratamento de água e esgoto. [80]

As fontes naturais de matéria orgânica de um corpo d'água podem ser potencializadas com o aporte de nutrientes por despejos de esgotos e lixiviação de nutrientes dos solos agrícolas, o que aumenta a produção primária no ecossistema aquático, alterando seu equilíbrio. Além disso, essas fontes externas também levam mais carga orgânica para o corpo hídrico e o aumento desta carga pode levar ao esgotamento do oxigênio dissolvido na água, provocando o colapso de organismos aeróbios. [80, 83]

A Resolução Conama nº 357/05 estipula, para classe 1, o limite para o parâmetro $\text{DBO}_{5,20}$ de até 3 mg.L^{-1} de O_2 para os corpos d'água da classe 1. A Figura 39(a) mostra que as leituras de $\text{DBO}_{5,20}$ são, em geral, mais elevadas, com mediana em 12 mg.L^{-1} . Foram registradas 110 leituras acima do limite da Resolução Conama nº 357/05, afetando também as médias anuais por estação, como se observa na Figura 39(b). Conforme já explicado sobre a decomposição da matéria orgânica inundada pela represa, é esperado um maior consumo do OD e assim uma maior leitura de $\text{DBO}_{5,20}$. Mas, o lançamento de esgotos e a lixiviação das áreas agrícolas e silvicultura na bacia também devem ser considerados como causadores do aumento da $\text{DBO}_{5,20}$.

Figura 39 – Demanda Bioquímica de Oxigênio: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



A Figura 39(c) evidencia que as leituras de $\text{DBO}_{5,20}$ foram significativamente maiores na estação chuvosa. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indica que as medianas são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,00006$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 2,2 nem maior que $6,6 \text{ mg.L}^{-1}$, intervalo que, na prática, frente às leituras registradas, é representativo. Com a maior incidência de chuvas no período, os nutrientes presentes no solo da bacia depositados pelas atividades agrícolas e a silvicultura, bem como os dejetos das atividades agropecuárias são arrastados para os corpos d'água por lixiviação, o que aumenta a carga orgânica na represa e, por consequência, a $\text{DBO}_{5,20}$.

4.2.1.13 *Coliformes Totais (CT)*

Dentro do grupo coliforme há bactérias chamadas de termotolerantes, presentes no intestino humano e de animais (coliformes termotolerantes), e que, por conseguinte, da sua potencialidade de transmitir doenças e veiculação hídrica, tais como febre tifóide, febre paratifóide, desintéria bacilar e cólera. Há ainda as bactérias de vida livre, podendo ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. Por isso, na avaliação da qualidade de águas naturais, os coliformes totais têm valor sanitário limitado, embora possa indicar excesso de nutrientes disponíveis na água. [80, 83, 87]

A Resolução Conama nº 357/05 não define limite para os coliformes totais. A Figura 40(a) mostra que as leituras de CT são, em geral, mais elevadas. As análises realizadas pela Cesama utilizam a técnica do número mais provável (NMP) para a quantificação destas bactérias. Verifica-se que a mediana está acima de 2.419,20 NMP.100ml⁻¹ de amostra. Estes valores alertam para os efeitos do lançamento de esgotos na BCRCO e do transporte dos dejetos das atividades agropecuárias. Na Figura 40(b) se verifica o comportamento das médias anuais por estação de chuva e seca.

Na Figura 40(c) se observa que as leituras de CT não se diferenciaram por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,6202$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -0,00005 nem maior que 19 NMP.100ml⁻¹ de amostra, ou seja, pode ser zero.

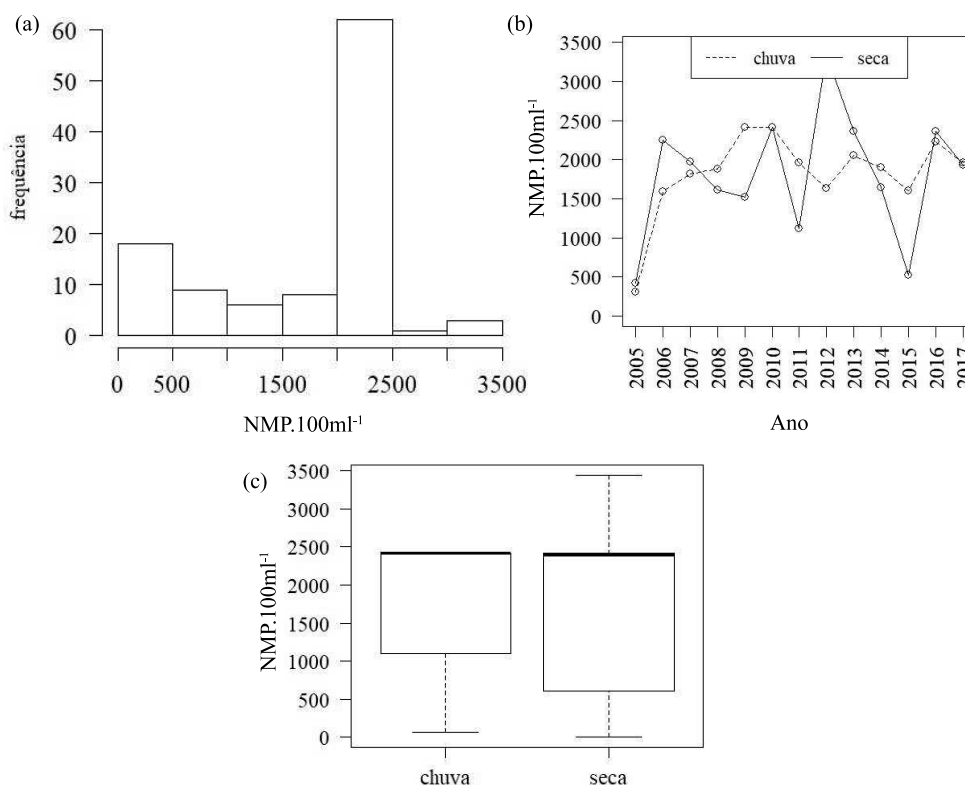
4.2.1.14 *Escherichia coli (E. coli)*

Escherichia coli é uma bactéria do grupo dos coliformes termotolerantes que habita normalmente no intestino humano e no de alguns animais endotérmicos. Este parâmetro é considerado o mais específico indicador de contaminação fecal recente e de eventual presença de organismos patogênicos. A presença desta bactéria pode oferecer riscos à saúde ao causar infecção gastrointestinal ou infecção urinária, entre outros problemas. [88]

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece, para classe 1, que "a *E. Coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente". Em Minas Gerais, a DN Copam/CERH nº01/2008, estabelece que "a *E. coli* poderá ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes observando-se os mesmos limites". Ou seja, "não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral".

A Figura 41(a) mostra que as leituras de *E. coli* são, em geral, mais baixas. As

Figura 40 – Coliformes Totais: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca

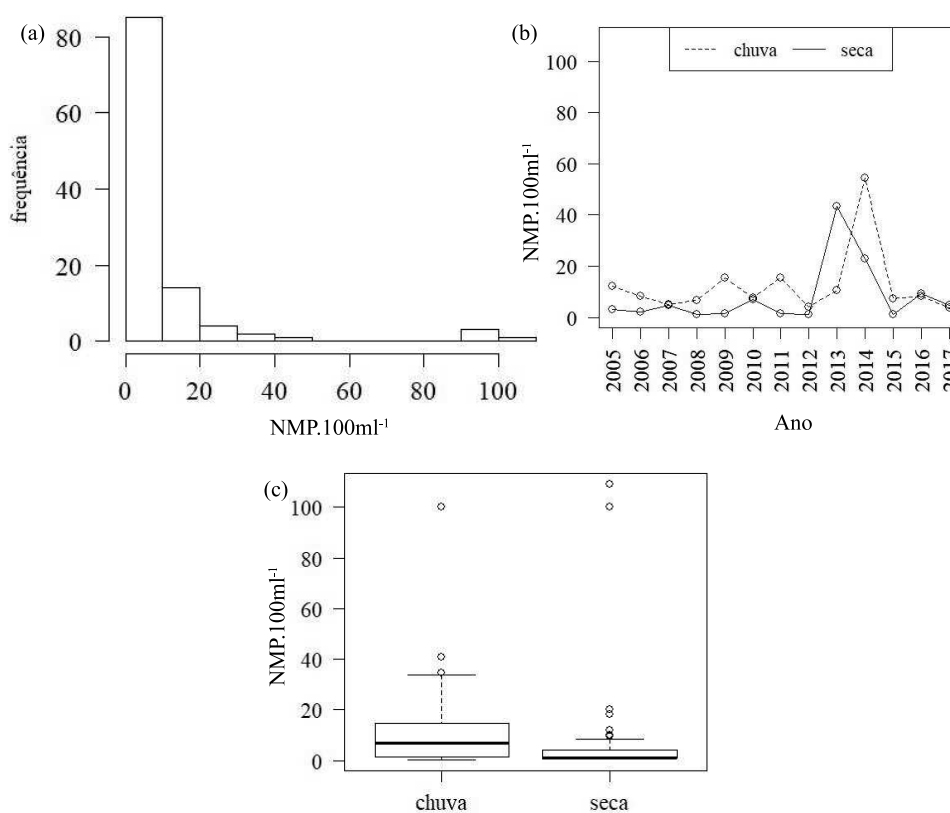


análises realizadas pela Cesama utilizam a técnica do número mais provável (NMP) para a quantificação de *E. coli*. Verifica-se que a mediana está em 3,10 NMP.100ml⁻¹. Apenas 4 leituras tiveram valores acima de 200 NMP, contudo sem representar "80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral". Na Figura 41(b) se observa as baixas médias anuais por estação de chuva e seca. Estes valores mostram que, apesar das altas concentrações de coliformes totais encontradas, as leituras do grupo de coliformes capaz de provocar doenças são baixas, obedecendo aos padrões legais, sem contudo dispensar a atenção para o controle dos despejos de esgotos no manancial.

A Figura 41(c) mostra que as leituras de *E. coli* foram maiores na estação chuvosa. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,0007$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 0,1 nem maior que 6,39 NMP.100ml⁻¹. Com a maior ocorrência de chuvas, mais dejetos são arrastados para os corpos hídricos.

O formato do boxplot, com se vê na Figura 41(c), compacto com valores de *outliers* maiores até que 100 NMP.100ml⁻¹, pode estar relacionado tanto à real presença deste tipo de coliforme na água, devido ao despejo de esgotos na bacia, quanto também por contaminações na coleta ou análise. Por ser uma bactéria abundante no corpo humano, presente, por exemplo, também na saliva, a possibilidade de contaminação neste tipo de

Figura 41 – *Escherichia coli*: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



análise não pode ser desconsiderada.

4.2.1.15 Densidade de Cianobactérias

As cianobactérias desempenham papel importante no ciclo do nitrogênio (N), pois possuem capacidade de utilizar o N₂ com fonte de N para seu metabolismo. Fazem assim a fixação biológica do N, sendo que a taxa de fixação pelas cianobactérias está normalmente ligada a sua biomassa. São principalmente autotróficas, realizando fotossíntese, mas também podem ser mixotróficas, com assimilação de compostos orgânicos, o que possibilita que estas algas possam viver em partes profundas de lagos na ausência de luz. [89]

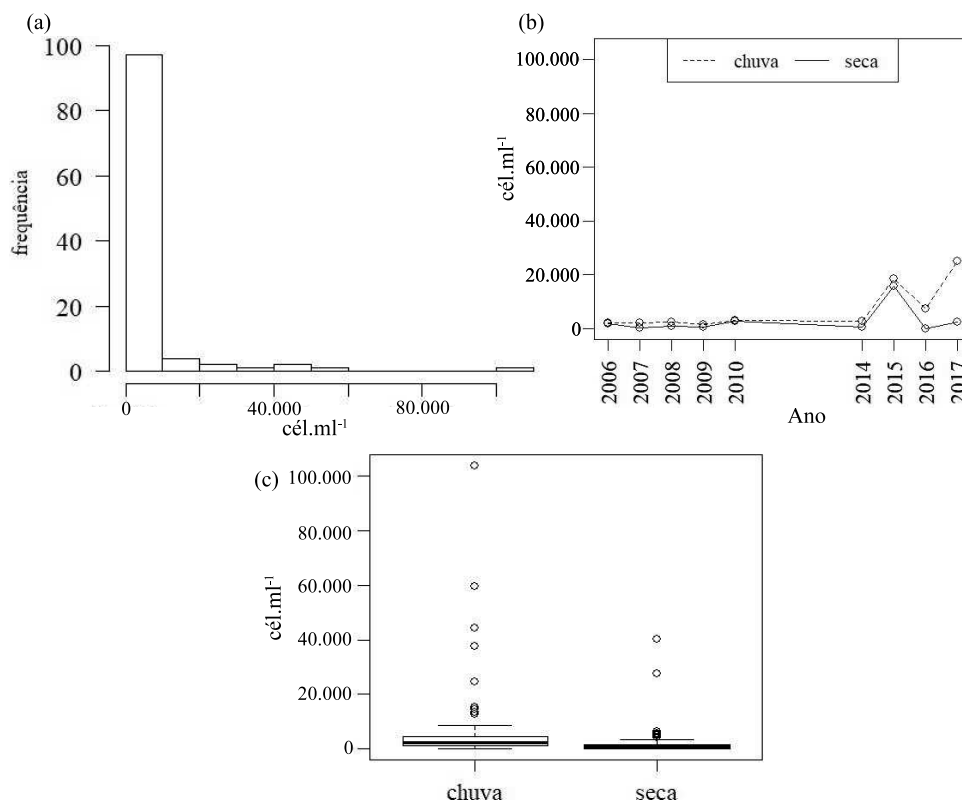
A presença de algumas espécies em altas densidades pode comprometer a qualidade das águas, causando restrições ao seu tratamento e distribuição. O grupo das Cianobactérias (Cianofíceas) merece especial atenção por possuir espécies potencialmente tóxicas, capazes de produzir cianotoxinas como hepatotoxinas e neurotoxinas. [80, 19]

A Resolução Conama nº 357/05 limita a densidade de cianobactérias, para águas de classe 1, a 20.000 cél.ml⁻¹. Nos dados fornecidos pela Cesama há 109 leituras deste parâmetro, sendo registradas apenas 7 ocorrências com densidade acima do limite da referida norma, sendo a maior leitura no valor de 103.824 cél.ml⁻¹ (em março de 2017). A concessionária mantém vigilância deste parâmetro, bem como das cianotoxinas, tanto na

captação quanto na entrada da estação de tratamento Marechal Castelo Branco, garantindo a segurança do tratamento de água.

A Figura 42(a) mostra que as leituras de cianobactérias, em geral, mais baixas. Na Figura 42(b) se observa as médias anuais por estação de chuva e seca são baixas.

Figura 42 – Densidade de cianobactérias: (a) histograma 2005 - 2017; (b) média anual chuva e seca; (c) boxplot chuva e seca



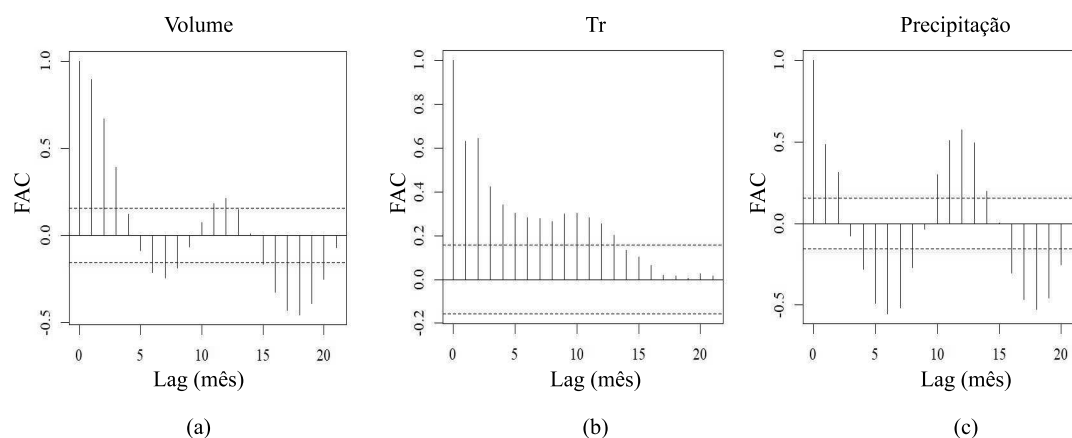
A Figura 42(c) mostra que as leituras de *E. coli* foram maiores na estação chuvosa. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são diferentes por estação para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,00001$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 701 nem maior que 2.074 cél.ml⁻¹. A estação chuvosa propicia maior incidência de luz, maiores temperaturas e maior aporte de nutrientes pela lixiviação. Estes fatores são importantes por favorecerem a floração de cianobactérias. [89, 90] A forma do boxplot, compacto em valores próximos de zero e *outliers* acima de 20.000 cél.ml⁻¹, se deve ao fato de que na maior parte das leituras não foram detectadas cianobactérias, porém, florações com o aumento descontrolado do fitoplâncton ocorrem em curto espaço de tempo, levando a leituras altas de densidade.

4.2.2 Correlações dos parâmetros de qualidade da água - dados históricos

Os dados históricos foram fornecidos pela Cesama apenas com informação do mês e ano, não sendo possível identificar o dia da coleta. Assim, os dados de volume, Tr e

precipitação foram obtidos com as médias mensais. Este tratamento não deverá trazer prejuízos à análise, pois, mesmo que a coleta tenha sido realizada em data mais próxima do início ou do final do mês, as variações serão pequenas uma vez que estas variáveis não apresentam comportamento estacionário, como se observa na Figura 43.

Figura 43 – Função de Auto Correlação das variáveis: (a) volume; (b) Tempo de residência; (c) precipitação - 2005/2017

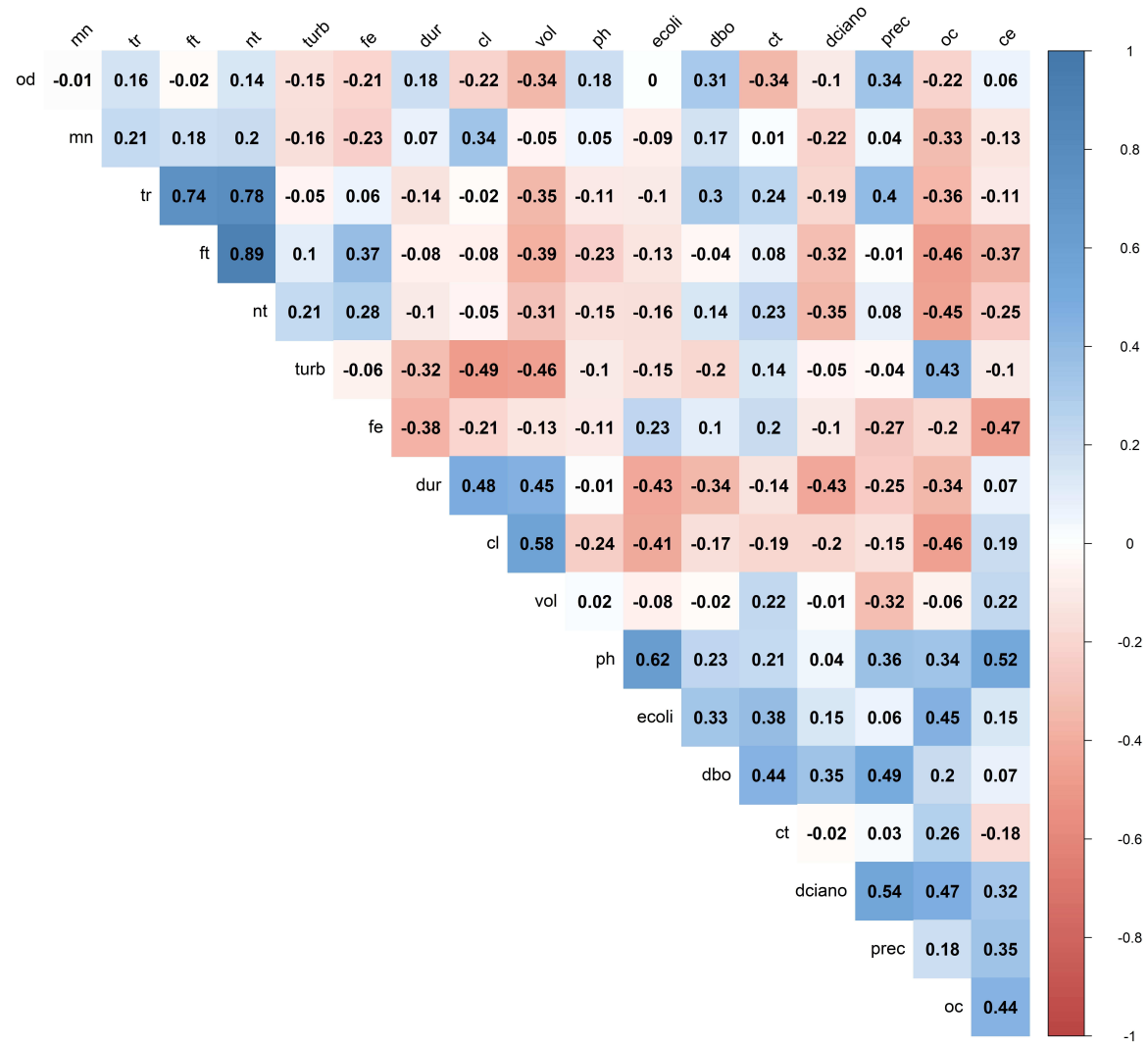


As variáveis volume e Tr se referem às médias mensais. A variável precipitação se refere ao acumulado mensal.

A Figura 43 apresenta o gráfico da Função de Autocorrelação das medidas do volume, o Tr e a precipitação, para um limite de significância de 5%. No gráfico, uma correlação forte indica que valores atuais correspondem aos valores no passado, conforme o Lag (escala de 1 mês). Quanto maior o valor da FAC, mais forte é a correlação. Deste modo, se pode observar nos gráficos que os valores de cada mês são correlacionados com o mês anterior.

A Figura 44 apresenta a matriz de correlação das variáveis.

Figura 44 – Correlograma - parâmetros de qualidade da água - dados históricos - 2005/2017



Parâmetros: (ce) CE; (cl) cloreto; (ct) CT; (dbo) DBO_{5,20}; (dur) dureza; (ecoli) *E. Coli*; (fe) Fe; (ft) FT; (mn) Mn; (nt) NT; (oc) OC; (od) OD; (ph) pH; (prec) precipitação acumulada mensal; (tr) tempo de residência em dias; (turb) Turbidez; (volume) Volume da represa.

Como se observa na Figura 44, há poucas correlações fortes entre os parâmetros de qualidade da água. Serão discutidas aqui apenas as correlações moderadas (ρ entre 0,5 e 0,69; ou -0,5 a -0,69), fortes (ρ entre 0,7 e 0,89; ou -0,7 a -0,89) e muito forte (ρ entre 0,9 e 1,0; ou -0,9 a -1,0).

Os parâmetros OD, Mn, Turbidez, Fe, Dureza, $\text{DBO}_{5,20}$, e OC não apresentaram correlação moderada, forte ou muito forte.

O Tr apresentou correlação positiva forte com o FT (0,74) e com o NT (0,78). Estes valores indicam que o aumento no tempo de residência faz aumentar a disponibilidade destes nutrientes na água, devido, principalmente, pela decomposição da matéria orgânica. Com um maior Tr as características do reservatório mais se aproximam de um ambiente lacustre, favorecendo os processos de produção e decomposição da fitomassa.

O FT, além da correlação com o Tr, apresentou correlação positiva forte com o NT, indicando que há fontes comuns destes dois nutrientes na bacia.

As correlações do NT são as já explicadas com o Tr e o FT.

O parâmetro Cl^- apresentou correlação positiva moderada com o volume do reservatório (0,58). Com volumes maiores no reservatório a água cobre áreas que são utilizadas para pastoreio nos períodos de nível mais baixo. Assim, a presença de Cl^- pode estar associada ao aporte dos dejetos de animais no reservatório.

O Volume do reservatório apresentou, em destaque, apenas a correlação com o Cl^- .

O parâmetro pH apresentou correlação positiva moderada com *E. coli*. As leituras de pH tiveram mediana 7,28 e maior valor em 8,62. Este tipo de coliforme então esteve associado a valores mais alcalinos, porém próximo ao pH neutro. A correlação dos parâmetros *E. coli* e CE está associada ao despejo de esgotos domésticos.

O parâmetro *E. coli* não apresentou outra correlação, além da já explicada com o pH.

O parâmetro densidade de cianobactérias apresentou correlação positiva moderada com a precipitação. A maior ocorrência de chuvas melhora a disponibilidade de O_2 na água, e ainda, a estação chuvosa também é o período de maior incidência de radiação solar, o que favorece os processos de fotossíntese e produção da fitomassa.

A precipitação apresentou apenas a correlação já explicada com a densidade de cianobactérias.

4.3 QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS E PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS

Os dados apresentados nesta seção se referem às amostras coletadas pelo autor entre os anos de 2016 e 2017, com duas coletas na estação de chuva e duas na de seca. Os pontos de coleta são os apresentados na Seção 4.1, na Tabela 17 e na Figura 26.

4.3.1 Análise exploratória dos resultados para os parâmetros de qualidade da água

A seguir é apresentada uma análise exploratória dos resultados. Para comparação dos resultados das estações de chuva e seca foi utilizado teste não paramétrico, neste caso, Teste de Wilcoxon-Mann-Whitney.

4.3.1.1 Temperatura

Os principais processos naturais que regulam a temperatura da água em reservatórios são a radiação solar, a condução entre as moléculas e pelo deslocamento das massas de água e contato com o solo, e a convecção na interface com o ar da atmosfera. As interferências humanas também podem influenciar a temperatura dos corpos d'água, como o lançamento de efluentes e alterações sobre a cobertura natural do solo da bacia de contribuição, as quais podem elevar a temperatura do escoamento superficial (*runoff*). [91]

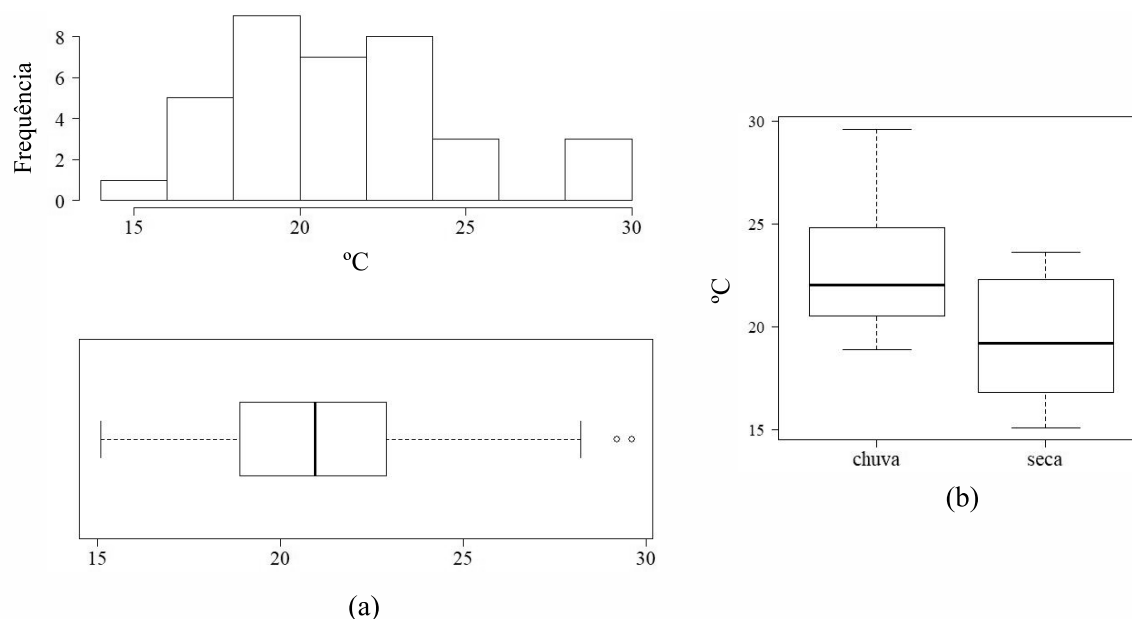
A temperatura da água é um parâmetro importante nos estudos limnológicos pois tem grande influência sobre o nível de atividade dos organismos aquáticos, seu crescimento e reprodução. Também influencia a química da água como o aumento ou diminuição das reações químicas e a solubilidade de gases como oxigênio, dióxido de carbono e de minerais. [92, 93, 83]

Como se vê na Figura 45(a) a mediana das leituras de temperatura, realizadas entre os anos de 2016 e 2017 nos nove pontos de amostragem, está em torno de 20,95 °C, com maiores frequências entre 18 e 22 °C.

Pode ser verificado na Figura 45(b) que a mediana das temperaturas na estação chuvosa foi mais alta, uma vez que, conforme clima local, esta estação é a mais quente e com maiores precipitações pluviométricas[22]. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,003249$).

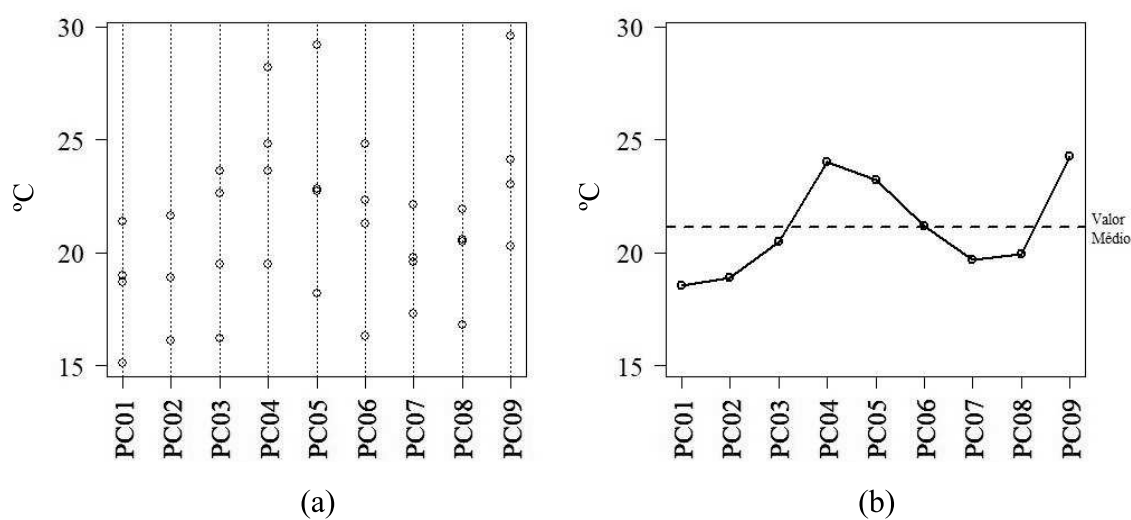
Na Figura 46 se observa que as leituras de temperatura foram mais baixas nos pontos cujas amostras foram coletadas no início do período de coleta, subindo gradativamente até o ponto PC05, amostrado em horário próximo às 12:00h, quando a incidência de raios solares é maior. Depois foram diminuindo ao longo da tarde até o ponto PC08. O ponto PC09, apesar de ser o último a ser coletado, já no fim da tarde, teve maiores leituras.

Figura 45 – Temperatura: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Isto pode ser explicado pelo fato deste ponto estar localizado dentro do lago, na captação, onde a maior quantidade de massa de água - que tem calor específico maior que o solo - retarda o decaimento da temperatura em relação aos pontos de foz dos tributários. Para interpretar estas leituras é importante considerar que em ambientes lóticos (tributários) não se verifica grandes variações no perfil de temperatura ao longo da profundidade, até porque os pontos de amostragem em foz são rasos (profundidade menor que 1 m nos pontos) e pouco volumosos. No entanto, nos ambientes lênticos (represa) pode ocorrer estratificação térmica com a formação de camadas de água com temperaturas distintas. Neste caso a camada superior da massa de água, na qual foram realizadas as coletas, alcança maiores temperaturas em relação às camadas profundas devido a exposição à radiação solar, o que aumenta a taxa de fotossíntese do fitoplâncton. [92]

Figura 46 – Temperatura por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

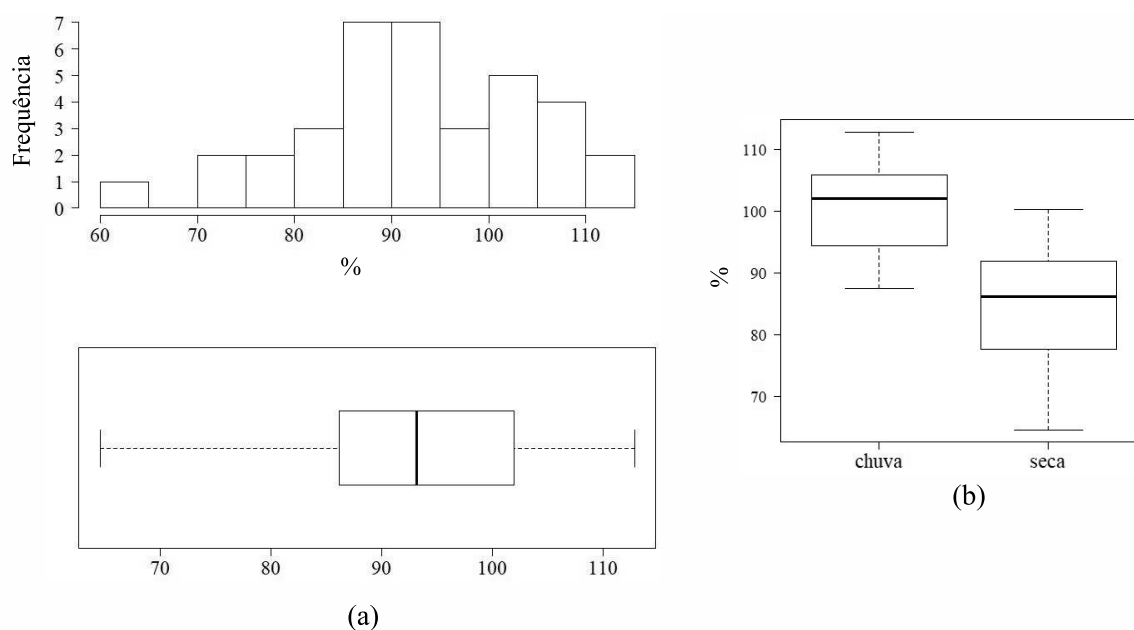


4.3.1.2 Oxigênio Dissolvido - saturação (OD%)

Como se vê na Figura 47(a) a mediana das leituras de saturação do oxigênio dissolvido, realizadas entre os anos de 2016 e 2017 nos nove pontos de amostragem, está acima de 90%. Este resultado indica uma saturação adequada de OD para o ecossistema aquático.

A Figura 47(b) mostra que a mediana das leituras de saturação do percentual de oxigênio dissolvido na água foi mais alta na estação chuvosa, uma vez que, conforme já discutido, nesta estação há maior incidência da radiação solar (o que aumenta a fotossíntese) e maior precipitação (aumentando o fluxo dos tributários). [22][75] O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,000006$).

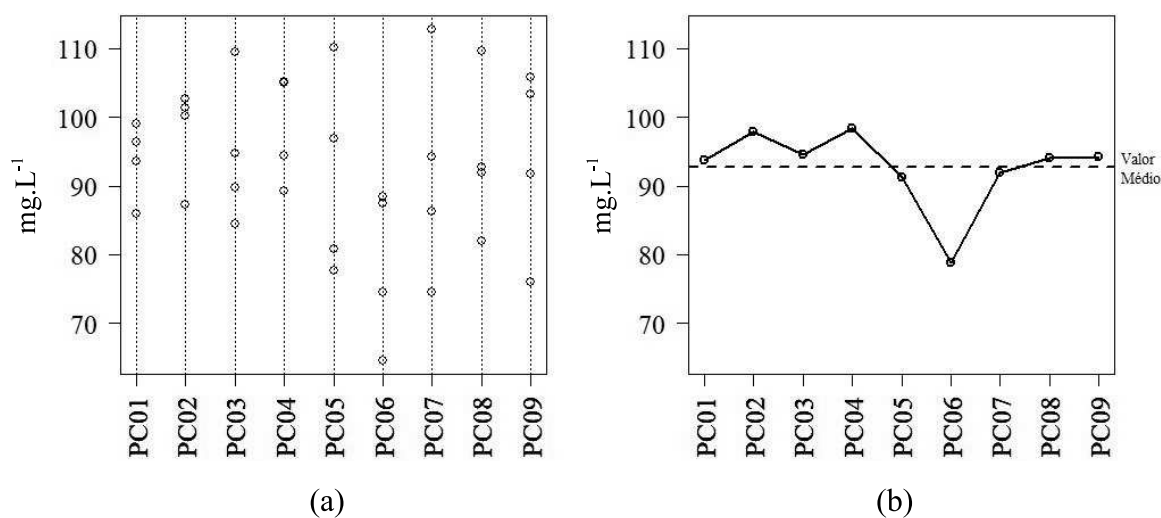
Figura 47 – Oxigênio Dissolvido (saturação): (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Como se vê na Figura 48 as leituras de saturação do oxigênio dissolvido tiveram, em geral, valores acima de 70%, o que é considerado aceitável para a manutenção dos organismos aquáticos. Porém, no ponto PC06, situado na foz do ribeirão São Bento, foram registrados, em média, os menores valores. Na sub bacia deste ponto se encontram as localidades de São Bento e Pião, as quais, conforme relatado por Machado em [19], não possuem infraestrutura de saneamento e despejam seus efluentes nos cursos d'água. O trecho do ponto de amostragem não apresenta fluxo turbulento nem encachoeirado, o que também limita a oxigenação da água. Já o PC02, o qual recebe os efluentes do Distrito de Nova Dores do Paraibuna, possui trecho encachoeirado da vila até o ponto de amostragem, o que contribui para a oxigenação da água.

Foram registradas 10 leituras superiores a 100% de saturação, o que pode ocorrer

Figura 48 – Saturação do Oxigênio Dissolvido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

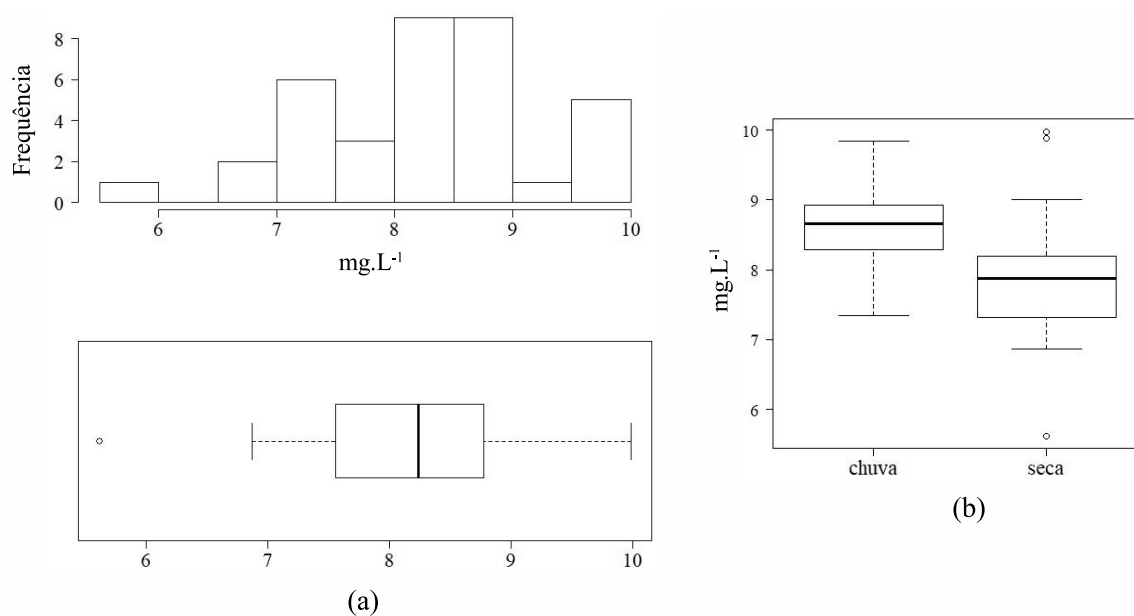


nas águas naturais em alguns períodos devido ao aumento da taxa de fotossíntese do fitoplâncton e da redução da concentração de matéria orgânica. [94]

4.3.1.3 Oxigênio Dissolvido - concentração (OD)

O comportamento do parâmetro concentração de oxigênio dissolvido seguiu o da saturação do mesmo. A Figura 49(a) mostra o boxplot e o histograma das leituras de concentração do oxigênio dissolvido.

Figura 49 – Oxigênio Dissolvido (concentração): (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



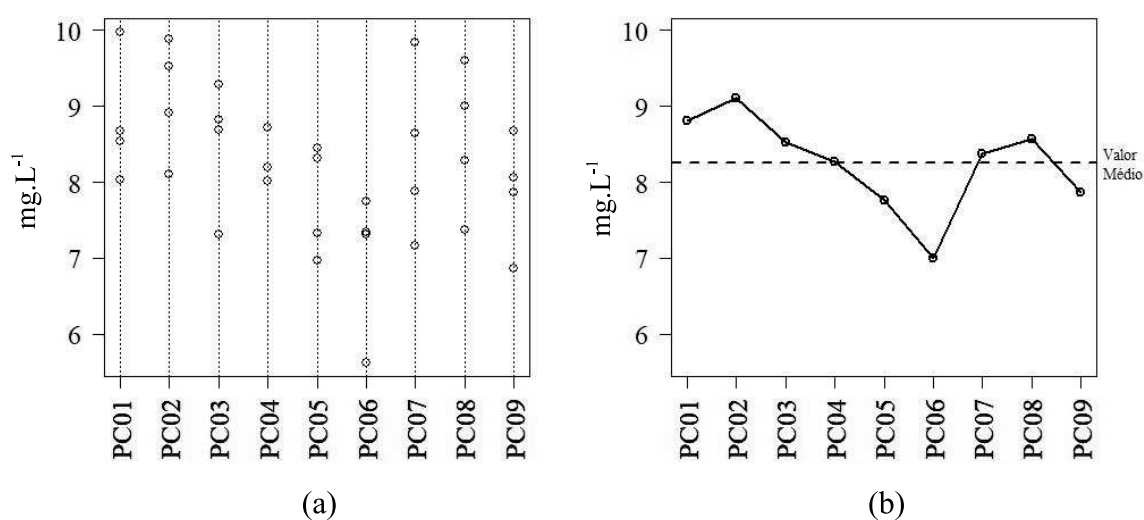
Segundo a Resolução Conama n^o 357/05, para águas de classe 1 o valor do OD não deve ser inferior a 6 mg.L⁻¹ e apenas uma leitura foi registrada abaixo deste limite

(PC06 em setembro de 2016). A mediana das leituras está em 9 mg.L^{-1} .

Semelhante ao comportamento do OD percentual, a mediana das leituras de OD foi mais alta na estação chuvosa. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,008631$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 0,29 nem maior que $1,37 \text{ mg.L}^{-1}$. A Figura 49(b) ilustra esta situação.

A Figura 50 mostra o comportamento das leituras por ponto de amostragem. O ponto PC06 - foz do ribeirão São Bento, apresentou a menor média para o OD, assim como ocorreu com a saturação.

Figura 50 – Concentração do Oxigênio Dissolvido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

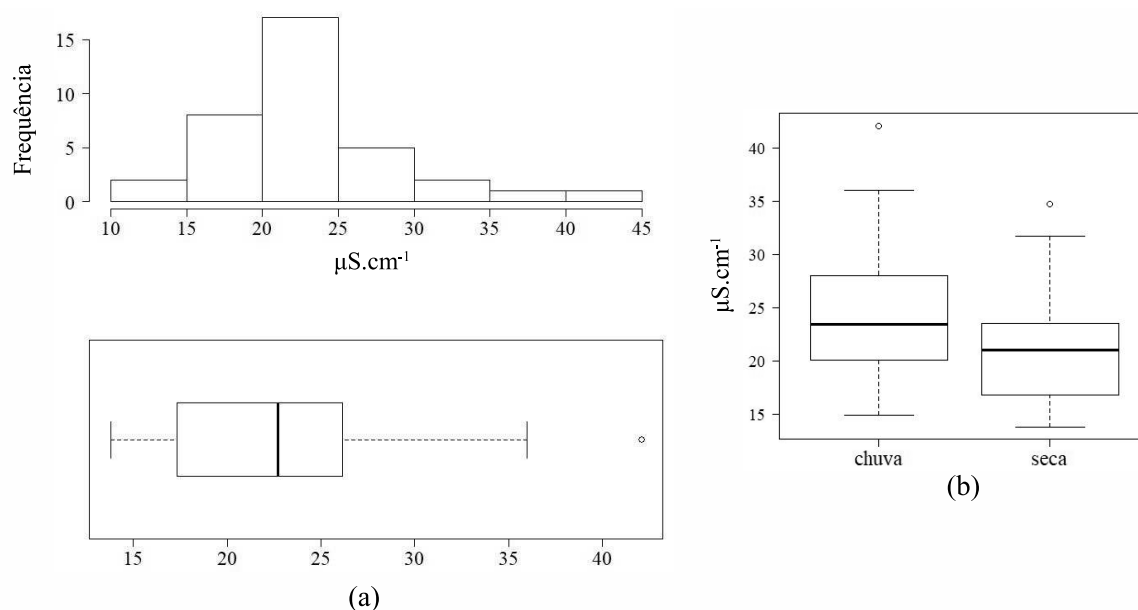


4.3.1.4 Condutividade Elétrica (CE)

A Figura 51(a) mostra que a mediana das leituras de condutividade para este conjunto de dados, assim como ocorreu com os dados históricos, também está próxima de $23 \mu\text{S.cm}^{-1}$. A Figura 51(b) apresenta o box plot por estação de chuva e seca. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney resultou, para um nível de significância de 5%, que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,268$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-1,89$ nem maior que $6,59 \mu\text{S.cm}^{-1}$, podendo, então, ser zero.

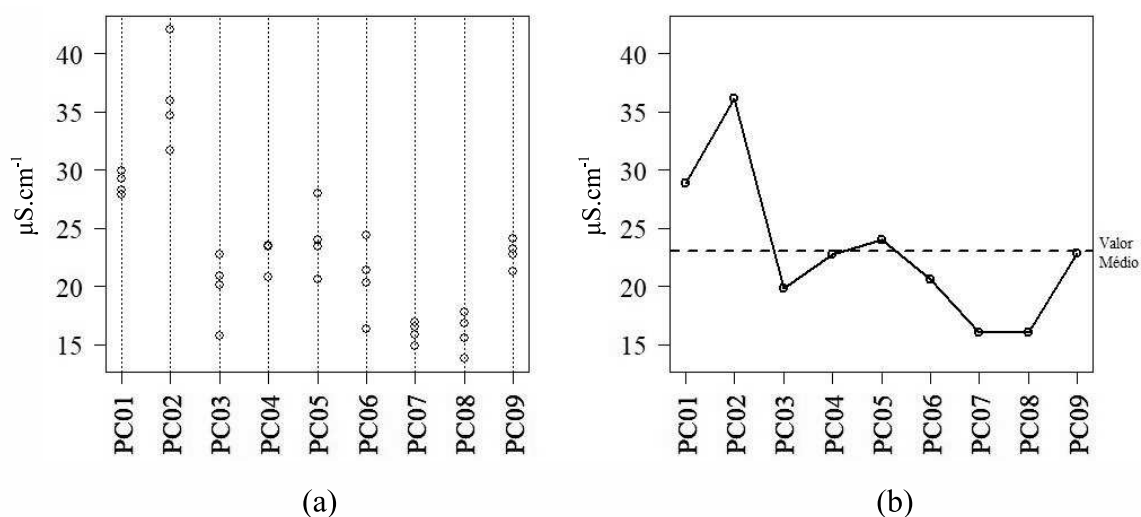
Na Figura 52 é possível verificar que as maiores leituras de condutividade foram registradas no ponto PC02, foz do córrego Zíper. Este curso d'água recebe o esgotamento sanitário da vila do distrito de Nova Dores do Paraibuna, o que indica que essas leituras estão associadas à fonte de poluição. Em geral, as leituras de condutividade nas águas de pequenos cursos d'água tendem a ser mais variáveis e com um intervalo de valores mais amplo do que os corpos de água maiores. [77] Este comportamento pode ser observado

Figura 51 – Condutividade elétrica: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



parcialmente na Figura 52, onde os pontos PC04 e PC09 são localizados dentro do reservatório e os demais nos tributários.

Figura 52 – Condutividade elétrica por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

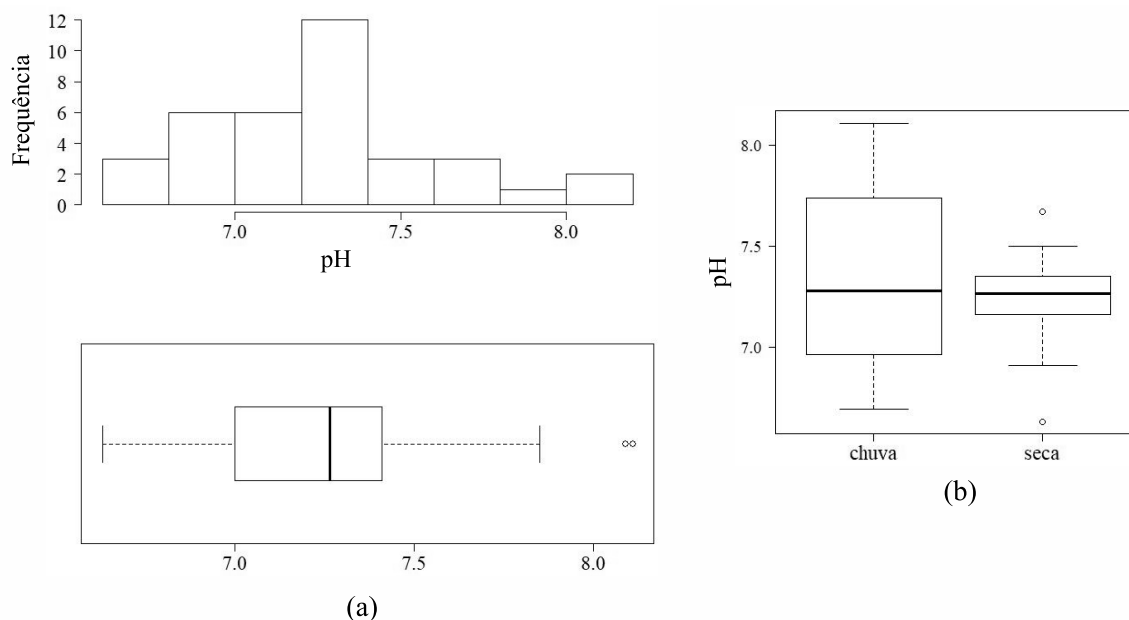


4.3.1.5 Potencial Hidrognônico (pH)

Como se vê na Figura 53(a) a mediana das leituras de pH, realizadas entre os anos de 2016 e 2017 nos nove pontos de amostragem, está dentro do limite da Resolução Conama n° 357/05 para classe 1, com valor 7,3. A Figura 53(b) mostra os box plots das leituras de pH por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou, para um nível de significância de 5%, que não há evidência empírica para suportar a hipótese

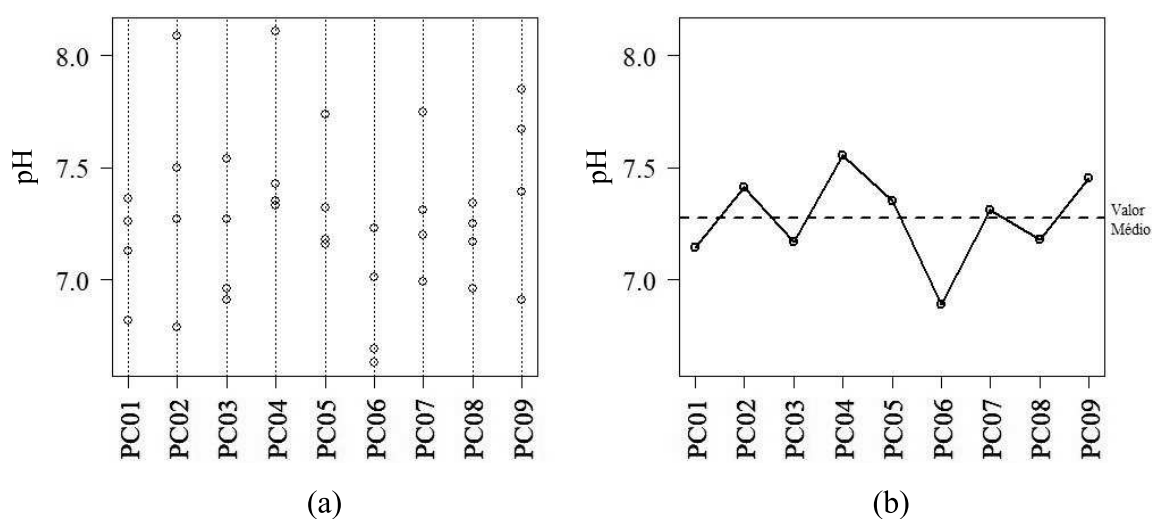
de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,6924$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -1,19 nem maior que 0,37, podendo, então, ser zero.

Figura 53 – Potencial Hidrogeniônico: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Na Figura 54 se observa que as leituras mais baixas de pH estão no ponto PC06, o mesmo que teve as baixas leituras de OD. Tal resultado se mostra coerente pois uma pequena diminuição no pH pode estar associada à queda na quantidade de OD disponível por oxidação de matéria orgânica.

Figura 54 – Potencial Hidrogeniônico por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

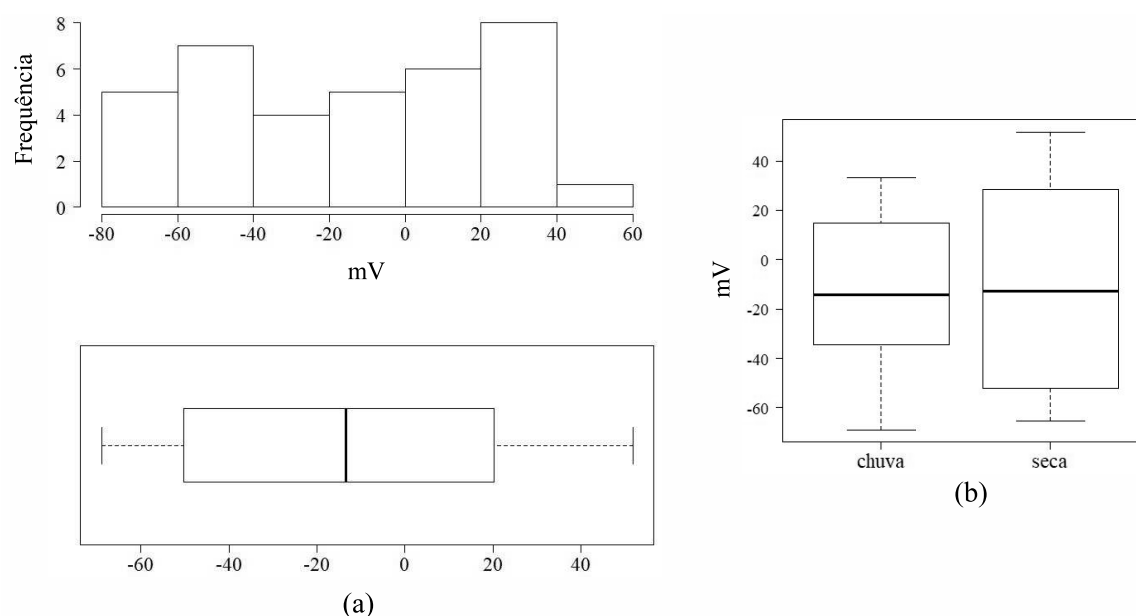


4.3.1.6 Potencial de Oxirredução (ORP)

O potencial de oxirredução expressa a tendência de uma forma química adquirir elétrons e assim ser reduzida, controlando deste modo diversos processos biogeoquímicos que ocorrem nos corpos d'água. Segundo Esteves e Marinho [82], valores baixos de ORP indicam natureza redutora e valores altos indicam natureza oxidante. Em águas naturais os valores de ORP podem variar entre -500 a 700 mV e variações nos valores deste parâmetro são influenciadas geralmente pela quantidade e qualidade de matéria orgânica, temperatura e disponibilidade de substrato. O agente oxidante mais importante nas águas continentais é o oxigênio, assim, para valores altos de OD serão encontrados, geralmente, valores altos de ORP. Por outro lado, baixas concentrações de OD indicam predominância de processos redutivos, como, por exemplo, a respiração anaeróbia de bactérias. Assim, a contaminação de águas continentais age, geralmente, de maneira redutiva, gerando leituras de valores mais baixos de ORP. [82, 83]

A Figura 55(a) mostra que as medidas de ORP variaram entre -80 mV e 60 mV, ou seja, numa estreita faixa, próxima de zero e dentro dos limites sugeridos por Esteves e Marinho em [82]. A Resolução Conama nº 357/05 não define limites para este parâmetro. Os box plots por estação de chuva e seca são ilustrados na Figura 55(b). O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou, para um nível de significância de 5%, que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,7278$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -26,99 nem maior que 28,79 mV, podendo, então, ser zero.

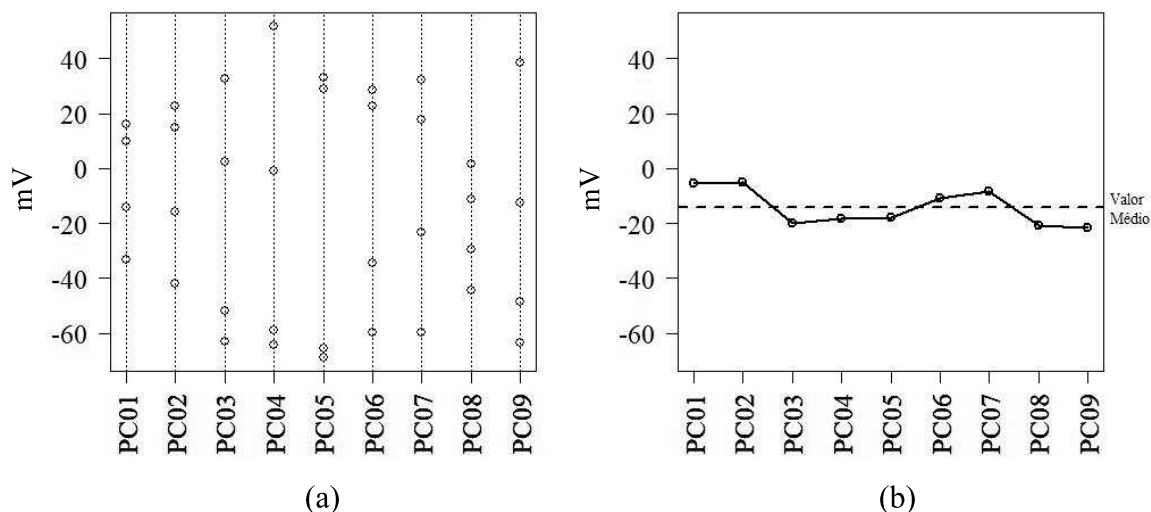
Figura 55 – Potencial de Oxirredução: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Na Figura 56 é possível verificar que as leituras de ORP se distribuíram em torno

da média, sem grandes variações entre os pontos.

Figura 56 – Potencial de Oxirredução por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.7 Nitrato (NO_3^-)

O nitrogênio (N), assim como o fósforo (P), é um importante elemento químico, essencial para o metabolismo, indispensável e até limitante para a produção primária, secundária e crescimento de algas e microrganismos em ecossistemas aquáticos. O nitrato (NO_3^-) é uma das formas do nitrogênio inorgânico dissolvido encontrado nas águas continentais. [84]

Na Figura 57(a) se verifica que as medidas de NO_3^- são baixas, com mediana em $0,307 \text{ mg.L}^{-1}$. Valores para concentração de nitrato acima de 10 mg.L^{-1} podem estar relacionados à poluição da água por interferência humana, sendo este o limite definido na Resolução Conama nº 357/05 para classe 1.

A Figura 57(b) mostra os box plots as leituras de NO_3^- das estações de chuva e seca. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou, para um nível de significância de 5%, que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 1$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,12$ nem maior que $0,13 \text{ mg.L}^{-1}$, podendo, então, ser zero.

Nenhuma das leituras de NO_3^- realizadas ultrapassou o limite da Resolução Conama nº 357/05, porém os resultados ajudam a diferenciar os pontos de mostragem. Pode ser verificado na Figura 58 que as leituras mais altas de nitrato foram registradas no ponto PC02, o qual está situado na foz do córrego Zíper, a jusante do distrito de Nova Dores do Paraibuna. Este curso d'água recebe o esgotamento sanitário da vila, assim, o aporte de matéria orgânica resulta em maiores leituras de NO_3^- .

Figura 57 – Nitrato: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

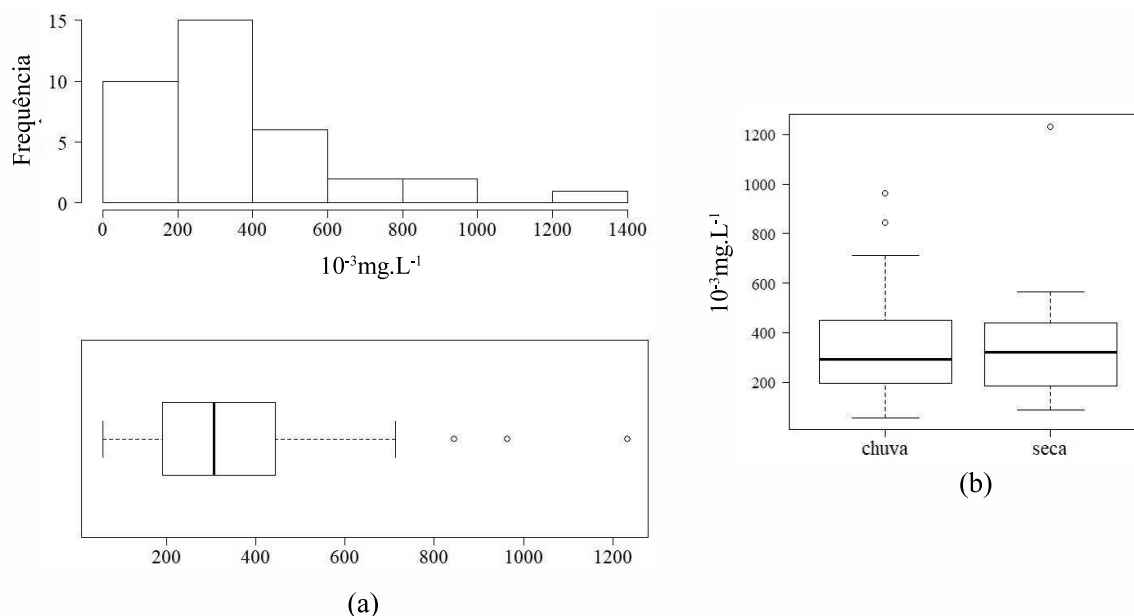
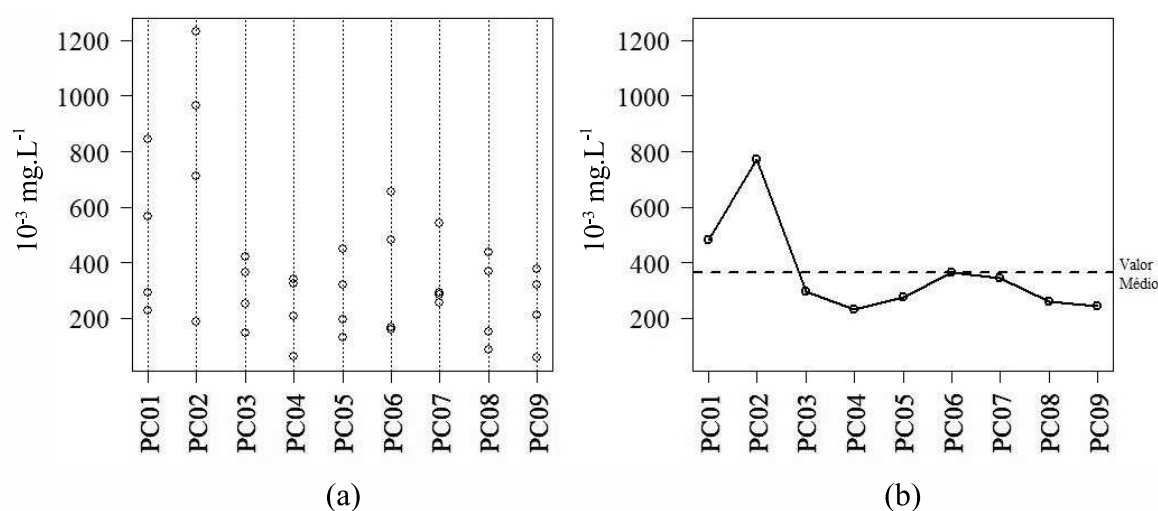


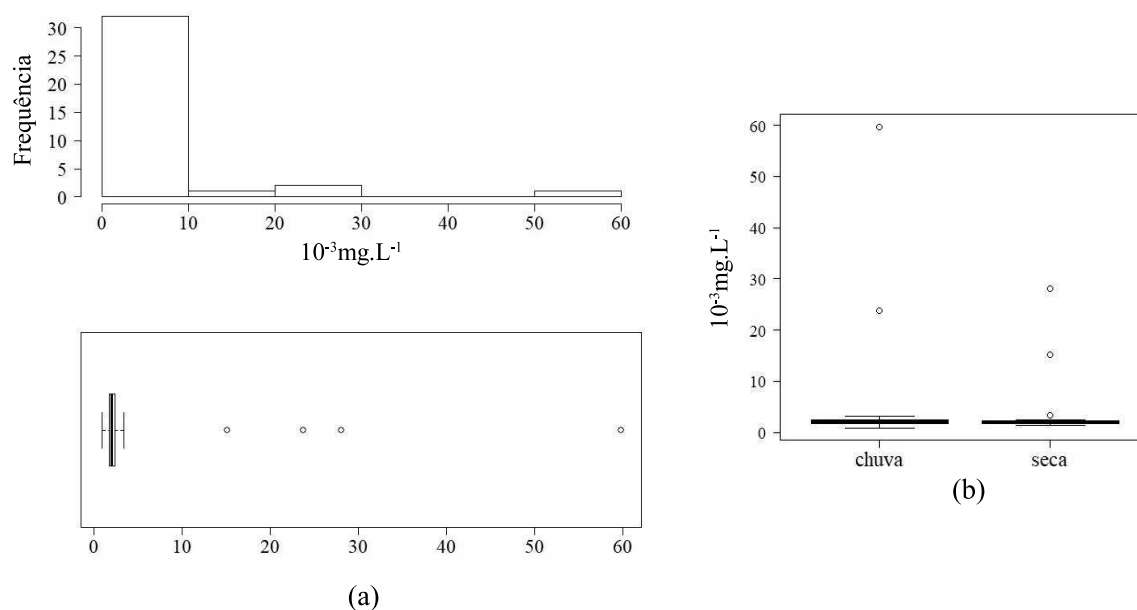
Figura 58 – Nitrato por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.8 Nitrito (NO_2^-)

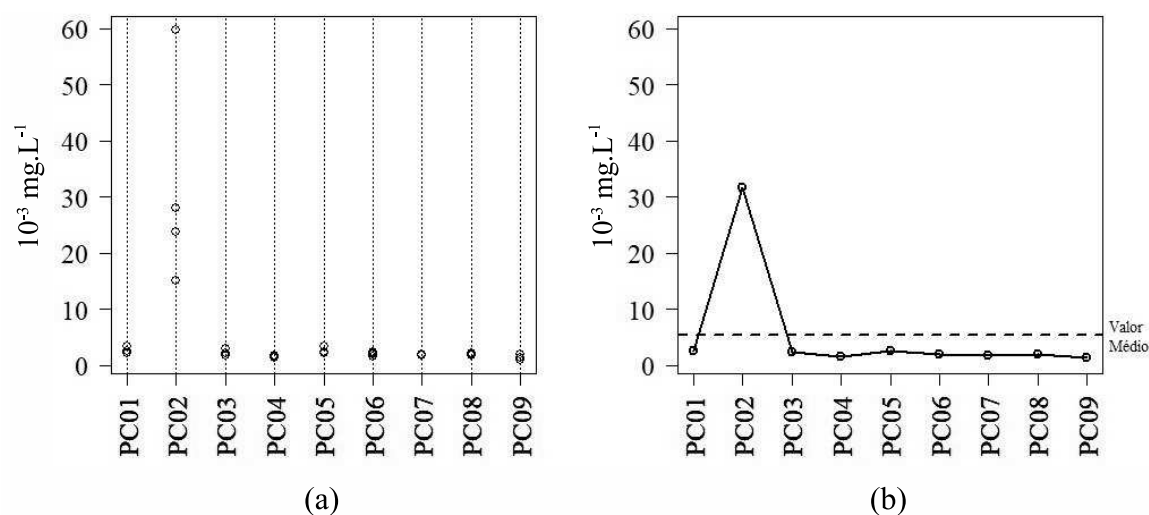
Nitrito (NO_2^-) é a forma reduzida do nitrato. Na Figura 59(a) se verifica que as medidas de NO_2^- são baixas, com mediana em $0,002 \text{ mg.L}^{-1}$ e não ultrapassaram o limite de 1 mg.L^{-1} definido na Resolução Conama nº 357/05 para classe 1. As leituras de nitrito das estações de chuva e seca são ilustradas na Figura 59(b). Assim como ocorreu com o NO_3^- , o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou, para um nível de significância de 5%, que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,9424$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,0004$ e nem maior que $0,0004 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, é praticamente zero.

Figura 59 – Nitrito: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Apesar dos valores baixos, este parâmetro ajuda a diferenciar os pontos de amostragem. Do mesmo modo que ocorreu com o nitrato, pode ser verificado na Figura 60 que as leituras mais altas de NO_2^- foram registradas no ponto PC02.

Figura 60 – Nitrito por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



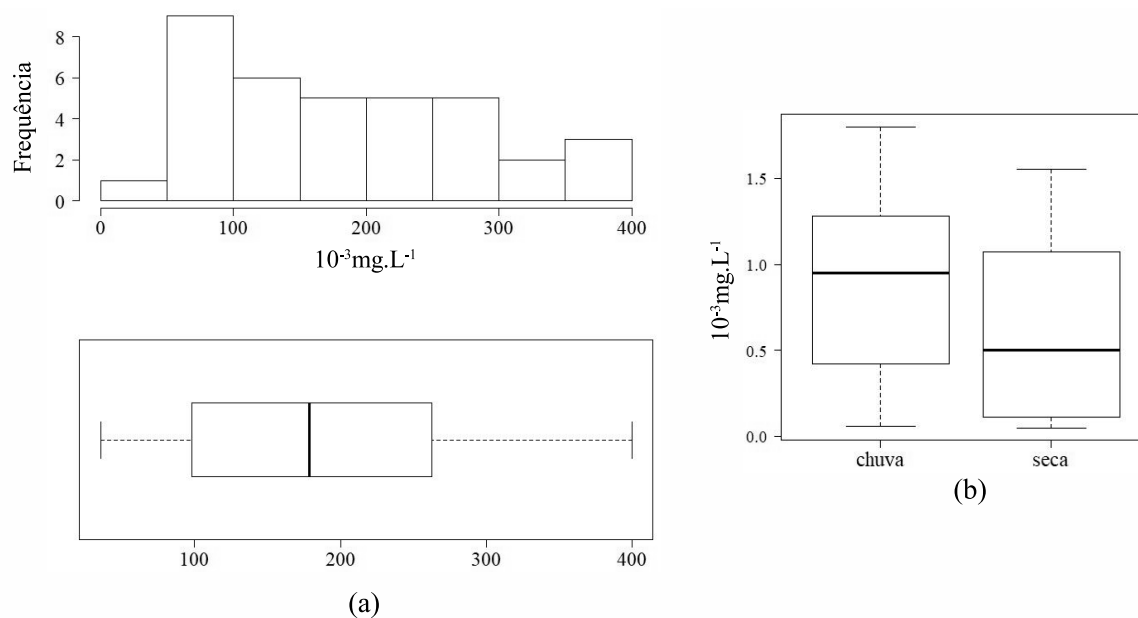
4.3.1.9 Amônio (NH_4^+)

O íon amônio (NH_4^+) também é uma forma de nitrogênio inorgânico dissolvido na água, proveniente da redução dissimilatória do nitrito.[84]

A Resolução Conama nº 357/05 estabelece, para classe 1, limites para o nitrogênio amoniacal total (o qual inclui o íon amônio) diferenciados de acordo com o pH da água. Considerando a mediana do pH em 7,26 para este conjunto de leituras, o limite será então

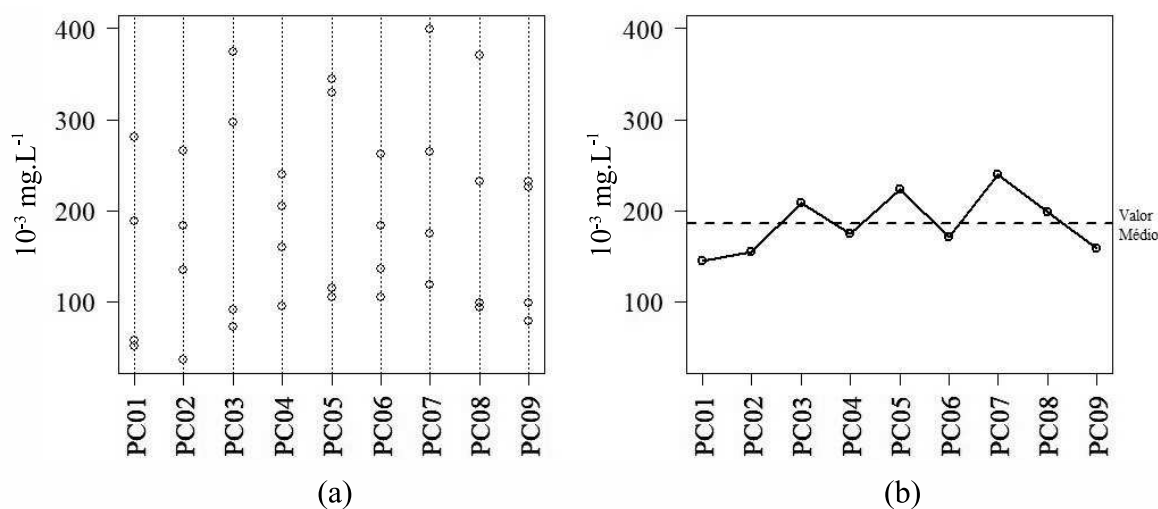
de $3,7 \text{ mg.L}^{-1}$ para o nitrogênio amoniacal total. A Figura 61(a) mostra que as leituras de NH_4^+ foram registradas abaixo deste limite, com valor de mediana inferior a $0,179 \text{ mg.L}^{-1}$. Mesmo considerando a situação mais restritiva imposta pela Resolução Conama n° 357/05, a qual será $0,5 \text{ mg.L}^{-1}$ (ambientes com $\text{pH} > 8,5$), ainda assim o limite não seria ultrapassado. Os box plots por estação de chuva e seca estão ilustrados na Figura 61(b). Assim como ocorreu com o nitrato e o nitrito, para as leituras de NH_4^+ não há evidência empírica que suporte a hipótese de que as medianas são diferentes por estação. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou, para um nível de significância de 5%, o resultado de $p\text{-value} = 0,0700$, com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,08$ e nem maior que $0,07 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

Figura 61 – Amônio: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Ao contrário das leituras de nitrato e nitrito, pode ser verificado na Figura 62 que as leituras de NH_4^+ registradas no ponto PC02 não foram as mais altas. O amônio é uma forma reduzida de nitrogênio, enquanto o nitrito e o nitrato são formas oxidadas. Desse modo é possível associar a presença destas formas de nitrogênio com a proximidade da fonte de poluição: a predominância de formas reduzidas na amostra indica que a fonte está próxima, enquanto a predominância de formas oxidadas indica que está mais distante. [80] O ponto de amostragem PC02 está 1.000 metros à jusante do distrito de Nova Dores do Paraibuna, sendo este trecho encachoeirado, o que favorece a oxidação da matéria orgânica lançada no córrego Zíper. Assim, apesar de se destacar nas leituras de NO_3^- e NO_2^- , este ponto de amostragem não se destaca nas leituras de NH_4^+ .

Figura 62 – Amônio por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.10 Nitrogênio inorgânico dissolvido (NID)

O NID pode se encontrado sob a forma de nitrato, nitrito, amônia, íon amônio, óxido nitroso e nitrogênio molecular. Nos procedimentos do LEA, o NID é calculado pela soma:

$$NID = NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+ \quad (6)$$

A Figura 63(a) ilustra a distribuição das leituras de NID, com mediana em $0,492 \text{ mg.L}^{-1}$. Como as leituras de NO_3^- , NO_2^- e NH_4^+ estiveram muito abaixo dos limites da Resolução Conama nº 357/05, os valores do NID também não devem ser preocupantes em termos de qualidade da água na represa, embora possam ajudar a classificar os pontos de amostragem.

A Figura 63(b) apresenta os box plots das leituras de NID por estação de chuva e seca. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,7428$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,17$ e nem maior que $0,23 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

Pode ser verificado na Figura 64 que as leituras de NID se diferenciaram no ponto PC02, como ocorrido com o NO_3^- e o NO_2^- .

4.3.1.11 Nitrogênio orgânico total (NOT)

O nitrogênio orgânico total é formado pelo N orgânico particulado e o dissolvido. Na forma particulada estão os organismos como bactérias, fitoplâncton, zooplâncton e peixes, assim como os detritos. Na forma dissolvida estão os compostos lixiviados a partir de organismos senescentes ou mortos como macrófitas e fitoplâncton. A mineralização,

Figura 63 – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

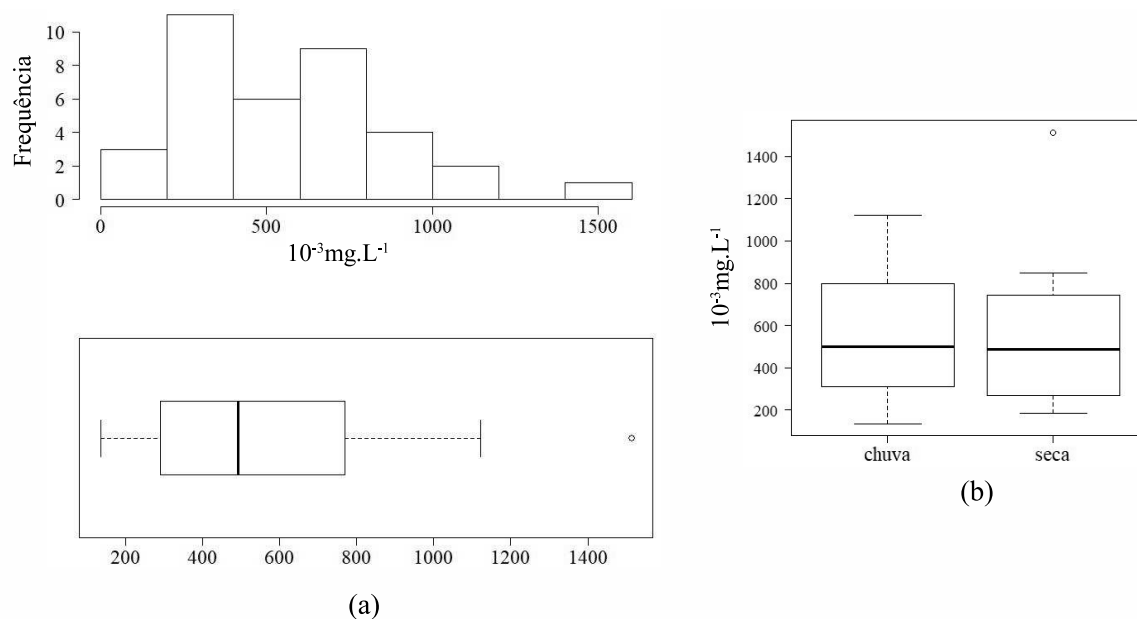
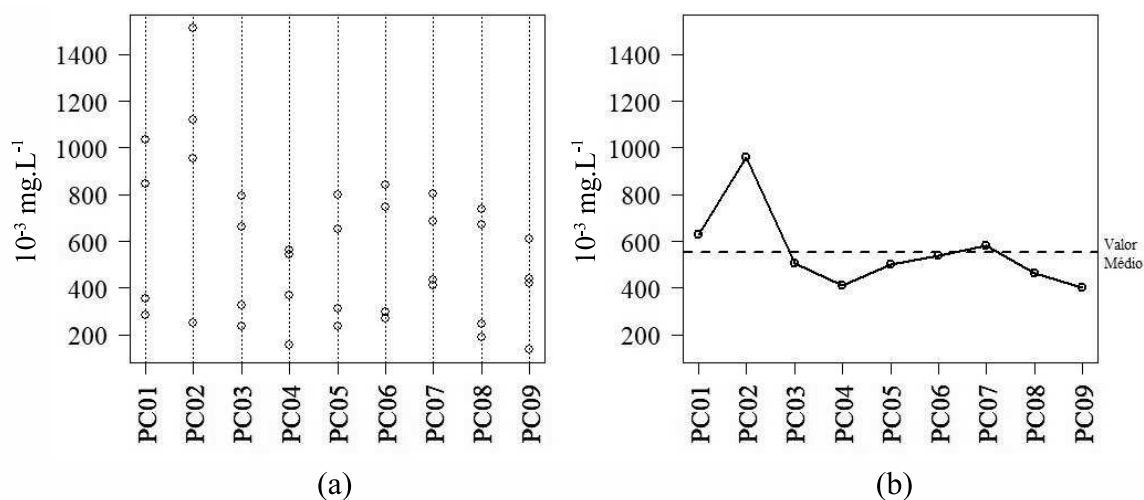


Figura 64 – Nitrogênio Inorgânico Dissolvido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

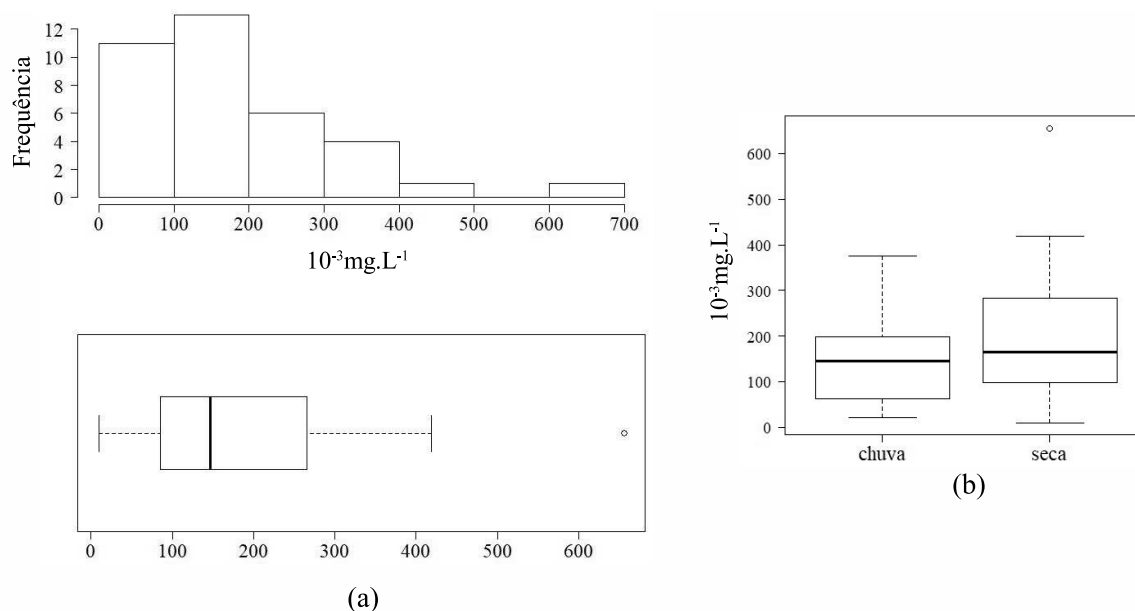


aeróbia ou anaeróbia, do NOT pela atividade de organismos heterotróficos é conhecida como processo de amonificação, ou seja, produção de NH_4^+ no ciclo do nitrogênio. [84] Desse modo, quanto maior a carga de N na forma orgânica, mais insumos haverá para a produção de amônio.

Na Figura 65(a) se observa que a maior frequência de leituras registradas têm valores inferiores a $0,200 \text{ mg.L}^{-1}$, com mediana em $0,147 \text{ mg.L}^{-1}$. A Figura 65(b) ilustra os box plots das leituras de NOT para as estações de chuva e seca. Como ocorreu com as formas inorgânicas do nitrogênio, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney para o NOT indicou, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para

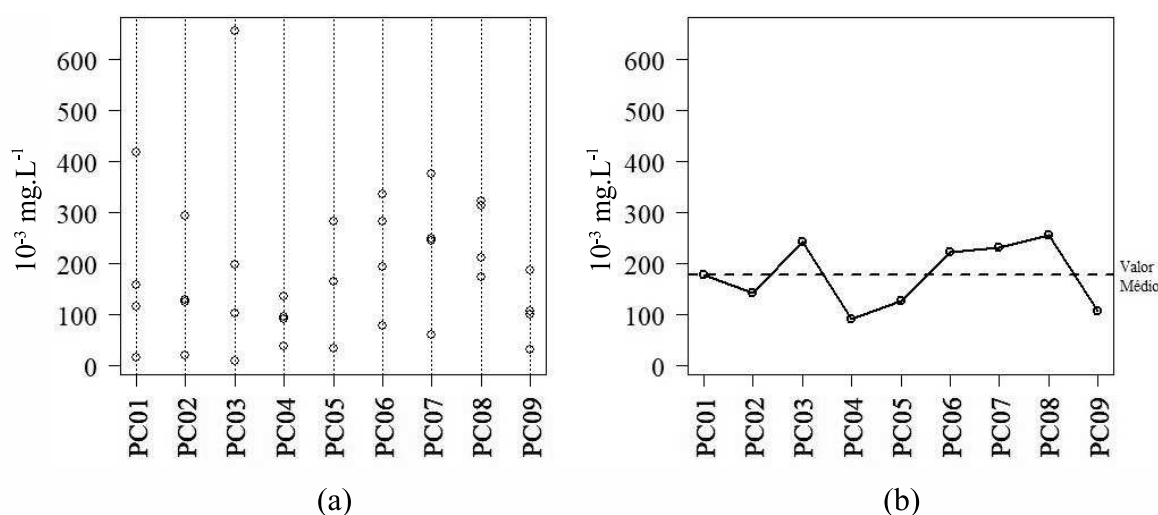
suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,5841$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,11$ e nem maior que $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

Figura 65 – Nitrogênio Orgânico Total: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Pode ser verificado na Figura 66 que as leituras de NOT não se diferenciaram muito entre os pontos, com exceção de uma leitura mais alta no PC03, sem caus aparente.

Figura 66 – Nitrogênio Orgânico Total por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

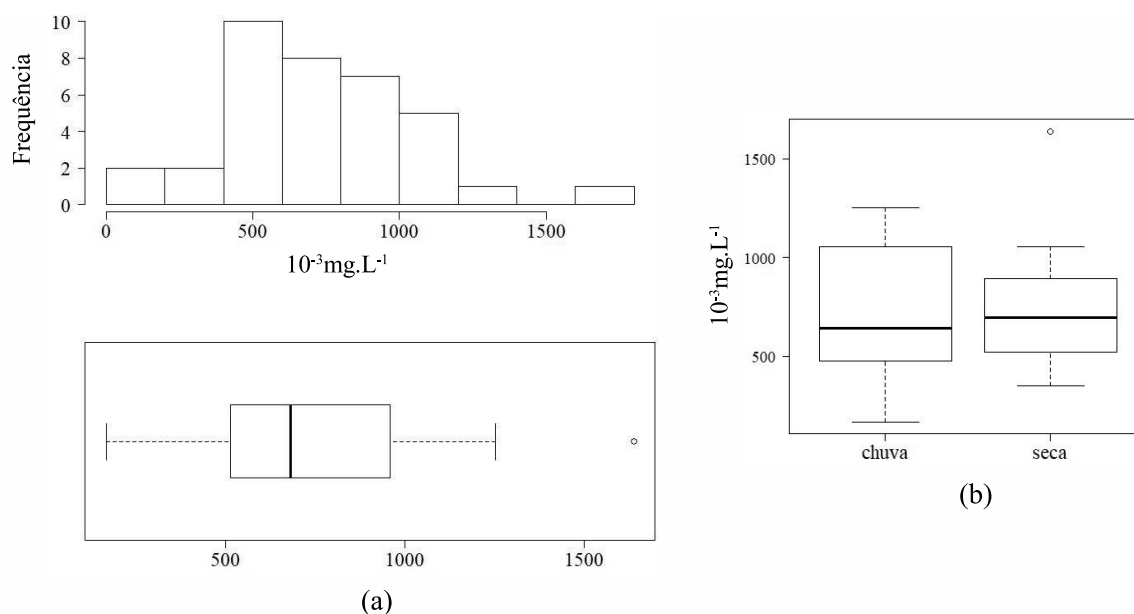


4.3.1.12 Nitrogênio total (NT)

O NT foi processado e lido nas análises laboratoriais do LEA. É formado pelas formas orgânicas e inorgânicas de nitrogênio. Na Figura 67(a) se observa que a maior parte

das leituras de NT estão entre 0,5 e 1 mg.L⁻¹, com mediana em 0,682 mg.L⁻¹. A Resolução Conama n° 357/05 não define limites para este parâmetro. A Figura 67(b) mostra os box plots para estações de chuva e seca, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,8247$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que -0,23 e nem maior que 0,19 mg.L⁻¹, ou seja, pode ser zero.

Figura 67 – Nitrogênio Total: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

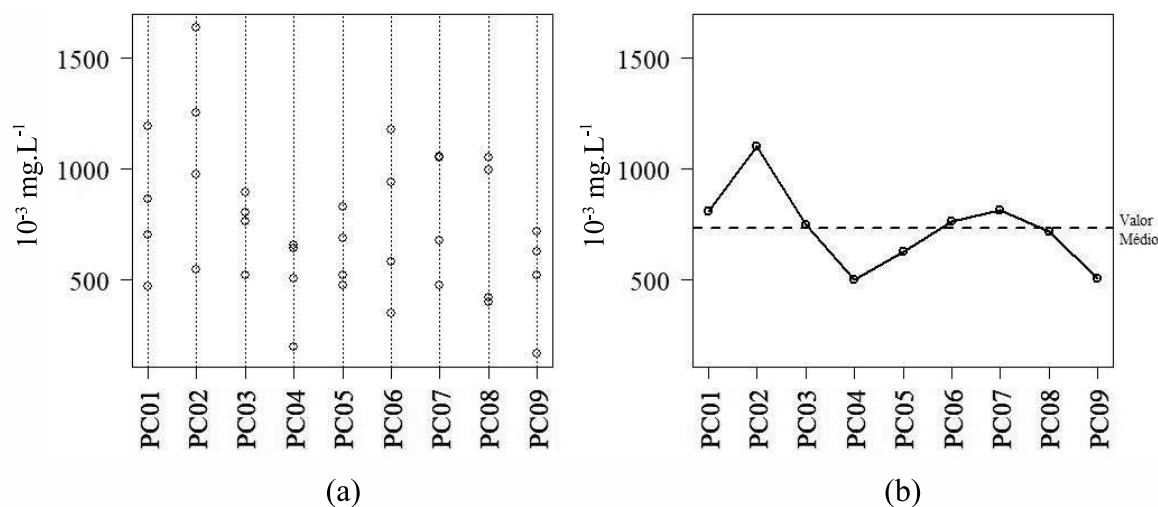


Pode ser verificado na Figura 68 que o ponto PC02, no córrego Zíper, registrou maiores leituras de NT, enquanto o PC04 (meio da represa) e PC09 (captação), apresentaram menores médias. Isto indica que, apesar do aporte de nitrogênio pelos tributários, este não chega a alterar significativamente a quantidade do nutriente disponível para os organismos do lago.

4.3.1.13 Silicato (SiO_3)

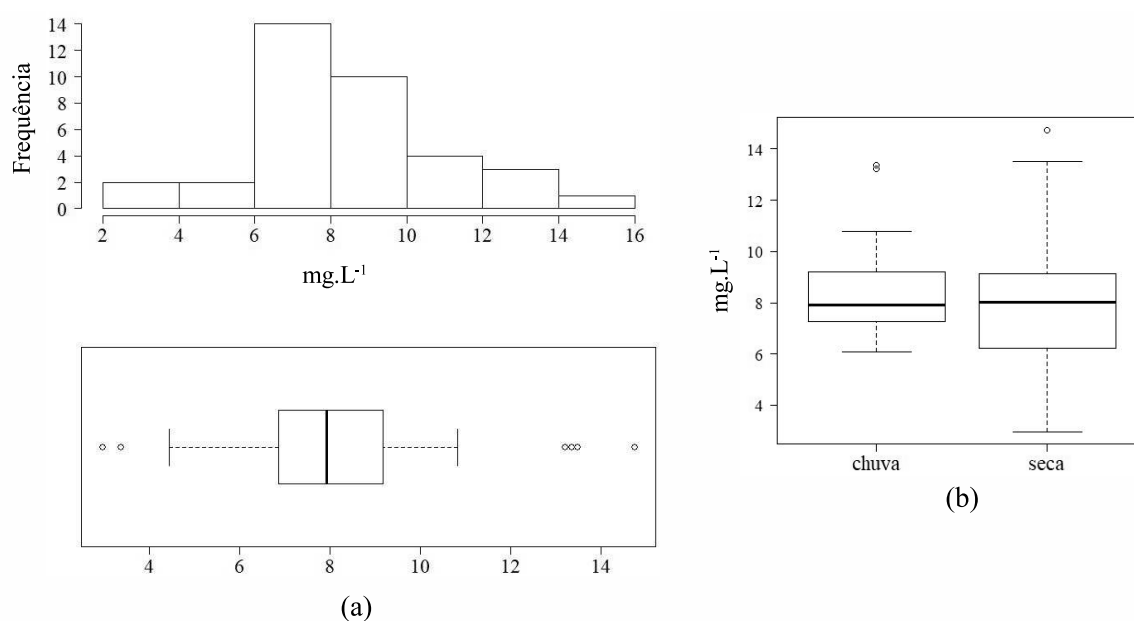
O silicato nos ecossistemas aquáticos tem sua principal origem na decomposição de minerais de silicato e alumínio, mais frequentes em rochas sedimentares. É um composto importante no meio aquático, utilizado por alguns organismos na formação de seus esqueletos. Assim, alguns estudos relacionam concentrações de silicato em lagos com a dominância de algumas espécies de diatomáceas. [95] As relações de silicato, fósforo e nitrogênio influenciam na definição do tipo de algas que dominarão o ecossistema aquático, por exemplo, diatomáceas *versus* cianobactérias. [96] Grandes concentrações de silicato podem aumentar a turbidez da água, estando geralmente associadas aos processos erosivos nas margens e na bacia de contribuição de um lago ou reservatório.

Figura 68 – Nitrogênio Total por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



A Figura 69(a) mostra que a maior parte das leituras de silicato estão entre 6 e 10 mg.L^{-1} , com mediana em $7,92 \text{ mg.L}^{-1}$. Não há referência de um limite aceitável deste parâmetro, mas os valores encontrados mostram que o SiO_3 não atua como fator limitante aos produtores primários na represa de Chapéu D'Uvas. [95] A Figura 69(b) mostra os box plots para estações de chuva e seca, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,673$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-1,14$ e nem maior que $2,3 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

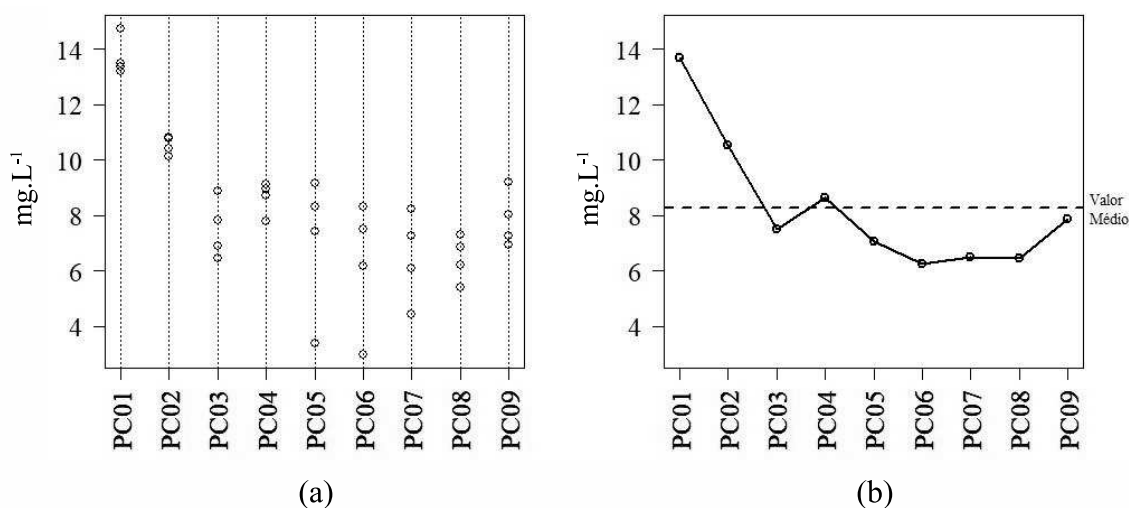
Figura 69 – Silicato: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Pode ser verificado na Figura 70 que as maiores leituras foram registradas no ponto

PC01, o qual se localiza no exutório do rio Paraibuna. Tendo um curso mais longo, maior declividade da bacia e maior vazão, em comparação com os tributários da represa, maior é o poder do rio para, ao longo de seu curso, arrastar partículas de solo e rochas.

Figura 70 – Silicato por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.14 Ortofosfato (PO_4^{-3})

O ortofosfato é uma forma de fósforo inorgânico dissolvido, sendo a principal forma de fosfato assimilada pelos vegetais aquáticos, microalgas e bactérias. O metabolismo dos organismos assimila e incorpora o PO_4^{-3} em sua biomassa, sendo este um dos motivos pelas baixas leituras de fosfato em lagos tropicais não eutrofizados. [85, 72]

Na Figura 71(a) se observa que as leituras de PO_4^{-3} são muito baixas, com maior frequência de valores até 0,01 mg.L⁻¹, com mediana em 0,005 mg.L⁻¹. Em 14 amostras analisadas a concentração de ortofosfato estava abaixo do limite de detecção. Não há referência de um valor aceitável deste parâmetro, mas os baixos valores sugerem que o manancial não está eutrofizado. A Figura 71(b) mostra os box plots para estações de chuva e seca, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,7969$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que -1,14 e nem maior que 2,3 mg.L⁻¹, ou seja, pode ser zero.

Pode ser verificado na Figura 72 que as maiores leituras de PO_4^{-3} foram registradas no ponto PC02, foz do córrego Zíper o qual, conforme já relatado, recebe esgoto do distrito de Nova Dores do Paraibuna.

Figura 71 – Ortofosfato: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

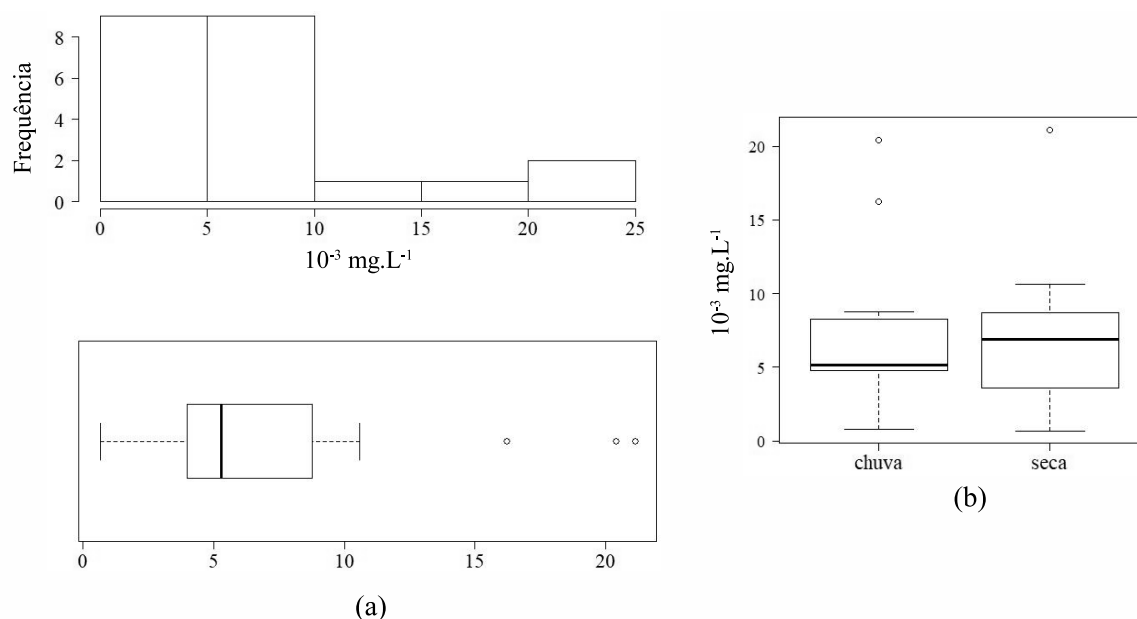
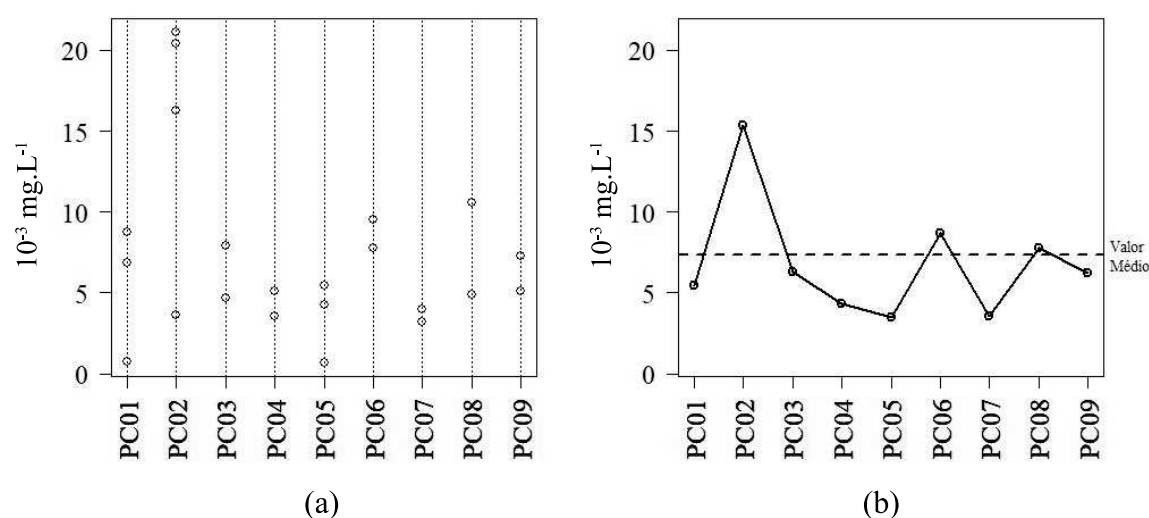


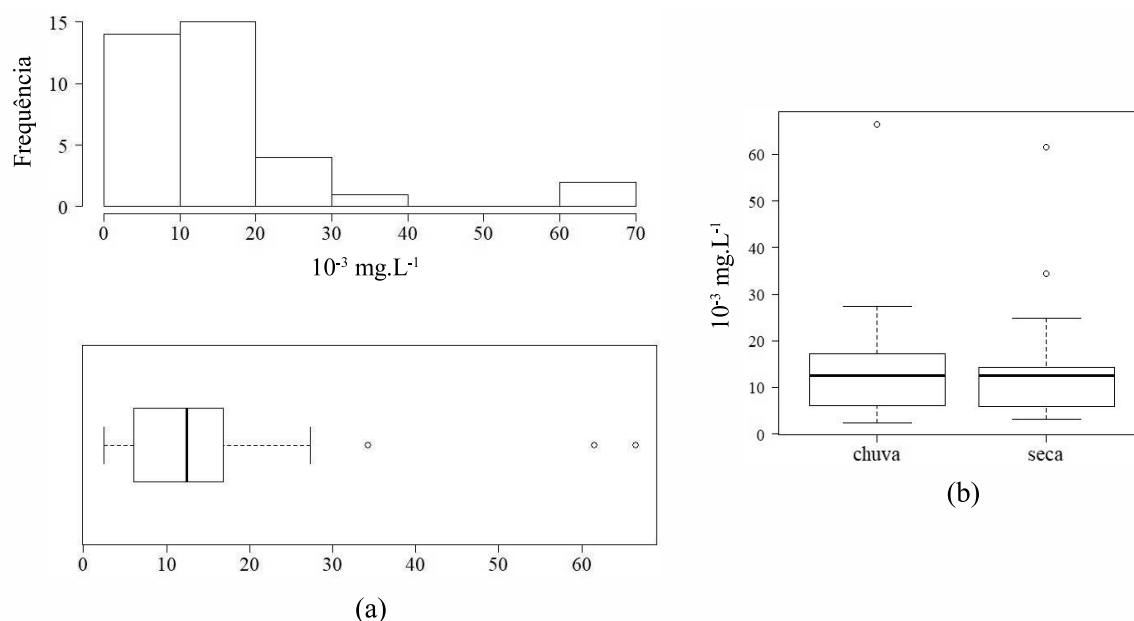
Figura 72 – Ortofosfato por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.15 Fósforo total (FT)

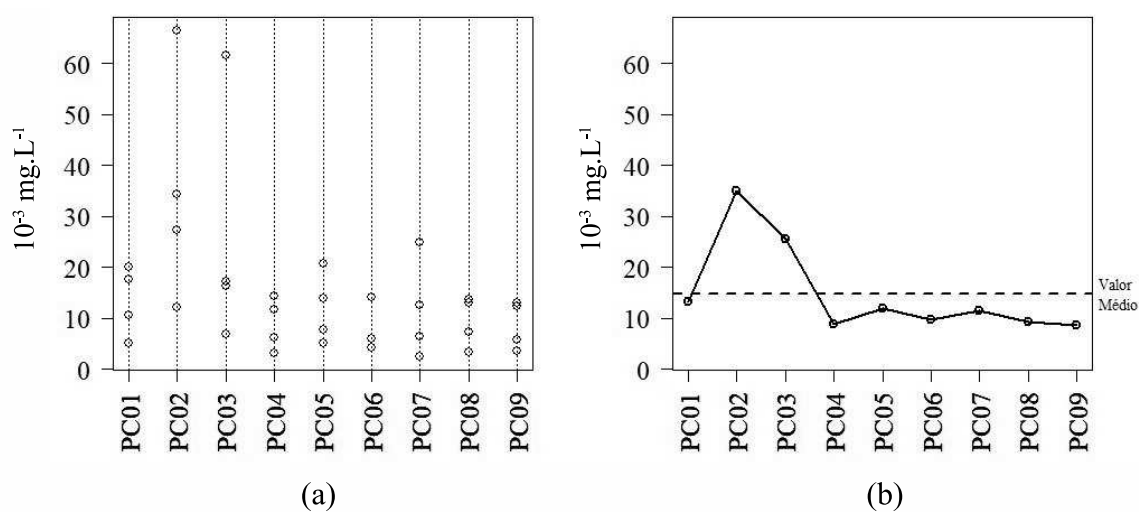
Na Figura 73(a) se observa que as leituras de FT são muito baixas, com maior frequência de valores até $0,02 \text{ mg.L}^{-1}$, com mediana em $0,012 \text{ mg.L}^{-1}$. A Resolução Conama n° 357/05 estipula, para classe 1, o limite de $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$ para os ambientes lóticos e nenhuma leitura registrada ultrapassou este valor. A Figura 73(b) mostra os box plots para estações de chuva e seca, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,8882$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,003$ e nem maior que $0,006 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, é praticamente zero.

Figura 73 – Fósforo Total: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Pode ser verificado na Figura 74 que as maiores leituras de FT foram registradas no ponto PC02, foz do córrego Zíper, e PC03, foz do córrego Samambaia. Este último recebe os esgotos sem tratamento da comunidade de Samambaia, pequeno aglomerado rural pertencente ao município de Santos Dumont. [19] Conforme relatado por Straškraba [72], os reservatórios atuam como armadilhas para o fósforo, o qual se acumula nos sedimentos e, por resultado, tem-se que as quantidades de fósforo que saem dos reservatórios são menores que as quantidades que entram. Este comportamento pode ser observado na Figura 74 ao se comparar as leituras nos pontos situados dentro do reservatório (PC04 e PC09) com os pontos dos tributários.

Figura 74 – Fósforo Total por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.16 *Cor*

A cor da água se refere ao grau de diminuição da intensidade da luz pela absorção em partículas denominadas coloides. Essas partículas geralmente são sólidos dissolvidos orgânicos e inorgânicos. Dentre as orgânicas estão os ácidos húmicos e fúlvicos, resultantes da decomposição da matéria orgânica. Dentre as inorgânicas estão o ferro e o manganês. A intervenção humana também pode alterar a cor da água, principalmente pelo lançamento de efluentes industriais e esgotos sanitários. [80]

Segundo a Fundação Nacional de Saúde (Funasa): [87]

As águas naturais apresentam, em geral, intensidades de cor variando de 0 a 200 uH. Valores inferiores a dez unidades são dificilmente perceptíveis. A cloração de águas coloridas com a finalidade de abastecimento doméstico pode gerar produtos potencialmente cancerígenos (trihalometanos), derivados da complexação do cloro com a matéria orgânica em solução.

Os resultados de leitura da cor foram tratados como variáveis categóricas, com ausência de leituras para a campanha de novembro de 2016. A maioria das leituras registrou valores inferiores a 2,5 uH, com duas leituras de 20 uH no período chuvoso, março de 2017, nos pontos PC02 e PC03. Mesmo assim, estes valores estão muito abaixo da referência para águas naturais conforme Funasa em [87]. A Resolução Conama nº 357/05 indica como referência apenas que esta deve ser a cor natural do corpo d'água, não estabelecendo limite numérico.

4.3.1.17 *Turbidez*

Conforme já relatado, a Resolução Conama nº 357/05 estipula o limite de até 40 UNT para a turbidez em águas de classe 1. Na Figura 75(a) se observa que as leituras de turbidez são baixas, com maior frequência de valores até 10 UNT, com mediana em 5,55 UNT. Na Figura 75(b) se observa que as leituras de turbidez na estação de chuva foram maiores que na seca. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,007157$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que 0,89 e nem maior que 4,46 UNT. Na bacia de drenagem a chuva promove o arraste de partículas orgânicas e inorgânicas para os corpos d'água, e nos cursos rasos, promove o revolvimento do fundo colocando em suspensão os sedimentos, o que aumenta a turbidez.

Na Figura 76 se verifica que as maiores leituras de turbidez foram registradas no ponto PC05, foz do rio Taquaruçu.

Figura 75 – Turbidez: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

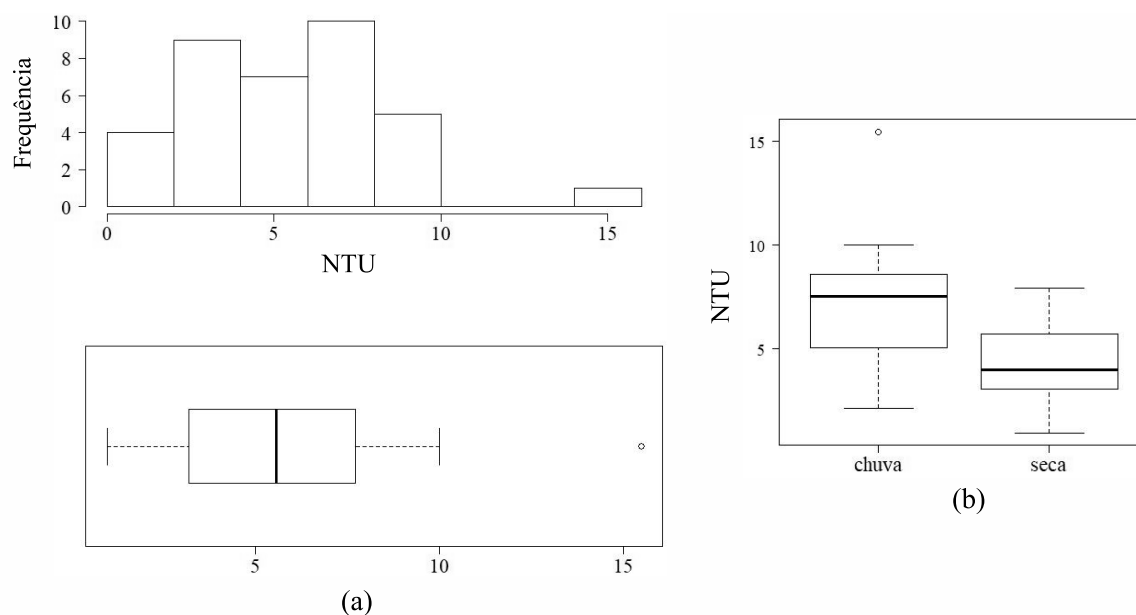
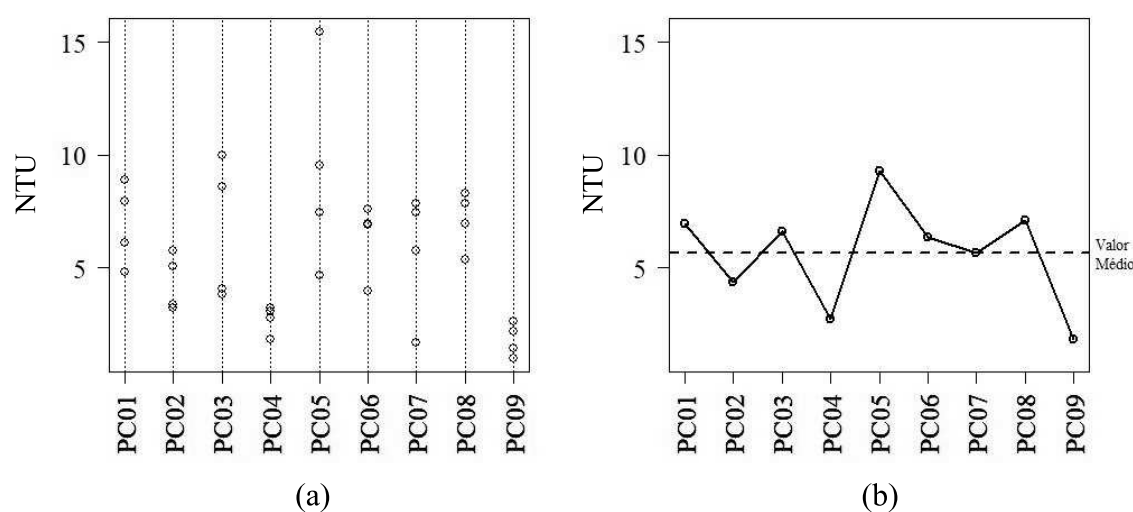


Figura 76 – Turbidez por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

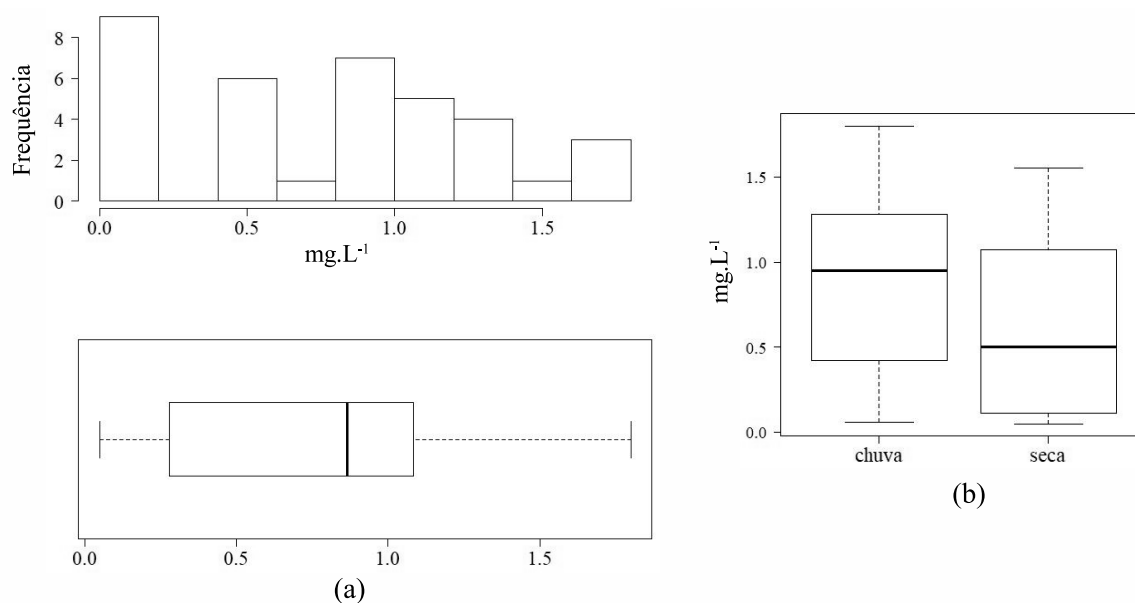


4.3.1.18 Ferro

A Resolução Conama n° 357/05 estipula o limite de até $0,3 \text{ mg.L}^{-1}$ de ferro nas águas de classe 1. A Figura 77(a) mostra que as leituras de Fe são altas, com várias observações acima deste valor e com mediana em $0,865 \text{ mg.L}^{-1}$. Na Figura 77(b) são apresentados os box plots para os períodos de chuva e seca, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,1455$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,03$ e nem maior que $0,75 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

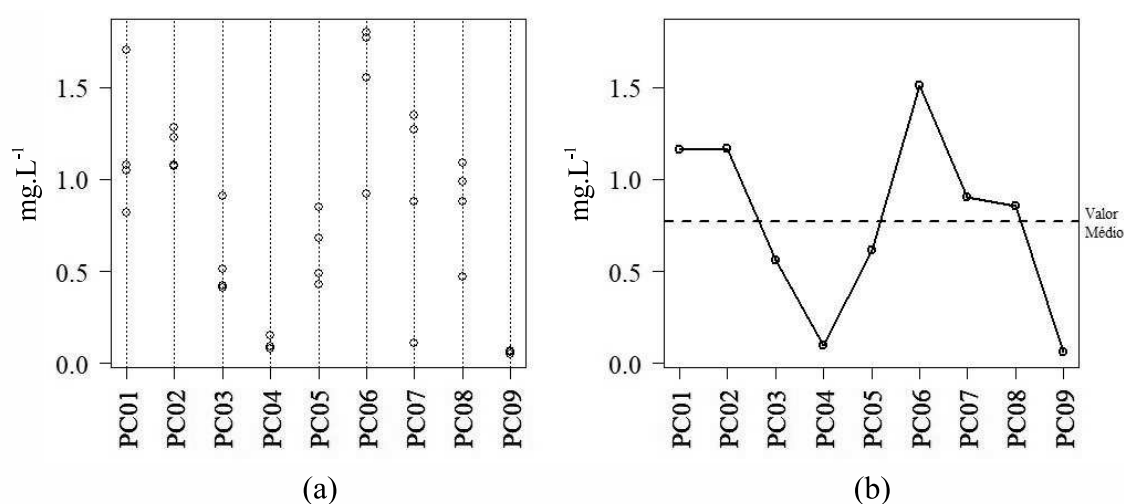
Na Figura 78 se verifica que nos pontos dentro do lago, PC04 e PC09, as leituras de

Figura 77 – Ferro: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Fe foram as mais baixas, consoante com o histórico de leituras da captação apresentadas na Seção 4.2. Os pontos de foz estão mais suscetíveis a relatarem nos parâmetros da água os efeitos de erosão das margens e da bacia. Como relatado no Capítulo 3 os processos erosivos são comuns nas margens do reservatório. Na campanha realizada em março de 2016 foram registrados 50 pontos de erosão na margem esquerda e 67 na margem direita do lago. Os valores mais altos de Fe nos tributários podem estar associados ao processos erosivos, sendo este um problema que merece atenção dos gestores na BCRCD.

Figura 78 – Ferro por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.19 Cloreto (Cl^-)

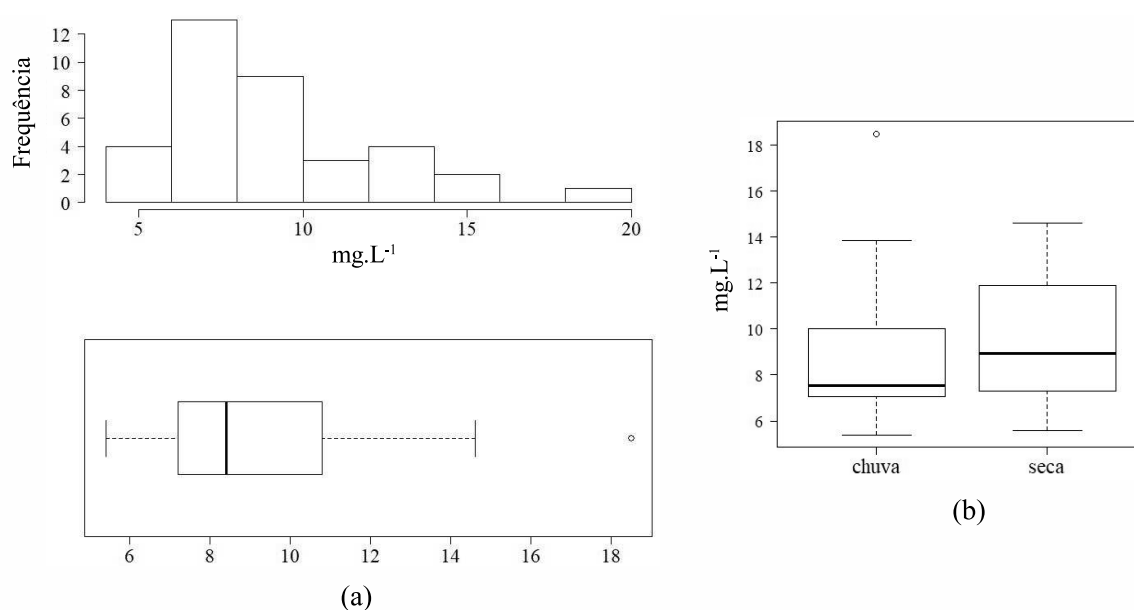
Como já relatado, a Resolução Conama nº 357/05 estipula, para classe 1, o limite para o cloreto de até 250 mg.L^{-1} . Todas as leituras realizadas pelo laboratório da Cesama

registraram como resultado $<6,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Ou seja, muito inferior ao limite da citada norma. Devido ao limite de detecção do laboratório, não foi possível diferenciar os pontos de amostragem por este parâmetro.

4.3.1.20 Dureza

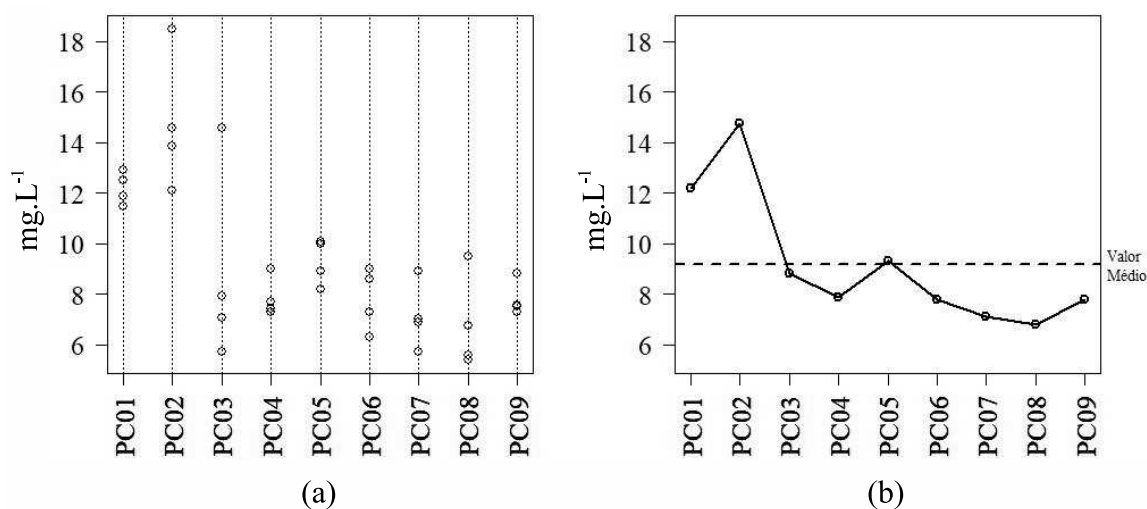
A Resolução Conama n° 357/05 não define limite para este parâmetro, no entanto, a Portaria MS n° 2.914/11 estabelece para a dureza da água potável o limite máximo de 500 mg.L^{-1} de CaCO_3 . A Figura 79(a) mostra que as leituras de dureza são baixas, com mediana em $8,4 \text{ mg.L}^{-1}$ de CaCO_3 . Na Figura 79(b) são apresentados os box plots por estação, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,3504$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que $-2,19$ e nem maior que $1,09 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

Figura 79 – Dureza: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



Na Figura 80 se verifica que o ponto PC02 registrou as maiores leituras. Como já relatado, a dureza da água está relacionada com o somatório das concentrações dos íons Ca^{+2} e Mg^{+2} . No distrito de Nova Dores do Paraibuna, a montante do ponto PC02, há um empreendimento de laticínio. Esse tipo de atividade gera efluentes líquidos ricos em Ca^{+2} e Mg^{+2} , e de elevada dureza. Esta situação pode explicar o resultado das leituras maiores na foz do córrego Zíper. [97]

Figura 80 – Dureza por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.21 Oxigênio consumido (OC)

Conforme já relatado, o OC é um bom indicador de qualidade da água em substituição à Demanda Química de Oxigênio (DQO), e, como referência, águas com leitura de OC acima de 5 mg.L⁻¹ são consideradas com maior teor de carga orgânica. [86]

A Figura 81(a) mostra que as leituras de OC são baixas, com mais ocorrências de valores entre 1,8 e 2,0 mg.L⁻¹ e com mediana em 2,0 mg.L⁻¹. Na Figura 81(b) são apresentados os box plots para os períodos de chuva e seca, porém o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,8076$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que -0,14 e nem maior que 0,05 mg.L⁻¹, ou seja, pode ser zero.

A Figura 82 mostra que não houve muita diferenciação entre os pontos de coleta.

4.3.1.22 Demanda química de oxigênio (DQO)

A DQO expressa a quantidade de oxigênio necessária para oxidação da matéria orgânica através de um agente químico. Difere da DBO_{5,20} pois enquanto essa se refere à oxidação da matéria orgânica mineralizada por microrganismos, a DQO também considera a estabilização da matéria orgânica ocorrida por processos químicos. Valores altos de DQO num corpo d'água estão relacionados principalmente ao lançamento de efluentes industriais.

A Figura 83(a) mostra que as leituras de DQO têm mediana em 9 mg.L⁻¹ de O₂. Não há referência de limites legais para a DQO em águas naturais, seu uso como indicador é mais comum em estações de tratamento de esgoto. O Índice de Qualidade de Água em Reservatórios (IQAR), criado pelo Instituto Ambiental do Paraná para verificar a

Figura 81 – Oxigênio Consumido: (a) box plot e histograma - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

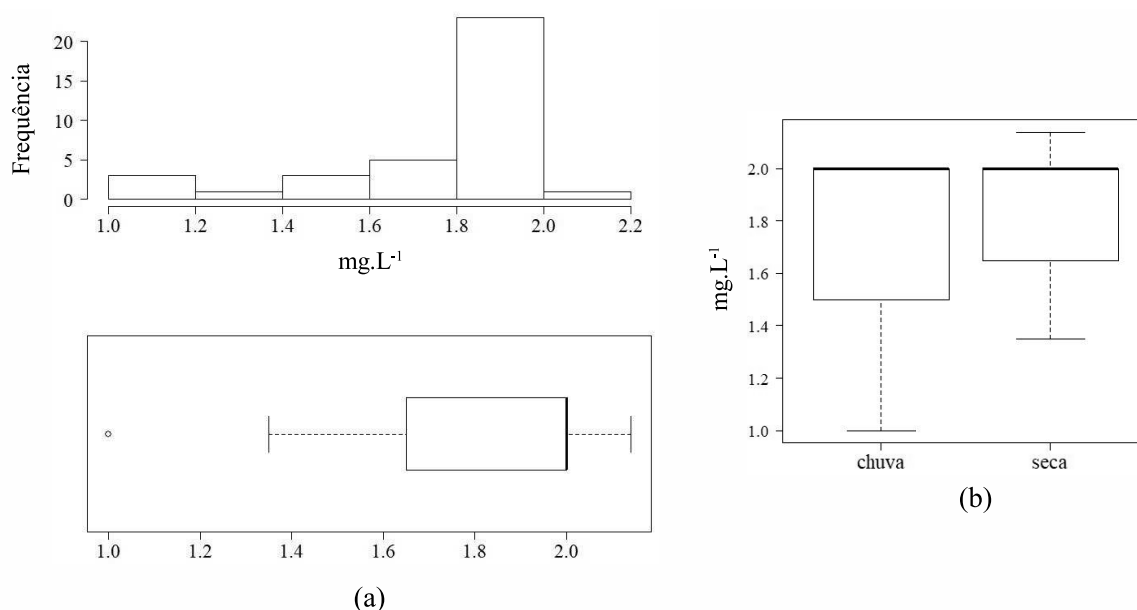
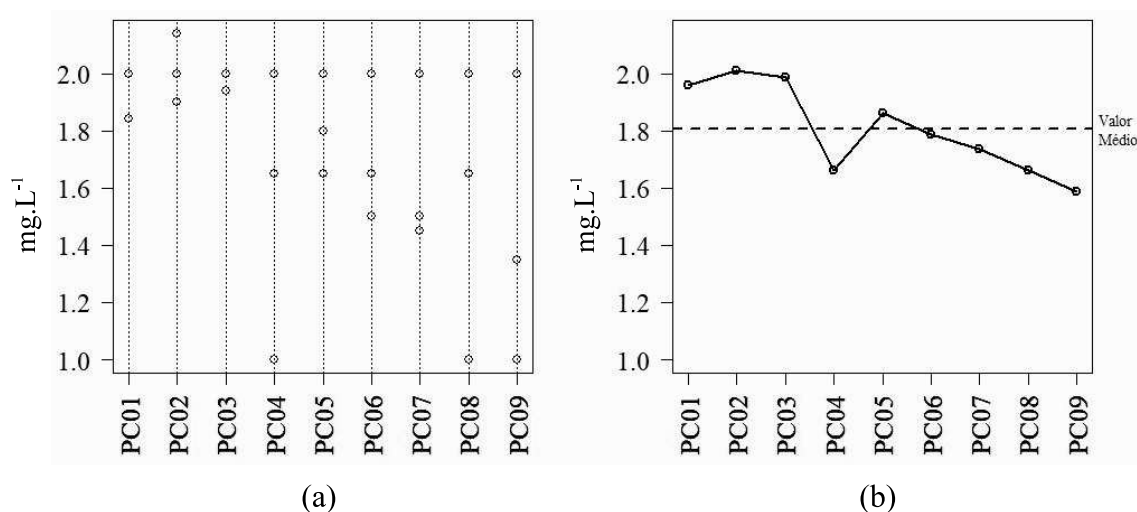


Figura 82 – Oxigênio Consumido por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



degradação da qualidade da água dos reservatórios [98], considera que os valores de DQO entre 9 e 14 mg.L^{-1} correspondem a reservatório de classe IV, o qual é descrito como:

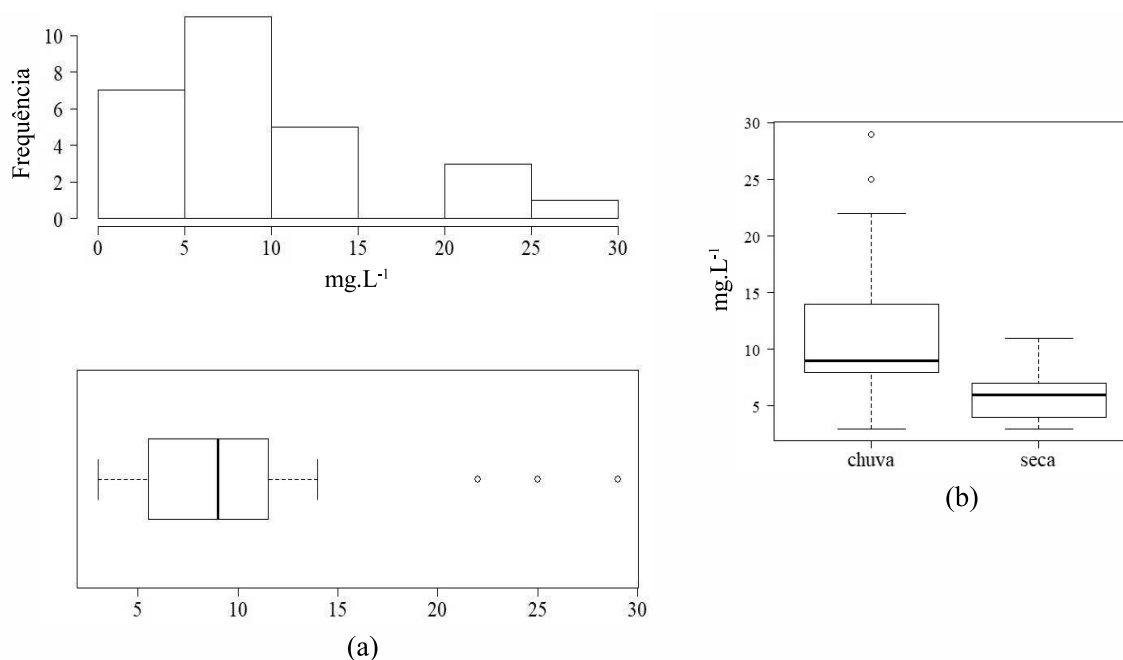
Classe IV - criticamente degradado a poluído: Corpos de água com entrada de matéria orgânica capaz de produzir uma depleção crítica nos teores de oxigênio dissolvido da coluna d'água, aporte de consideráveis cargas de nutrientes, alta tendência a eutrofização, ocasionalmente com desenvolvimento maciço de populações de algas e/ou cianobactérias, ocorrência de reciclagem de nutrientes, baixa transparência das águas associada principalmente a alta turbidez biogênica. A partir desta Classe é possível a ocorrência de mortandade de peixes em determinados períodos de acentuado

déficit de oxigênio dissolvido;

Essas características não correspondem ao observado no reservatório de Chapéu D'Uvas. Porém, é importante ressaltar que para o cálculo do IQAR, além da DQO, outras variáveis são utilizadas. Ainda assim, tal caracterização a partir unicamente deste parâmetro pode sugerir a necessidade de um monitoramento destas características da água no manancial e de uma investigação mais aprofundada.

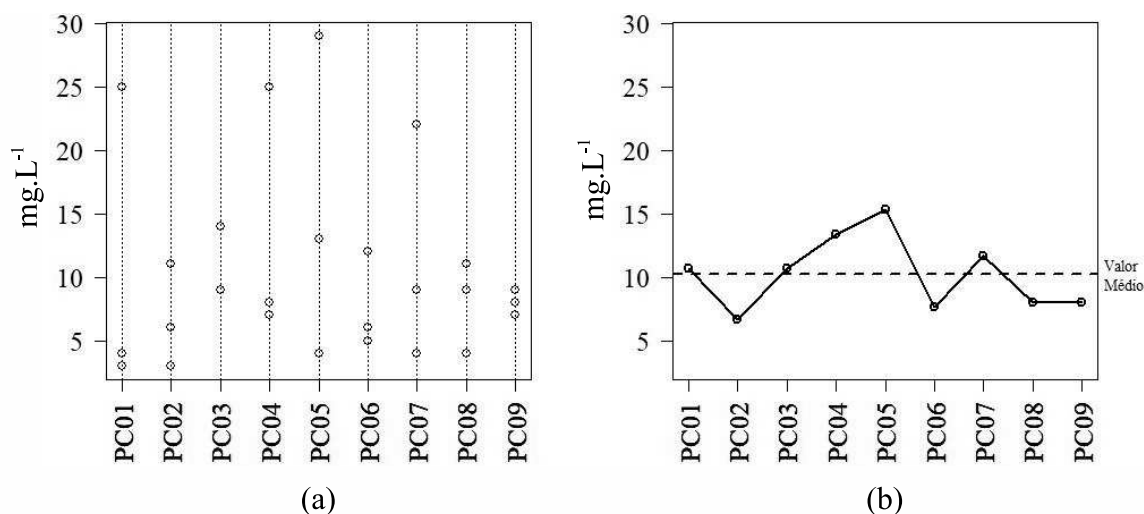
Na Figura 83(b) são apresentados os box plots por estação, onde se verifica que na chuva os valores foram maiores. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,02615$), com 95% de confiança de que a diferença entre as medianas não é menor que 0,00007 e nem maior que 8,9 mg.L^{-1} . Apesar do resultado do $p\text{-value}$, a interpretação do intervalo de confiança mostra que a diferença, na prática, pode ser zero. Cabe ressaltar que este parâmetro não foi analisado pelo laboratório da Cesama na coleta de julho de 2017.

Figura 83 – Demanda Química de Oxigênio: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



A Figura 84 mostra que os pontos PC01, PC04, PC05 e PC07 apresentaram as maiores leituras, o que causou surpresa visto que no PC02 se esperava maiores leituras devido ao despejo de efluentes domésticos da vila de Nova Dores do Paraibuna e do laticínio lá instalado.

Figura 84 – Demanda Química de Oxigênio por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.23 Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)

Conforme relatado, a Resolução Conama n° 357/05 estipula o limite para o parâmetro $DBO_{5,20}$ de até 3 mg.L^{-1} de O_2 para os corpos d'água da classe 1. As leituras históricas da captação relatadas em 4.2 têm mediana em 12 mg.L^{-1} . O mesmo valor se repetiu nesta pesquisa com os demais pontos, visto que, por condição do limite de detecção dos equipamentos utilizados pelo laboratório da Cesama, o qual não registrou leituras menores que 12 mg.L^{-1} de O_2 . Desse modo, o estudo deste parâmetro em relação à norma citada ficou prejudicado.

A Figura 85(a) mostra que as leituras de $DBO_{5,20}$ têm mediana em 12 mg.L^{-1} de O_2 e na Figura 85(b) são apresentados os box plots por estação. No entanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,6255$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-9,24$ e nem maior que $2,24 \text{ mg.L}^{-1}$, ou seja, pode ser zero.

A Figura 86 mostra que as maiores leituras foram registradas no ponto de amostragem PC03, foz do córrego Samambaia. Também o ponto PC04, no meio da represa, teve uma leitura alta.

4.3.1.24 Sólidos dissolvidos totais (SDT)

Os sólidos presentes na água podem se apresentar nas formas em suspensão - sedimentáveis e não sedimentáveis; ou dissolvidos - voláteis e fixos. As fontes naturais de sólidos nos ecossistemas aquáticos são as partículas inorgânicas de solo e rochas provenientes de processos erosivos, os organismos e detritos orgânicos. Porém, a ação humana pode intensificar os processos erosivos na bacia de drenagem, ou ainda, o lançamento de efluentes

Figura 85 – Demanda Bioquímica de Oxigênio: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

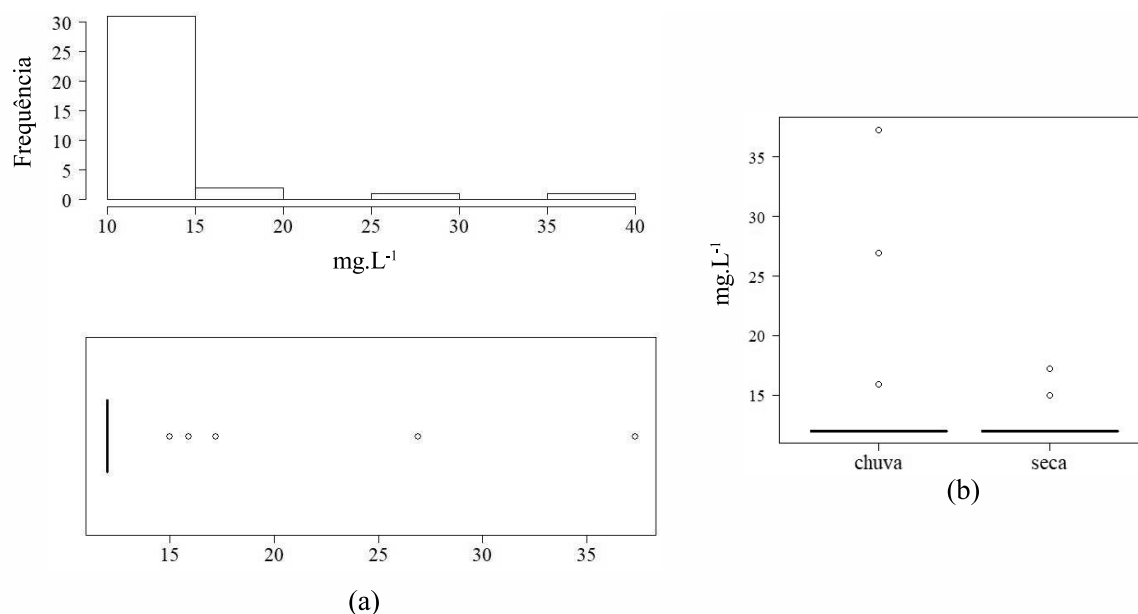
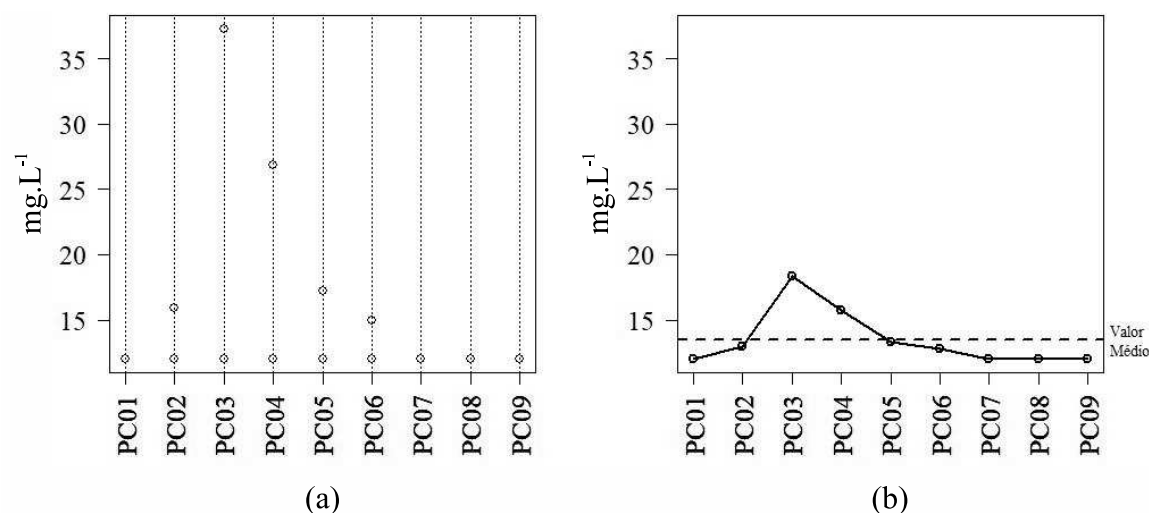


Figura 86 – Demanda Bioquímica de Oxigênio por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto

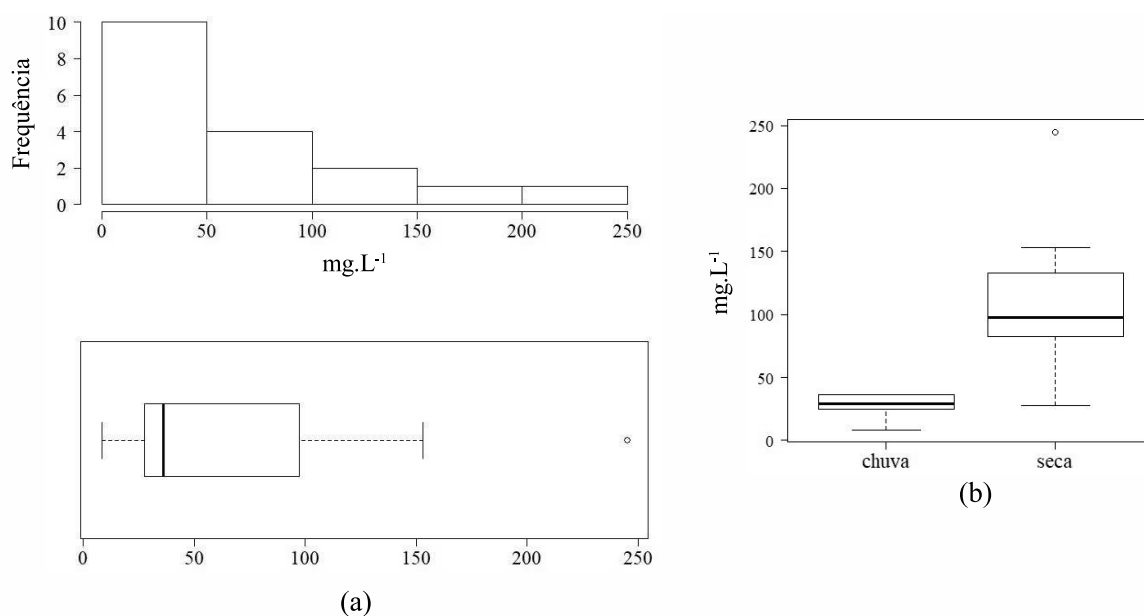


nos corpos d'água também podem carrear sólidos. O parâmetro sólidos dissolvidos pode ser um bom indicador de qualidade da água, por refletir a influência do lançamento de esgotos no corpo hídrico. [80] [87]

A Resolução Conama nº 357/05 estipula, para classe 1, o limite para o parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) de 500 mg.L^{-1} . A Figura 87(a) mostra que as leituras de SDT foram mais frequentes para valores até 100 mg.L^{-1} , com mediana em $36,2 \text{ mg.L}^{-1}$. Estes resultados estão bem abaixo dos limites da citada norma. A Figura 87(b) apresenta os box plots por estação, onde se verifica que as leituras da estação seca foram mais altas. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente

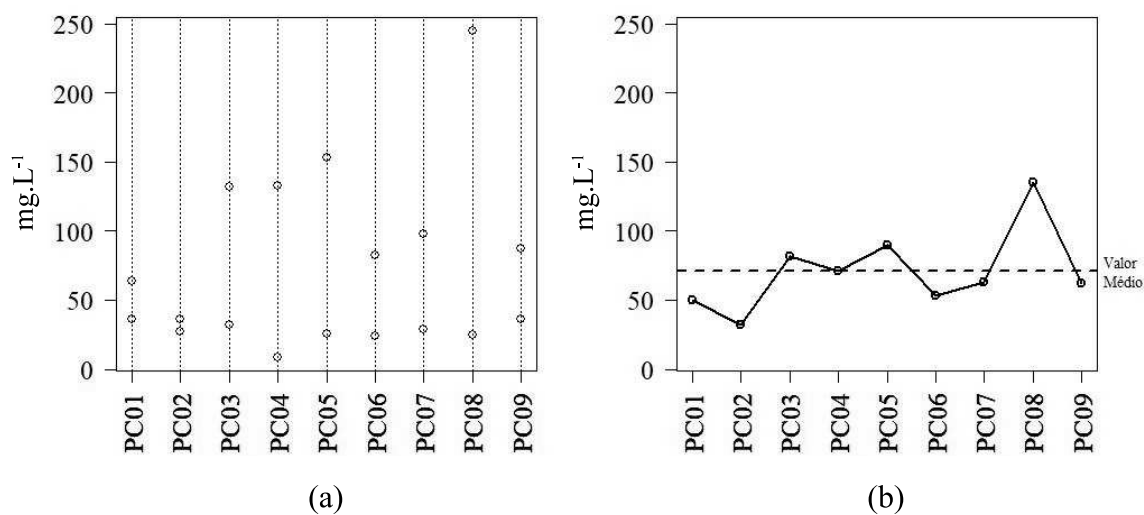
diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,001987$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -117,00 e nem maior que -46,10. Este resultado pode estar associado à diluição, pois, com menores vazões nos tributários a concentração de sólidos pode ser maior nos pontos de amostragem situados em foz. Cabe ressaltar que foram realizadas apenas duas análises deste parâmetro pelo laboratório da Cesama, sendo uma para a campanha de coleta em setembro de 2016 (seca) e outra para março de 2017 (chuva), o que pode prejudicar a interpretação.

Figura 87 – Sólidos Dissolvidos Totais: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



A Figura 88 mostra que houve uma leitura mais alta no ponto PC08, porém, pelo número reduzido de informações deste parâmetro, a interpretação fica prejudicada.

Figura 88 – Sólidos Dissolvidos Totais por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



Como explicado, as leituras das coletas realizadas em setembro 2016 (seca) apresentaram moires valores, em média, que as leituras registradas para março de 2017 (chuva).

4.3.1.25 *Sólidos suspensos totais (SST)*

Na forma de sólidos em suspensão pode haver matéria orgânica, proveniente da decomposição de organismos, e inorgânica, de origem mineral. Em maiores concentrações podem vir a prejudicar a qualidade ambiental da água ao permitirem a fixação de agentes patogênicos na superfície destas partículas. Além disso, se a densidade dos sólidos for maior que a da água, e em condições de baixa turbulência, os Sólidos Suspensos Totais (SST) podem sedimentar no leito dos corpos hídricos prejudicando organismos que fornecem alimentos, ou ainda, danificam os leitos de desova de peixes. Outra consequência da sedimentação é a retenção de bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia. Para a situação de um manancial de abastecimento, os altos teores de sais minerais podem causar corrosão em sistemas de distribuição e também conferir sabor à água. [80]

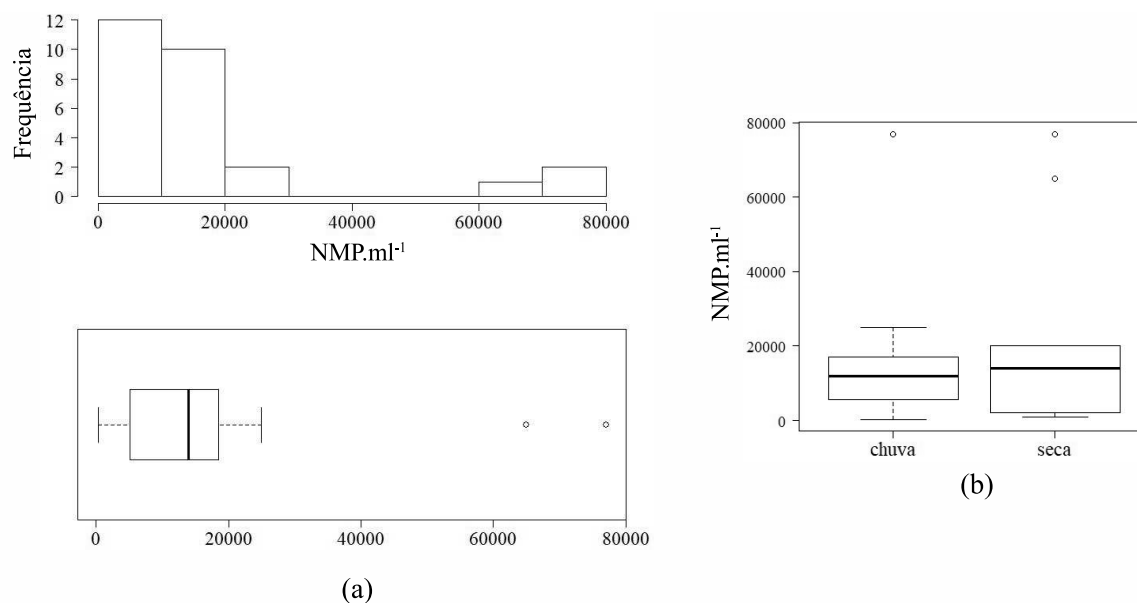
As leituras de SST foram realizadas apenas nas campanhas de setembro de 2016 (seca) e outra na de março de 2017 (chuva), como no caso do parâmetro SDT. Por condição do limite de detecção dos equipamentos utilizados pelo laboratório da Cesama todas as leituras foram registradas com valores $<8,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Não há valor de referência para este parâmetro e, pela indisponibilidade de leituras em todas as campanhas, a interpretação dos resultados ficou prejudicada.

4.3.1.26 *Coliformes totais (CT)*

Como já relatado, a Resolução Conama nº 357/05 não define limite para os coliformes totais. Os dados históricos da captação revelaram a mediana das leituras acima de $2.400 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ de amostra, como apresentado na Seção 4.2. Para as amostras das campanhas realizadas, pode ser verificado na Figura 89(a) que as leituras de CT foram mais elevadas, com mediana em $14.000 \text{ NMP.100ml}^{-1}$ de amostra, sendo este parâmetro um fator preocupante para a gestão do reservatório. Na Figura 89(b) são apresentados os box plots por estação, no entanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,9384$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -13370 nem maior que 6720, ou seja, pode ser zero.

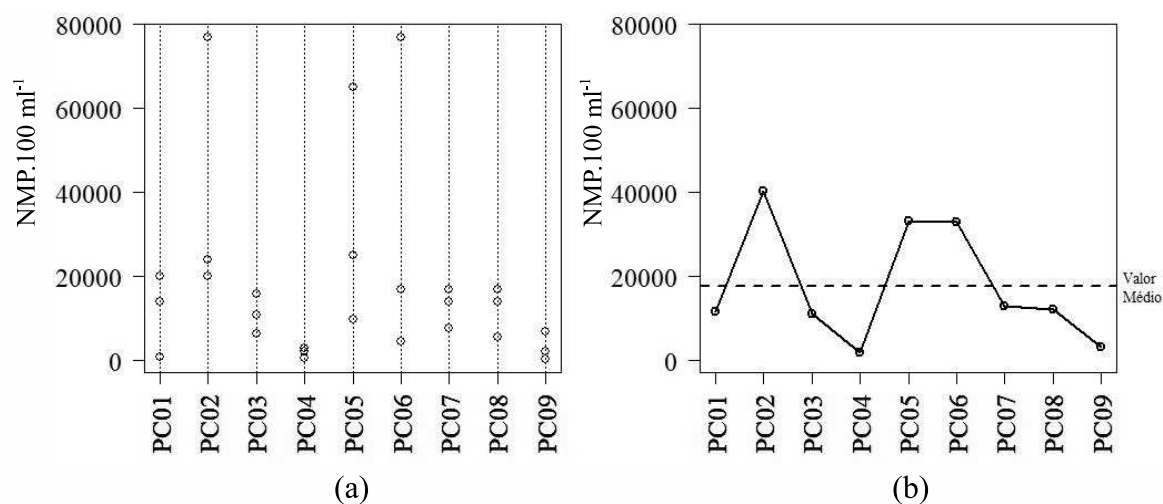
A Figura 90 mostra que as leituras mais altas foram registradas nos pontos de foz PC02, PC05 e PC06. E os pontos dentro do lago, PC04 e PC09, apresentaram as médias mais baixas. Isto mostra que os tributários são os maiores responsáveis pela presença

Figura 89 – Coliformes Totais: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



destas bactérias na represa e que o efeito de diluição do reservatório é refletido nas leituras mais baixas dos pontos dentro do lago.

Figura 90 – Coliformes Totais por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



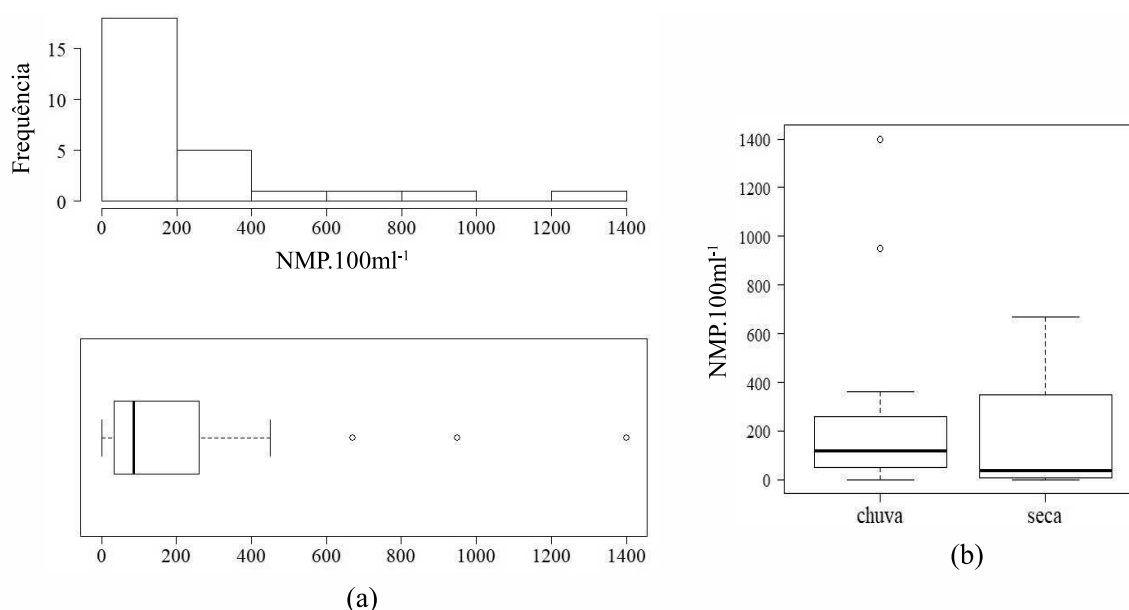
4.3.1.27 *Escherichia coli* (*E. coli*)

Conforme já relatado, a Resolução Conama nº 357/05 e a DN Copam/CERH nº01/2008 estabelecem o limite máximo de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros de água. Para o conjunto de dados das amostras das campanhas realizadas, a Figura 91(a) ilustra que as leituras de *E. coli* estiveram, com maior frequência, abaixo do limite da DN Copam/CERH nº01/2008, com mediana em 86 NMP.100ml⁻¹. Porém, foram registradas 9 leituras acima deste limite da DN Copam/CERH nº01/2008. Pode ser verificado que,

apesar das leituras altas de CT, as leituras de *E. coli*, tipo de coliforme que pode indicar a presença de patogênicos, são baixas.

Na Figura 91(b) são apresentados os box plots por estação, no entanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,5199$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -150,00 nem maior que 180,00, ou seja, pode ser zero.

Figura 91 – *E. coli*: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

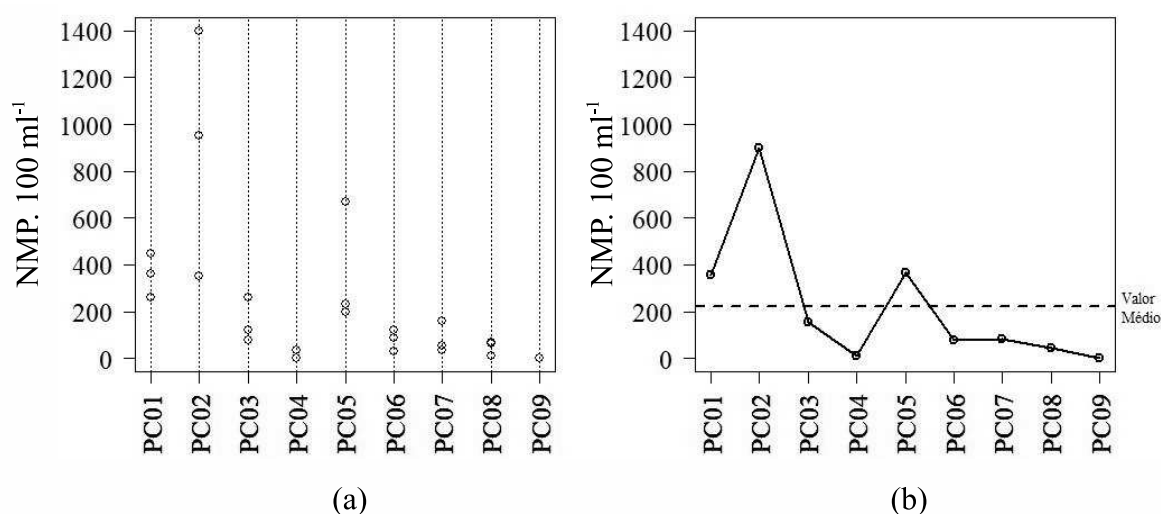


A Figura 92 mostra que as leituras mais altas foram registradas no pontos PC02, foz do córrego Zíper, o qual, como já relatado, recebe os esgotos domésticos do distrito de Nova Dores do Paraibuna. E ainda, se verifica que, mais uma vez, os pontos da represa (PC04 e PC09) registraram as mais baixas médias.

4.3.1.28 Densidade de cianobactérias

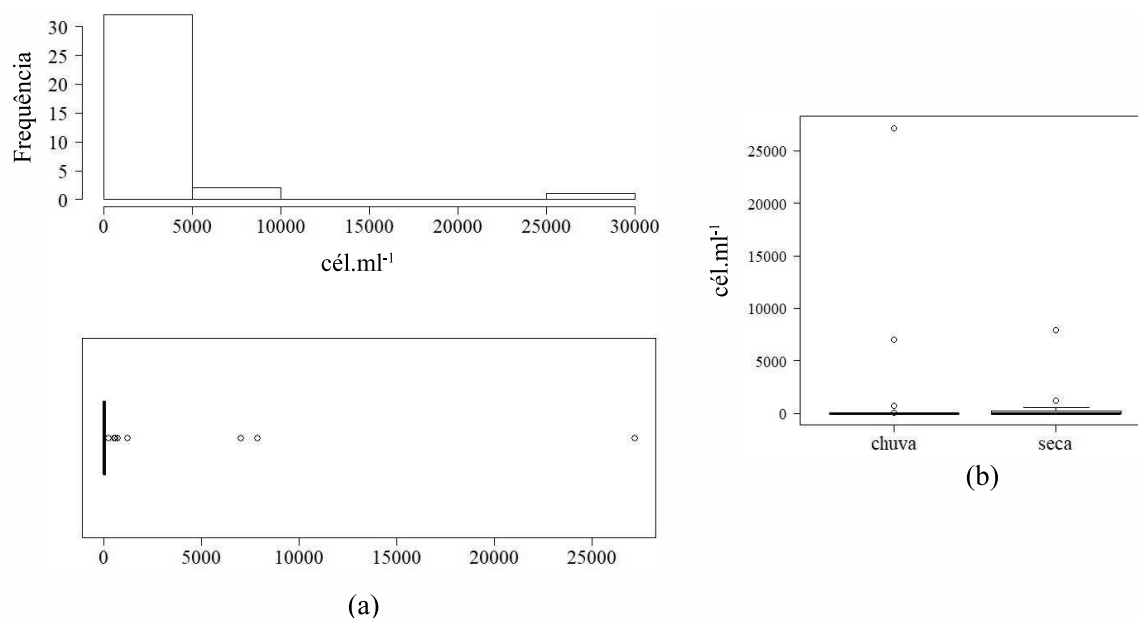
A Resolução Conama nº 357/05 limita a densidade de cianobactérias a 20.000 cél.ml⁻¹. Nos dados históricos da captação foram registradas apenas quatro ocorrências com densidade acima de 20.000 cél.ml⁻¹. Para o conjunto de dados das campanhas realizadas, na Figura 93(a) se observa que a densidade de cianobactérias lida registrou valores com maior frequência abaixo de 5.000 cél.ml⁻¹. Como em vários pontos de amostragem não foram encontradas cianobactérias, a mediana ficou em 0. Porém, foi registrada uma ocorrência acima do limite, com 27.000 cél.ml⁻¹ no ponto PC09 - captação, em março de 2017, estação de chuva e com temperatura em 29,6 °C, a mais alta registrada em todos os pontos nas quatro campanhas. Na Figura 93(b) são apresentados os box plots para os períodos de chuva e seca, no entanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney

Figura 92 – *E. coli* por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,4463$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-0,00002$ nem maior que $0,00001$, ou seja, é praticamente zero.

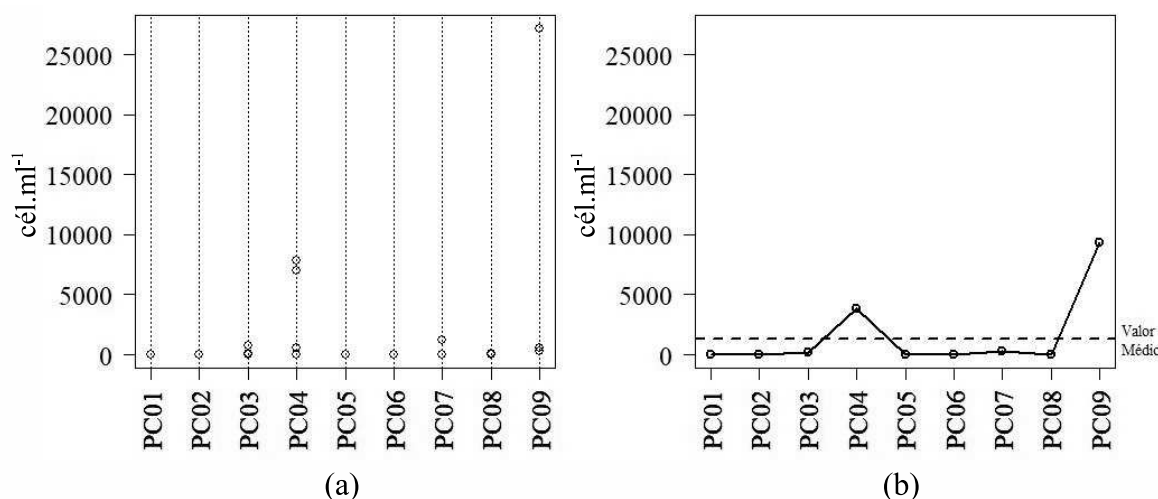
Figura 93 – Densidade de cianobactérias: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação



A Figura 94 mostra que as leituras mais altas foram registradas nos pontos dentro do lago, que são PC04 - no médio curso; PC09 - captação. Nos tributários, das 28 leituras realizadas, apenas 5 registraram a presença de cianobactérias, e mesmo assim com valores muito abaixo do limite. Este resultado mostra que as principais fontes das cianobactérias estão dentro do lago, e não nos tributários. Isso pode ser consequência da inundação da represa sem remoção da vegetação, tendo ainda fitomassa em decomposição no fundo do

lago. [19] No entanto, não se deve desconsiderar o fato de que os ambientes lacustres, característicos dos reservatórios, favorecem o desenvolvimento de cianobactérias. [75]

Figura 94 – Densidade de cianobactérias por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.1.29 Densidade de fitoplâncton - outros grupos

Além do grupo Cyanophyta, mais conhecido por cianobactérias, há outros grupos de fitoplâncton de água doce: Cholophyta, Charophyta, Euglenophyta, Heterokontas, Chryptophyta e Dinoflagelados. A variável "Densidade de fitoplâncton - outros grupos" se refere a estes demais.

As cianobactérias, por seu potencial risco à saúde pela liberação de cianotoxinas na água, merece um estudo destacado e conta ainda com um limite estabelecido na Resolução Conama nº 357/05. Porém, os demais grupos também ajudam na caracterização limnológica da represa em estudo. A Figura 95(a) mostra que a densidade dos outros grupos de fitoplâncton teve leituras com maior frequência de valores abaixo de 500 cél.ml^{-1} e mediana em 29,73 cél.ml^{-1} . Na Figura 95(b) são apresentados os box plots por estação, no entanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação, para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,5063$).

A Figura 96 mostra que as médias mais altas de leituras, assim como ocorreu com as cianobactérias, foram registradas no pontos dentro do lago - PC04 e PC09.

4.3.1.30 Densidade total de fitoplâncton

Esta variável engloba todos os grupos de fitoplâncton encontrados nas amostras. É o valor da soma das leituras de cianobactérias e dos outros grupos. A Figura 97(a) mostra que a densidade total de fitoplâncton teve leituras com maior frequência de valores abaixo

Figura 95 – Densidade de fitoplâncton - outros grupos: (a) histograma e box plot - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

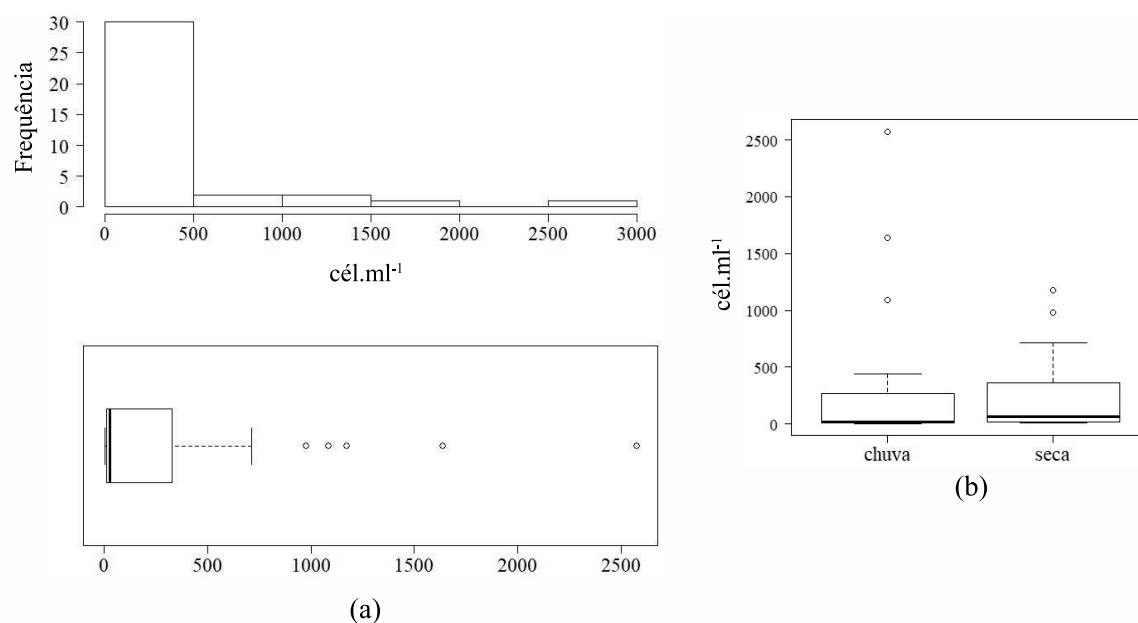
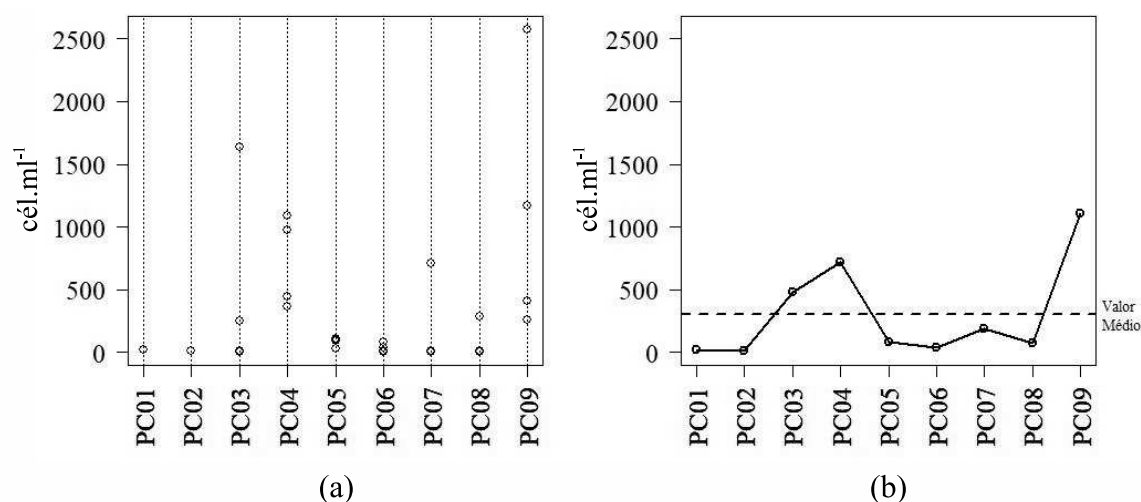


Figura 96 – Densidade de fitoplâncton - outros grupos por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



de $5.000 \text{ cél.ml}^{-1}$ e mediana em 34 cél.ml^{-1} . Na Figura 97(b) são apresentados os box plots por estação, no entanto, assim como ocorreu com a densidade de cianobactérias e dos outros grupos, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que, para um nível de significância de 5%, não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas são diferentes por estação ($p\text{-value} = 0,5063$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que $-100,67$ nem maior que $24,61$, ou seja, pode ser zero.

A Figura 98 mostra que as médias mais altas de leituras, assim como ocorreu com as cianobactérias, foram registradas no pontos dentro do lago - PC04 e PC09.

Figura 97 – Densidade Total de Fitoplâncton: (a) box plot e histograma - PC01 a PC09; (b) box plot por estação

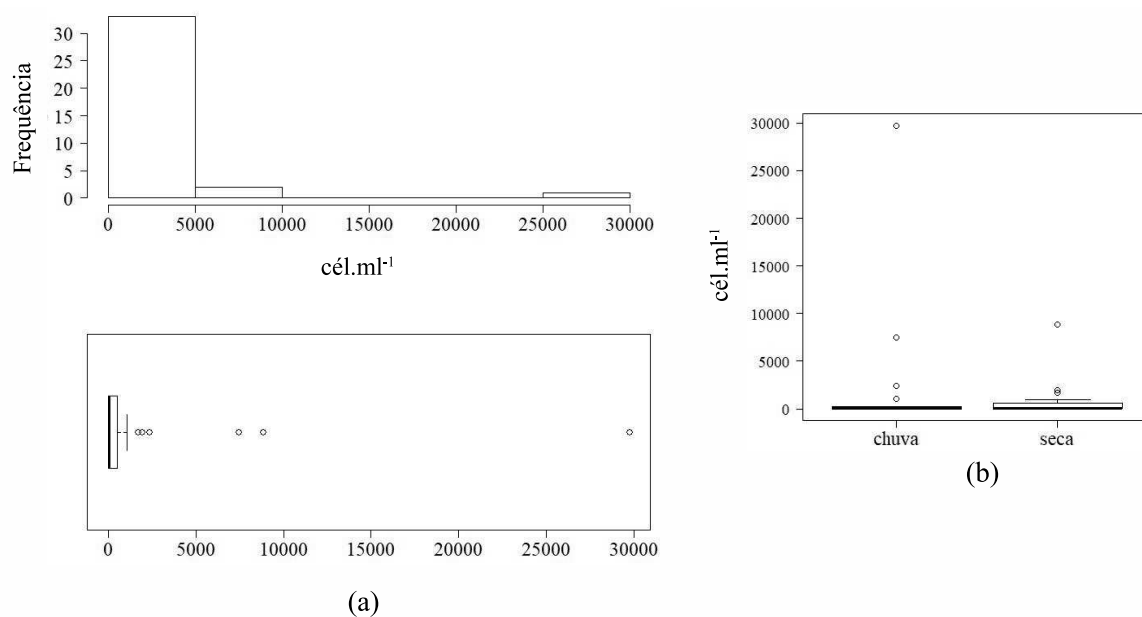
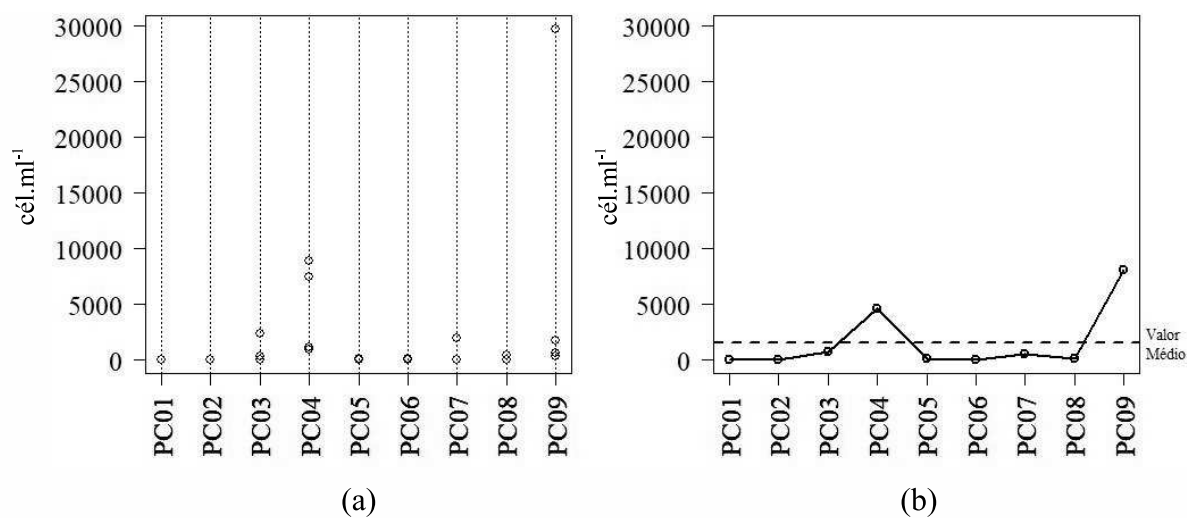


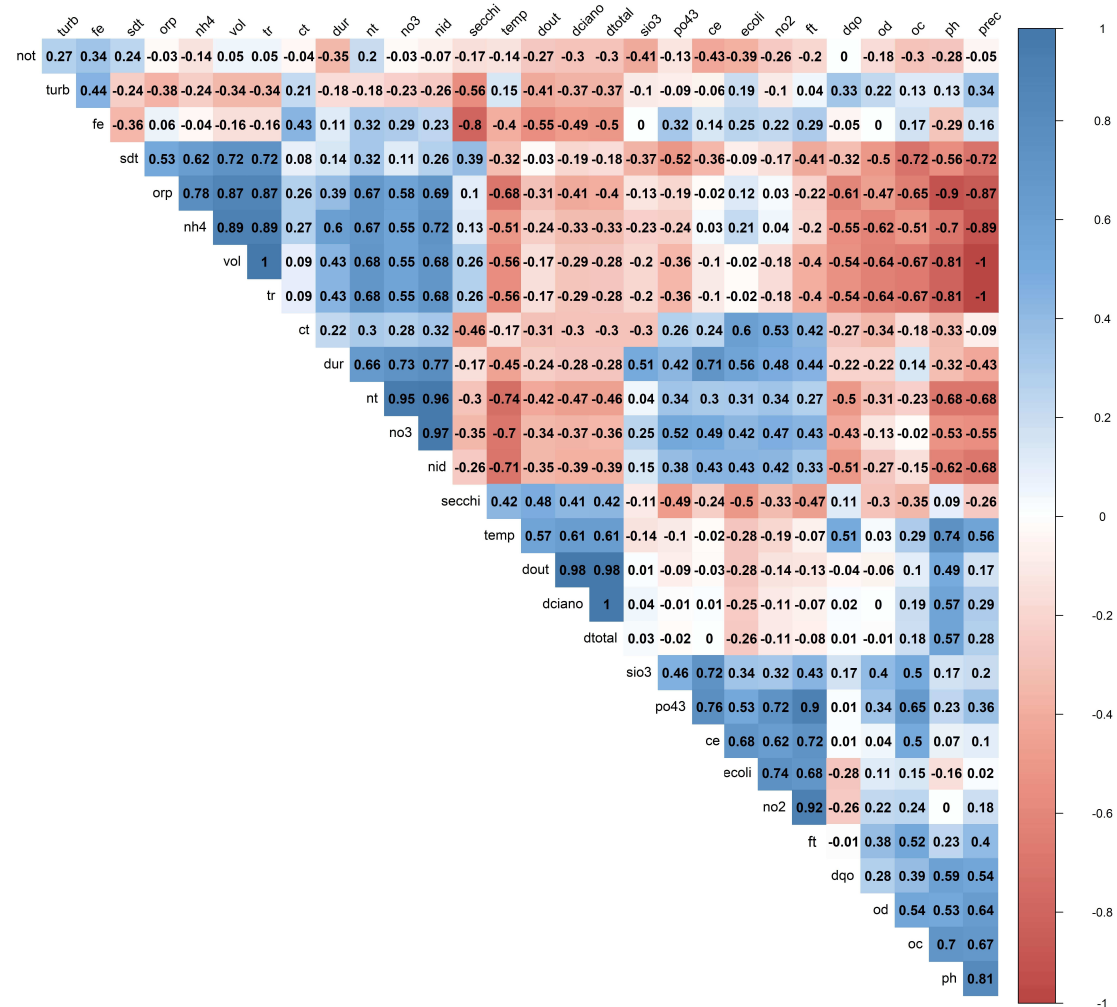
Figura 98 – Densidade Total de Fitoplâncton por ponto de amostragem: (a) leituras por ponto; (b) média por ponto



4.3.2 Correlações dos parâmetros de qualidade da água

As correlações dos parâmetros descritos acima são apresentadas na Figura 99 .

Figura 99 – Correlograma - parâmetros de qualidade da água - dados das campanhas - 2016/2017



Parâmetros: (ce) CE; (ct) CT; (dbo) DBO_{5,20}; (dciano) Densidade de cianobactérias; (doutros) Densidade de Fitoplâncton - outros grupos; (dtotal) Densidade Total de Fitoplâncton; (dqp) DQO; (dur) Dureza; (ecoli) *E. Coli*; (fe) Fe; (ft) FT; (nh4) NH₄⁺; (nid) NID; (no2) NO₂⁻; (no3) NO₃⁻; (not) NOT; (nt) NT; (oc) OC; (od) OD; (odp) OD-saturação (ph) pH; (po43) PO₄⁻³; (prec) precipitação; (orp) ORP; (sdt) SDT; (secchi) profundidade do disco de Secchi; (sio3) SiO₃; (temp) Temperatura; (tr) Tempo de residência em dias; (turb) Turbidez; (vol) Volume da represa.

Observando a Figura 99, é importante destacar o comportamento das variáveis volume (do reservatório) e tempo de residência. Dos nove pontos de amostragem, apenas o PC04 e o PC09 são dentro do reservatório. Os demais estão situados no exutório do rio Paraibuna e nas foz de tributários. Numa análise inicial as correlações dessa variável volume causaram estranheza, visto que não se observava o efeito de diluição nos resultados. Porém, o fato de apenas dois pontos de amostragem serem referentes ao reservatório ajuda a entender tal comportamento, pois, os pontos de foz independem da variação do volume uma vez que, exceto na primeira campanha, esses estavam à montante da faixa de transição dos ambientes lótico e lêntico. Conforme apresentado na Seção 2.1.3, o volume do reservatório é mais alto na estação seca e mais baixo na estação de chuva, para atendimento à função da barragem de amortecimento de cheias e perenização do rio Paraibuna. A Figura 100 ilustra esta situação, comparando, com fotografias, os níveis encontrados na campanha de reconhecimento em 30/06/16 (estação seca) e na campanha do dia 13/02/17 (estação de chuva): em (a) e (b) acesso ao ponto PC05, foz do rio Taquaruçu; em (c) e (d) acesso ao ponto PC06, foz do ribeirão São Bento; em (e) e (f) acesso ao ponto PC08, foz do ribeirão Lambari. Desde a primeira coleta, com o depleciamento do reservatório, já não se observava o efeito do nível do reservatório nos pontos de amostragem, ou seja, colhia-se a amostra do tributário, e não do lago.

Além da constatação visual, analisando a variável volume em relação às estações verifica-se na Figura 101 (a) que a mesma é maior na estação seca. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,008553$). Ou seja, não é necessariamente o volume que está influenciado os parâmetros de qualidade da água, mas aqueles, assim como o volume, são influenciados pela estação.

A interpretação do Tr passa por uma questão semelhante ao volume do reservatório: apenas os pontos PC04 e PC09 estão situados dentro do lago. Assim, não faz sentido interpretar a correlação do tempo de residência do reservatório com os pontos de foz dos tributários. Na Figura 101 (b) se verifica que a mediana do Tr na estação seca é maior que na de chuva. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são significativamente diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,008553$).

Nota-se na Figura 99 que tanto o volume como o Tr apresentaram correlação negativa muito forte com a precipitação (-1), o que está relacionado com a operação da barragem conforme explicado na seção 2.1.3. Deste modo, as correlações das variáveis volume e Tr são simétricas com as correlações da precipitação. Assim sendo, devem ser analisadas em relação à precipitação uma vez que esta determina as manobras da barragem, influenciando nas outras duas.

Figura 100 – Variação do nível do reservatório em 30/06/16 e 13/03/17: (a) e (b) acesso ao ponto PC05 - foz do rio Taquaruçu, (c) e (d) acesso ao ponto PC06 - foz do ribeirão São Bento, (e) e (f) acesso ao ponto PC08 - foz do ribeirão Lambari



(a)



(b)



(c)



(d)

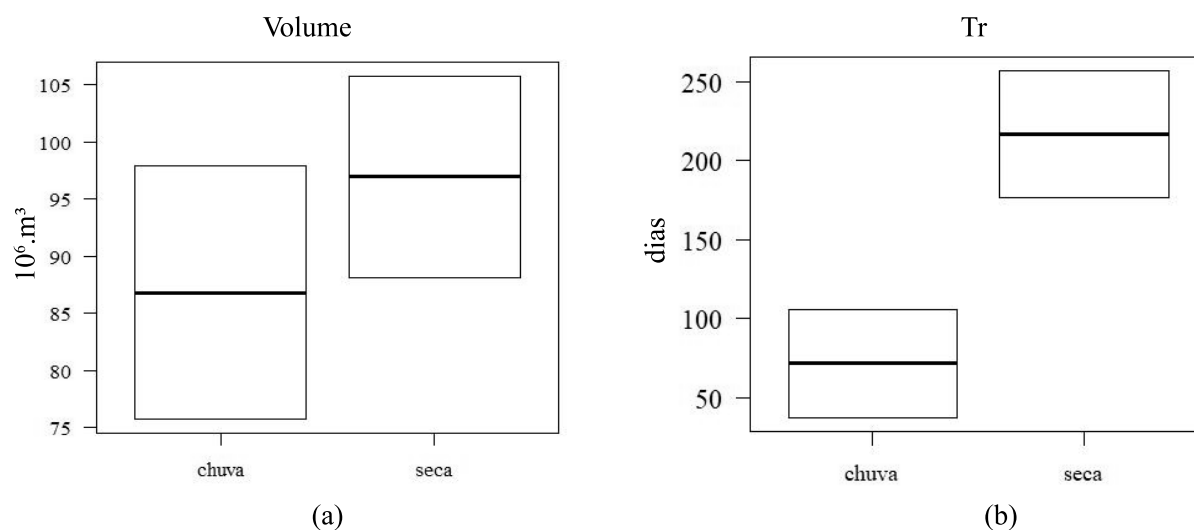


(e)



(f)

Figura 101 – Box plot por estação: (a) Volume do reservatório e (b) Tempo de residência



A precipitação apresentou correlação positiva forte com o pH (0,81), sugerindo que as chuvas diminuem a acidez da água. Possui correlação positiva moderada com o OC (0,67), OD (0,64), temperatura (0,56) e DQO (0,54). Estes resultados apontam que a estação de chuvas contribuem tanto para a oxigenação da água dos tributários e da represa quanto para o carreamento de matéria orgânica para os corpos hídricos. Possui correlação negativa forte com o NH_4^+ (-0,89), negativa moderada com o NT (-0,68), o NO_2^- (-0,68) e o NO_3^- (-0,55). Estes resultados podem estar associados à assimilação do nitrogênio pelo fitoplâncton na estação de chuvas. Também apresentou correlação negativa forte com o ORP (-0,87), o que indica que o aumento das chuvas implica num comportamento redutor da água, devido a poluição causada pela lixiviação, o arraste de contaminantes do solo para os corpos hídricos. A precipitação apresentou ainda correlação negativa forte com o SDT (-0,72), associada provavelmente à diluição dos sólidos pelo aumento do volume de água.

Da série nitrogenada, o NOT não apresentou correlação de moderada a muito forte com nenhum outro parâmetro. O NH_4^+ apresentou correlação positiva forte com o ORP (0,78) o que pode ser explicado pela presença de matéria orgânica a ser oxidada. Também apresentou correlação positiva forte com o NID (0,72), o que pode ser explicado uma vez que o NID é uma combinação linear (soma) das formas inorgânicas de nitrogênio, conforme apresentado na equação 6 da Seção 4.3.1.10. Possui correlação positiva moderada com o NT (0,67), por ser uma forma nitrogenada presente no total, assim como o NO_3^- (0,55). Ainda apresentou correlação positiva moderada com o SDT (0,62), podendo estar relacionada a presença de sólidos dissolvidos com a matéria orgânica. Também com a dureza (0,6) a correlação é positiva moderada. O NH_4^+ possui correlação negativa forte com a precipitação (-0,89), o que pode estar relacionado com a diluição deste nutriente, presente na matéria orgânica, com a ação das chuvas. O NT possui correlação positiva

muito forte com o o NID (0,96) e o NO_3^- (0,95), e moderada com o NH_4^+ . A correlação das formas dissolvidas com o nitrogênio total é esperada, visto que este engloba todas as formas de N. Apresentou ainda correlação positiva moderada com o ORP (0,67) e a dureza (0,66), de modo semelhante ao apresentado pelo NOT. Apresentou correlação negativa forte com a temperatura (-0,74), o que pode ser explicado pelo aumento do metabolismo dos organismos aquáticos, aumentando assim a assimilação do N disponível na água. Também possui correlação negativa moderada com a precipitação (-0,68) e o pH (-0,68), o que indica o efeito das chuvas sobre a disponibilidade deste nutriente. O nitrato, além da correlação positiva muito forte com NT (0,95), também possui com o NID (0,98) - do qual é componente. Possui também forte correlação positiva com a dureza (0,73) e moderada com o ORP (0,58) e o NH_4^+ (0,55), e, correlação negativa moderada com a precipitação (-0,55) e com o pH (-0,53), semelhantemente as demais formas de nitrogênio. O NO_2^- apresentou correlação positiva muito forte com FT (0,92) e forte com a *E. coli* (0,74) e com o PO_4^{3-} (0,72). Estas correlações podem indicar a existência de fontes comuns de carga orgânica, relativas a esgotos domésticos, responsáveis pelo aporte de N e P no reservatório. Possui ainda correlação positiva moderada com a condutividade (0,62), CT (0,53), o que reforça a indicação de lançamento de esgotos domésticos na bacia. O nitrito não apresentou correlação com a temperatura, precipitação e pH como os demais parâmetros da série. Por fim, o parâmetro NID possui correlação positiva muito forte com o NO_3^- (0,97) e o NT (0,96), e forte com o NH_4^+ (0,72), todos eles formas de nitrogênio. Positiva forte com a dureza (0,77), moderada com o ORP (0,69). Possui correlação negativa forte com a temperatura (-0,71) e negativa moderada com a precipitação (-0,68) e o pH (-0,62). Seu comportamento então seguiu os das demais formas nitrogenadas. Sobre as correlações positivas com a dureza, apresentada por alguns parâmetros da série nitrogenada, o despejo de efluentes de laticínio no córrego Zíper (PC02) pode ser uma das causas que explicam esta relação. No geral, estas correlações entre as formas de nitrogênio, de fósforo e coliformes, reforça o entendimento de que os esgotos domésticos lançados nos corpos d'água da BCRCD têm potencial para impactar a represa.

Os parâmetros da série de fitoplâncton (cianobactérias, outros grupos e total) possuem correlação positiva muito forte entre si. Além disso, a densidade de cianobactérias possui correlação positiva moderada com a temperatura (0,61), o mesmo ocorrendo para os outros grupos de fitoplâncton (0,57) e o a densidade total (0,61). A temperatura e a radiação solar são fatores reconhecidamente importantes para a produção nestas comunidades, interferindo na sua distribuição vertical e horizontal. [89] A densidade de cianobactérias e total também apresentaram correlação positiva moderada com o pH (0,57), sugerindo que as ocorrências destas algas foram mais comuns quando os valores de pH estiveram maiores. A densidade dos outros grupos de fitoplâncton apresentou correlação negativa moderada com o Fe (-0,55). As menores leitura de Fe foram registradas nos pontos dentro do reservatório (PC04 e PC09), com valores $\leq 1,5 \text{ mg.L}^{-1}$. Justamente nestes

pontos estão as maiores leituras de fitoplâncton. No entanto, a presença do fitoplâncton não necessariamente está associada à ausência de Fe, mas a outros fatores pertinentes ao meio.

Os parâmetros de fitoplâncton apresentaram correlação positiva fraca com a profundidade do disco de Secchi. As leituras nos tributários foram, em sua maioria, iguais à profundidade do curso d'água, não sendo, então, a luz, um fator limitante para o crescimento desses organismos. Mais informações sobre a profundidade do disco de Secchi serão apresentadas na Seção 4.4.3.

A temperatura da água, além das correlações com a série de fitoplâncton, apresentou correlação positiva forte com o pH (0,74). Isto porque, como o aumento da temperatura favorece o aumento da densidade do fitoplâncton, aumenta-se a taxa de fotossíntese e, deste modo, o pH é aumentado pela retirada de CO_2 da água neste processo. [82] Apresentou correlação positiva moderada com a precipitação (0,56), pois os verões na região são quentes e chuvosos. Também apresentou correlação positiva moderada com a DQO (0,51), o que se pode explicar com o aumento da oxidação química da matéria orgânica devido ao aumento da temperatura. A temperatura apresentou correlação negativa forte com o NT (-0,74), o NID (-0,71), o NO_3^- (-0,70) e negativa moderada com o NH_4^+ (-0,51). O nitrogênio é um nutriente essencial para o metabolismo dos ecossistemas aquáticos. Assim, o crescimento do fitoplâncton, com o aumento da temperatura, consome o nitrogênio inorgânico disponível. [84, 93]. Apresentou ainda correlação negativa moderada com o ORP (-0,68). O potencial de oxirredução tem relação com a temperatura e também com a matéria orgânica disponível - que tem relação, por sua vez, com o nitrogênio. Com o aumento da temperatura há maior disponibilidade de elétrons das substâncias dissolvidas na água, resultando em valores baixos do ORP (natureza redutora). [82]

O parâmetro saturação do OD tem correlação positiva moderada (0,64) com a precipitação, indicando que o aumento das chuvas melhora a oxigenação da água. Também possui correlação positiva moderada com o OC (0,54) e pH (0,53). Com o aporte de nutrientes no corpo hídrico aumenta-se o metabolismo dos organismos formando-se mais biomassa que, ao entrar em decomposição, provoca o consumo do oxigênio dissolvido na água. Esta decomposição também libera gás sulfídrico o qual provoca a diminuição do pH da água. [99] Ainda possui correlação negativa moderada com o NH_4^+ (-0,62), e fraca com o ORP (-0,47). Quanto maior a quantidade de matéria orgânica a ser degradada, maior a presença do íon amônio e maior o potencial de oxirredução. Deste modo, menor a será a disponibilidade de oxigênio na água.

A DBO está associada ao consumo de oxigênio para degradação dessa matéria orgânica, todavia, devido ao limite de detecção do método utilizado no laboratório, das 32 leituras realizadas apenas 5 tiveram resultados distintos e maiores que $12,0 \text{ mg.L}^{-1}$, as demais foram registradas apenas como $<12,0 \text{ mg.L}^{-1}$. Esta condição comprometeu a

interpretação das correlações com a $DBO_{5,20}$.

A turbidez não mostrou correlação positiva moderada ou mais forte com nenhum parâmetro. Apresentou correlação negativa moderada com a profundidade do disco de Secchi (-0,56), pois, quanto maior a turbidez da água mais difícil será a visualização do disco, ou seja, menor será a profundidade do mesmo.

A DQO apresentou correlação negativa moderada com o pH (0,59), a precipitação (0,54) e a temperatura (0,51). A DQO está relacionada à oxidação da matéria orgânica e a temperatura propicia a formação e decomposição da biomassa, o que interfere na DQO e no pH. A precipitação favorece o carreamento de nutrientes para os corpos d'água.

O parâmetro SiO_3 apresentou correlação positiva forte com a condutividade elétrica (0,72). Apresentou ainda correlação positiva moderada com a dureza (0,51), com o OC (0,50) e fraca com o PO_4^{-3} (0,46). O aumento da disponibilidade do ortofosfato pode aumentar a população de diatomáceas, aumentando assim a leitura de silicato. A degradação dessa biomassa faz aumentar o consumo de oxigênio.

O parâmetro OC, além da já citada relação com o silicato, tem correlação positiva forte com o pH (0,70), moderada com a precipitação (0,67), com o PO_4^{-3} (0,65), com o OD (0,54) e o FT (0,52). Estas relações estão associadas à presença de matéria orgânica, fonte de fósforo. A precipitação, a qual ocorre mais frequentemente na estação quente e chuvosa, favorece os processos fotossintéticos que alteram os níveis de oxigênio e o pH da água.

O parâmetro Fe não possui correlação positiva de moderada a forte com nenhum outro parâmetro. Apresentou correlação negativa forte com a profundidade do disco de Secchi (0,80) e moderada com a densidade de fitoplâncton - outros grupos (-0,55). As menores leituras de Fe foram registradas nos pontos dentro do reservatório (PC04 e PC09), onde a profundidade do disco de Secchi foi maior, assim como as leituras de fitoplâncton. O fitoplâncton necessita do fósforo solúvel, sendo este um dos principais nutrientes o qual fica acumulado nos sedimentos do reservatório. No ponto PC09, próximo à barragem, tanto a captação de água para o sistema de abastecimento como a descarga pela tulipa, criam condições de movimento da massa de água e conseqüente oxigenação da mesma. Assim, com a oxidação, uma camada de ferro trivalente dificulta a liberação do fosfato dos sedimentos para a água, reduzida o fornecimento deste nutriente, o que, indiretamente, limita o crescimento do fitoplâncton.[72]

O pH apresentou correlação positiva forte com a precipitação (0,81), o OC (0,70) e a temperatura (0,74). Conforme já explicado acima, estas correlações podem estar associadas às taxas de fotossíntese. Apresentou correlação positiva moderada com a densidade de cianobactérias (0,57) e densidade total do fitoplâncton (0,57). As maiores leituras de pH, em média, foram registradas nos pontos PC04 e PC09. Nestes mesmos pontos foram registradas as maiores leituras de fitoplâncton. Nos processos de fotossíntese e de respiração

do fitoplâncton há variação nos níveis de oxigênio, bem como de gás carbônico, no ambiente aquático, o que pode interferir nas leituras do pH. Nos ambientes naturais a presença de outros íons, como silicatos, fosfatos e amônio, também interferem nos valores de pH. [93, 82] Também apresentou correlação positiva moderada com a DQO (0,59) e OD (0,53), fatores que podem também estar relacionados com a fitomassa. Apresentou correlação negativa muito forte com o ORP (0,90). O oxigênio dissolvido é o agente oxidante mais importante nos ambientes aquáticos, e, com a disponibilidade de O_2 e presença de matéria orgânica, a reação dominante é a redução de O_2 e o valor do ORP é calculado por uma equação na qual o pH tem coeficiente negativo. Ou seja, nessas condições, quanto maior o pH menor será o potencial de oxirredução. [82] Apresentou também correlação negativa forte com o NH_4^+ (-0,70), o que está relacionado à disponibilidade de matéria orgânica. E correlação negativa moderada com SDT (-0,56) NT (-0,68), NO_3^- (-0,53), NID (-0,62). Estas correlações também estão associadas à presença de matéria orgânica que, ao ser decomposta, diminui o pH da água.

Os SDT, além das já relatadas com a precipitação (-0,72), o OC (-0,72) e o pH (-0,56), apresentou correlação positiva moderada com o NH_4^+ (0,62) e com o ORP (0,53). Estas correlações sugerem a relação dos SDT com o despejo e efluentes nos tributários, onde ocorreram as maiores leituras do NH_4^+ . Também apresentou correlação negativa moderada com o PO_4^{3-} (-0,52).

O potencial de oxirredução apresentou correlações, já explicadas acima, positivas com o SDT (0,53), o NH_4^+ (0,78), NID (0,69), o NT (0,67) e o NO_3^- (0,58); e, negativas com o pH (-0,90), a precipitação (-0,87), a temperatura (-0,68), o OC (-0,65) e a DQO (-0,61).

O parâmetro PO_4^{3-} apresentou correlações, já explicadas, positivas com o NO_2^- (0,72), OC (0,65), NO_3^- (0,52), e negativas com o SDT (-0,52). Além destas, apresentou correlação positiva muito forte com o FT (0,9), visto que o ortofosfato é uma parcela do fósforo total medido numa amostra. Também apresentou correlação positiva forte com a CE (0,76), sendo ambos parâmetros indicadores de poluição hídrica por esgotos domésticos. Apresentou ainda correlação positiva moderada com *E. Coli* (0,53). Estas correlações, como já explicado, sugerem a existência de fontes comuns responsáveis pelo aporte de F e N na BCRC, bem como o despejo de esgotos.

O FT apresentou correlações positivas, já explicadas acima, com o NO_2^- (0,92), o PO_4^{3-} (0,90) e o OC (0,52). Também apresentou correlação forte positiva com a condutividade elétrica (0,72) e moderada com o parâmetro *E. Coli* (0,68). Todas estas correlações apontam para a influência do despejo de esgotos domésticos nos tributários e na represa, bem como a lixiviação de insumos e resíduos agropecuários, fatores estes preocupantes no que se refere à gestão do manancial.

A condutividade elétrica, como já explicado, apresentou correlação positiva com

o PO_4^{-3} (0,76), o FT (0,72), o parâmetro SiO_3 (0,72) e o NO_2^- (0,62). Apresentou ainda correlação positiva forte com a dureza (0,71), provavelmente devido à presença de íons característicos destes dois parâmetros, tendo origem no despejo de efluentes e no arraste de materiais provenientes dos processos erosivos e da lixiviação de áreas agrícolas, pastagens e silvicultura. Considerando a correlação positiva forte com o FT, o ortofosfato eo nitrito, apresentou ainda correlação positiva com a presença de *E. Coli* (0,68), reforçando a explicação das fontes de íons.

A dureza, além das já explicadas correlações com a série nitrogenada, com a CE (0,71) e SiO_3 (0,51), apresentou correlação positiva moderada com *E. Coli* (0,56), o que também pode estar relacionado ao despejo de esgotos na bacia.

O parâmetro CT, além da já explicada correlação positiva moderada com o nitrito (0,53), apresentou correlação positiva moderada com o parâmetro *E. Coli* (0,60), que é uma bactéria do grupo dos coliformes.

Estas correlações entre as formas de nitrogênio, de fósforo e coliformes, reforça o entendimento de que os esgotos domésticos lançados nos corpos d'água da BCRC D têm potencial para impactar a represa.

4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA NA REPRESA DE CHAPÉU D'UVAS

É importante ressaltar que há diferenças entre os dois conjuntos de dados: os históricos fornecidos pela Cesama para os anos de 2005 a 2017; e os dados das campanhas realizadas em 2016 e 2017. Alguns aspectos merecem destaque:

- Os dados históricos são referentes a amostras coletadas sempre na captação da represa, enquanto o segundo conjunto se refere a coletas realizadas em sete tributários (ambiente lótico), um ponto no meio da represa e outro na captação (ambos em ambiente lêntico).
- Os dados históricos contam com cento e trinta e duas observações, enquanto este segundo conjunto tem quatro observações para cada um dos nove pontos de amostragem.

Estas diferenças devem ser consideradas nas comparações entre os resultados.

4.4.1 Atendimento aos padrões de qualidade da água conforme Resolução Conama nº 357/05

A Tabela 21 apresenta os parâmetros que ultrapassaram os limites definidos na Resolução Conama nº 357/05 para corpos hídricos de classe 1. Deve ser feita uma ressalva

em relação ao parâmetro *E. coli*, pois, conforme a norma, utilizando este parâmetro em substituição aos coliformes termotolerantes, "não deverá ser excedido um limite de 200 coliformes termotolerantes por 100 mililitros em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras, coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral". No entanto, para a confecção da Tabela 21 cada leitura acima de 200 NMP.100ml⁻¹ foi considerada uma violação. O número de violações à norma estão relacionados na coluna NC (não conformidades).

Tabela 21 – Parâmetros de qualidade da água que violaram os limites da Resolução Conama n° 357/05 para classe 1

Parâmetro	Limite	Histórico		Campanhas	
		Mediana	NC/obs	Mediana	NC/obs
OD	≥ 6 mg.L ⁻¹	6,20	38/79	8,24	1/36
FT [†]	≤ 0,02 mg.L ⁻¹	0,15	90/109		
Turbidez	≤ 40 UNT	2,57	1/146		
Fe	≤ 0,3 mg.L ⁻¹	0,08	23/137	0,86	27/36
Mn	≤ 0,1 mg.L ⁻¹	0,1	51/125		
DBO _{5,20}	≤ 0,3 mg.L ⁻¹	12	98/125	*	
<i>E. coli</i>	≤ 200 NMP.100ml ⁻¹	3,10	4/114	86	9/36
D. cianobactérias	≤ 20.000 células.ml ⁻¹	1548	7/44	0	1/36

(NC/obs) Não conformidades / número de observações = número de violações aos limites da Resolução Conama n° 357/05 para classe 1 / número de leituras realizadas. (†) Para ambiente lântico (dados históricos e PC04, PC09). (*) Para as campanhas o limite inferior de detecção era de 12 mg.L⁻¹, prejudicando a interpretação.

Como se observa na Tabela 21, para o parâmetro OD, apesar das medianas estarem dentro dos limites da Resolução Conama n° 357/05 para classe 1, houve 38 violações no conjunto de dados históricos. Para os dados de campanha houve apenas uma violação, no ponto PC06 - foz do ribeirão São Bento, em setembro de 2016 (5,62 mg.L⁻¹). Mesmo assim tal parâmetro merece atenção pois o OD é um indicador de qualidade ambiental de grande importância nos mananciais.

O FT para os dados históricos apresentou mediana acima dos limites da Resolução Conama n° 357/05 e 90 violações (não conformidades). Este nutriente, e sua variação, dá informações sobre o nível de eutrofização do reservatório, mas não é possível precisar qual é a parcela de fósforo solúvel capaz de ser assimilado pelo fitoplâncton (fosfato). Para os dados de campanha não foram registradas violações.

A turbidez teve apenas uma violação nos dados históricos (99,10 UNT em dezembro de 2009). As leituras das demais variáveis não são suficientes para indicar se as causas deste aumento da turbidez tem origem orgânica ou inorgânica. A mediana está abaixo do limite da norma.

O parâmetro Fe se destacou com violações nos dados históricos (23 não confor-

midades) e nas campanhas (27 não conformidades). Sua presença em teores elevados na captação e nos tributários pode indicar origem nos latossolos que formam a região da BCRC, tipo de solo rico em óxido ferroso.

O Mn teve sua mediana no limite da Resolução Conama nº 357/05, mas foram registradas 51 violações. O manganês também é característico dos latossolos.

As interpretações para o parâmetro $DBO_{5,20}$ são limitadas. No conjunto de dados históricos há leituras discriminadas para valores abaixo de 12 mg.L^{-1} . Mas ainda há leituras neste conjunto indicadas apenas como $< 12 \text{ mg.L}^{-1}$. Mesmo assim foi possível contar violações ao limite da normas (98 não conformidades). Assim, este parâmetro merece atenção dos gestores pois é um importante indicador da presença de matéria orgânica na represa. Para o conjunto das campanhas, os resultados foram expressos apenas como $< 12 \text{ mg.L}^{-1}$.

O parâmetro *E. coli* apresentou medianas baixas, porém houve violações nos dados históricos (4 não conformidades) e nas campanhas (10 não conformidades). Considerando que a quantidade de observações históricas é muito maior que das campanhas, esta diferença no número de violações indica que as principais fontes deste tipo de coliforme estão nos tributários da represa.

Sobre a densidade de cianobactérias, este parâmetro será discutido com mais detalhes na Seção 4.4.3.

4.4.2 Comparação dos dados históricos e campanhas

Na comparação entre os dois conjuntos de dados, a fim de se resguardar quanto a diferenças nos resultados provenientes de metodologias de análises diversas, foram comparadas apenas as variáveis que foram analisadas, para ambos conjuntos de dados, no mesmo laboratório, neste caso, o da Cesama. Mesmo assim, é importante ainda lembrar as diferenças entre os conjuntos de dados, conforme explicado no início da Seção 4.4. A Tabela 22 apresenta os resultados dos dois conjuntos de dados, comparando suas medianas.

A turbidez teve mediana maior nos dados das campanhas. Neste parâmetro, a maior influência para tal diferenciação reside no fato de que os pontos de amostragem foram, em geral, rasos. A presença de sólidos inorgânicos é maior nessas condições, enquanto para os pontos dentro do lago a turbidez está mais associada a partículas orgânicas. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas dos dois conjuntos de dados são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 4,701 \times 10^{-6}$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 1,28 nem maior que 3,34 UNT. Intervalo representativo, na prática, se comparado com as leituras registradas.

As leituras de Fe foram maiores para os dados das campanhas. Como já explicado, as leituras mais altas aconteceram nos tributários, os quais são sujeitos a processos de

Tabela 22 – Comparação dos Parâmetros de qualidade da água por conjunto de dados: medianas por parâmetro

Parâmetro	Unidade	Histórico	Campanhas
Cor	uH	5,4	2,5
Turbidez	UNT	2,57	5,55
Ferro	mg.L ⁻¹	0,08	0,86
Cloretos	mg.L ⁻¹	< 6,00	< 6,00
Dureza	mg.L ⁻¹	7,60	8,40
Oxigênio consumido	mg.L ⁻¹	1,10	2,00
Demanda Bioquímica de Oxigênio	mg.L ⁻¹	12,00	< 12,00
Coliformes Totais	NMP.100ml ⁻¹	2.419,20	14.000,00
<i>Escherichia coli</i>	NMP.100ml ⁻¹	3,10	86,00
Densidade Cianobactérias	células.ml ⁻¹	1548	0

arraste das partículas do solo. Na região da BCRC D se encontra um tipo de solo rico em óxido ferroso. Além disso, no ambiente lacustre, o Fe é sedimentado e, como as coletas das amostras são superficiais, sua concentração nesses pontos será menor. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 5,72 \times 10^{-11}$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 0,40 nem maior que 0,82 mg.L⁻¹. Intervalo representativo, na prática, se comparado com as leituras registradas.

As leituras de Dureza foram mais altas para os dados das campanhas, não deixando de considerar os altos valores no PC02, provavelmente por descarga de efluentes de laticínio. Todavia, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas dos dois conjuntos de dados são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 0,05747$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que -0,01 nem maior que 1,53 mg.L⁻¹. Intervalo praticamente insignificante frente às leituras registradas.

O parâmetro OC teve maiores leituras nos dados das campanhas. Os tributários, conforme Figura 82, tiveram as maiores médias, indicando o aporte de carga orgânica por eles ao lago. Alguns recebem esgotos de residências e atividades situadas na bacia. Estas fontes de carga orgânica se refletem também nas leituras mais altas de CT e *E. coli*. Apesar destas entradas pelos tributários, o lago ainda está sendo capaz de diluir e controlar seus efeitos, como se observa nas leituras do ponto PC04 e PC09, além dos dados históricos da captação. Porém, o crescimento da ocupação na BCRC D, seja por residências, atividades agrícolas, pastagem ou silvicultura, irá aumentar o aporte de carga orgânica e nutrientes na represa de modo que, em níveis mais elevados, a preocupação com a eutrofização será pertinente. O resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que as medianas são diferentes para um nível de significância de 5% ($p\text{-value} = 2,70 \times 10^{-7}$), com 95% de confiança que a diferença entre as medianas não é menor que 0,49 nem maior que 0,89 mg.L⁻¹. Intervalo representativo, na prática, se comparado com as leituras

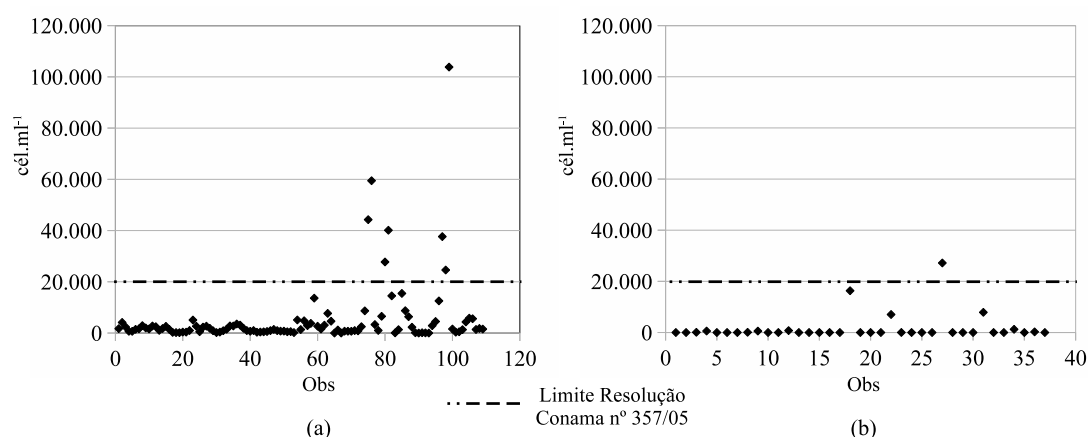
registradas.

Sobre a densidade de cianobactérias, este parâmetro será discutido com mais detalhes na Seção 4.4.3.

4.4.3 Estudo das cianobactérias

Um parâmetro importante para a BCRCO é a densidade de cianobactérias, o qual merece uma análise mais dedicada. Conforme já apresentado na Seção 4.4.1, das 109 leituras realizadas no conjunto de dados históricos, 7 estavam acima de $20.000 \text{ cél.ml}^{-1}$ enquanto que, para as 36 leituras das campanhas, 1 estava acima deste limite. A Figura 102 ilustra em (a) as leituras para os dados históricos, com os pontos mais dispersos e com valores mais altos (maior leitura em $103.824 \text{ cél.ml}^{-1}$). Em (b) as leituras para os dados de campanha, menos dispersos e com a maior leitura em $27.174 \text{ cél.ml}^{-1}$. É importante considerar a diferença entre a quantidade de observações.

Figura 102 – Gráfico de dispersão - densidade de cianobactérias: (a) dados históricos e (b) dados das campanhas



A Tabela 23 apresenta as leituras, para o conjunto de dados das campanhas, da densidade de cianobactérias (células.ml^{-1}), profundidade do disco de Secchi (m) e da zona eufótica (m). A profundidade do disco de Secchi representa aquela na qual a radiação (luz) no espectro visível já não é mais sensível ao olho humano. É utilizada para avaliar a transparência da água e, na ausência de equipamentos mais precisos, é utilizada para calcular a zona eufótica ao se multiplicar a profundidade do disco pelo fator 3. A zona eufótica corresponde à porção iluminada da coluna d'água e seu limite inferior é geralmente assumido como a profundidade na qual a intensidade da radiação corresponde a 1% da que atinge a superfície. Em lagos tropicais, "os valores correspondentes a 1% representam intensidades de radiação suficientes para a realização de fotossíntese em altas taxas". [92] Por isso, no estudo de cianobactérias e do fitoplâncton em geral, as medidas da profundidade do disco de Secchi e da zona eufótica são importantes para se compreender as atividades fotossintéticas das algas. Esta correlação foi evidenciada na Figura 99,

onde a densidade de cianobactérias apresentou correlação positiva moderada (0,68) com a profundidade do disco de Secchi. Além da incidência de radiação solar, outros fatores como a disponibilidade de nutrientes e a temperatura da água (correlação positiva moderada = 0,62) são importantes para a floração de cianobactérias, por isso esta correlação não foi tão forte.

Tabela 23 – Profundidade do disco de Secchi, zona eufótica e densidade de cianobactérias

Data	Pontos	Secchi (m)	Zona Eufótica (m)	Dens. Cianobactérias (céls.ml ⁻¹)
12/09/2016	PC01	0,8	2,4	0
	PC02	0,2	0,6	0
	PC03	2	6	82,45
	PC04	3,2	9,6	572,4
	PC05	1,05	Toda Coluna	0
	PC06	0,7	2,1	0
	PC07	1,4	4,2	0
	PC08	1,8	5,4	75,65
	PC09	3,1	9,3	544
21/11/2016	PC01	0,3	Toda Coluna	0
	PC02	0,1	Toda Coluna	0
	PC03	0,9	2,7	737,8
	PC04	2,4	7,2	0
	PC05	0,8	Toda Coluna	0
	PC06	0,7	Toda Coluna	0
	PC07	0,6	Toda Coluna	0
	PC08	1,1	3,3	0
	PC09	2,1	6,3	16328,5
13/03/2017	PC01	0,5	Toda Coluna	0
	PC02	0,1	Toda Coluna	0
	PC03	0,1	Toda Coluna	0
	PC04	2,9	8,7	7038
	PC05	0,9	2,7	16,77
	PC06	0,7	Toda Coluna	0
	PC07	0,4	Toda Coluna	0
	PC08	0,3	Toda Coluna	0
	PC09	2,2	6,6	27174,5
09/07/2017	PC01	0,4	Toda Coluna	0
	PC02	0,18	Toda Coluna	0
	PC03	0,2	Toda Coluna	0
	PC04	3,5	10,5	7879,5
	PC05	0,6	Toda Coluna	0
	PC06	1,3	3,9	0
	PC07	1,55	Toda Coluna	1225,7
	PC08	0,45	Toda Coluna	0
	PC09	4,8	14,4	237,44

Pode ser observado na Tabela 23 que, para o conjunto de dados das campanhas, das

trinta e seis leituras realizadas uma ultrapassou o limite de 20.000 células.ml⁻¹ estabelecido na Resolução Conama n° 357/05, sendo que as leituras mais significativas foram registradas nos pontos dentro da represa, PC04 e PC09. Nestes pontos, em comparação aos tributários, as cianobactérias encontram melhores condições para seu desenvolvimento. De uma forma geral, maior biomassa do fitoplâncton é registrada em locais e períodos de menor turbulência hidrodinâmica, o que facilita também a penetração da luz nas camadas de água, conforme leituras da profundidade do disco de Secchi. [89] O tempo de residência do reservatório, a supressão da mata ciliar e a ocupação urbana e agropastoril no entorno da bacia também são fatores que criam condições favoráveis à floração de cianobactérias. [90]

Os tempos de residência da represa de Chapéu D’Uvas são apresentados na Tabela 24. Na primeira linha da tabela o Tr foi calculado com as médias de todo o período de dados históricos da Cesama (2007 a 2017). Nas linhas seguintes foi calculado o Tr para as médias de cada mês no qual fora realizada coleta nas campanhas (2016 e 2017). Os resultados são gerais, abrangendo toda a represa, calculados pelo volume e vazão do período. Porém é importante ressaltar que, para a água proveniente dos afluentes mais a jusante, o Tr pode ser menor do que para as massas de água provenientes do rio Paraíba e dos afluentes do reservatório localizados mais a montante.

Tabela 24 – Tempo de residência da água no reservatório de Chapéu D’Uvas

Período	Tr (dias)
01/01/2007 a 05/09/2017	716
01/09/2016 a 30/09/2016	255
01/11/2016 a 30/11/2016	153
01/03/2017 a 31/03/2017	59
01/07/2017 a 31/07/2017	178

Fonte: elaborado a partir de [30]

Na Tabela 24 se verifica que o Tr médio da represa é bem elevado, porém, ao longo das campanhas os tempos foram menores e houve grande variação. Em reservatórios profundos, como o caso de Chapéu D’Uvas que pode chegar a 41 m de profundidade, valores de Tr superiores a 100 dias podem colaborar para a ocorrência de estratificação térmica da massa d’água, o que facilita a migração das cianobactérias na coluna d’água. Reservatórios com Tr entre 10 dias e 1 ano podem ser considerados ambientes com comportamento intermediário entre um rio (lótico) e lacustre (lêntico). Com Tr superiores a 1 ano podem ser considerados como ambientes lacustres. [100, 101] Os dados da Tabela 24 mostram variabilidade dos valores de Tr com valores mais baixos na estação de chuva, quando a descarga é maior para que o reservatório tenha capacidade de amortecer ondas de cheia, e valores mais altos na estação seca, quando a vazão de descarga é menor visando a perenização do rio Paraíba. Para o conjunto de dados das campanhas, as maiores leituras de cianobactérias foram registradas em março de 2017, mês com menor Tr (59 dias). Porém,

outros fatores também podem influenciar na variação temporal do fitoplâncton como a disponibilidade de nutrientes e a radiação subaquática. [89] A ação dos ventos, causando o revolvimento do fundo pelas ondas, a precipitação, causando também o revolvimento e o aporte de nutrientes da bacia, e a radiação solar incidente sobre a represa alteram a disponibilidade de nutrientes. Outro fator importante é a flutuação do nível de água do reservatório, e, como apresentado na Figura 27, esta variação é frequente em Chapéu D'Uvas. A flutuação no nível afeta outras variáveis hidrológicas e limnológicas como a área do espelho d'água, o volume e a profundidade do reservatório, e, desse modo, a penetração da radiação solar na água. Também interfere, assim como a ação dos ventos e a precipitação, no revolvimento do fundo do lago. A elevação do nível suspende materiais orgânicos e inorgânicos depositados nas margens da represa e a depleção arrasta estes materiais para dentro do lago. [72] A relação entre o nível do reservatório e o Tr também é evidente, uma vez que ambos se relacionam com o volume.

Deste modo, o estudo sobre o comportamento das cianobactérias na represa de Chapéu D'Uvas se mostra ainda mais complexo, necessitando de mais pesquisas direcionadas especificamente a este parâmetro para melhor compreensão do seu comportamento.

A presença de cianobactérias na represa de Chapéu D'Uvas tem sido ao longo do tempo uma preocupação, desde a divulgação de matéria jornalística em 2002, como relatado na Seção 2.1.4. Como explicou Machado, em [19], citando um relatório emitido pela empresa Magna Engenharia Ltda no ano de 2003:

O elevado número de algas *Cylindrospermopsis raciborskii* na represa decorreu de seu acentuado processo de eutrofização, característico de ambientes lênticos, em processo de maturação (MAGNA ENGENHARIA, 2003A:13) e que teve como principal causa o não prévio desmatamento da área inundada, embora a Lei Federal 3.824, de 23/11/1960 tivesse tornado obrigatória "a destoca e consequente limpeza das bacias hidráulicas dos açudes, represas ou lagos artificiais"

Este mesmo relatório registrou leituras de cianobactérias com valores de até 195.594,86 organismos.ml⁻¹ de *Cylindrospermopsis raciborskii*. A decomposição da matéria orgânica sob a água estaria fornecendo nutrientes para a floração das cianobactérias. A importância da prévia supressão da vegetação fora alertada ainda antes da inundação por engenheiros da empresa Furnas Centrais Elétricas, num relatório de visita técnica emitido em 1994, como relatado por Machado em [19]. O mesmo pesquisador relatou também a diminuição dos resultados das leituras de cianobactérias no reservatório ao longo dos anos.

Apesar das altas leituras de cianobactérias registradas em 2002 e 2003, as leituras atuais mostram as ocorrências da presença dessas algas em valores, no geral, baixos, dentro da normalidade para uma reservatório tropical, conforme pesquisas apresentadas

por Esteves e Suzuki em [89]. Todavia, eventuais leituras ainda registraram valores elevados. Destaca-se o fato de que os maiores valores registrados nos dois conjuntos de dados, históricos da captação = 103.824 cél.ml⁻¹ e campanhas = 27.174 cél.ml⁻¹ (também no ponto da captação - PC09), referem-se a leituras realizadas em março de 2017. A decomposição da matéria orgânica inundada não parece ser, neste momento, a principal fonte de nutrientes e causadora das florações, uma vez que estas são pouco frequentes e em valores não tão altos como registrados nos primeiros anos do reservatório. Conforme dados apresentados neste Capítulo, as concentrações dos principais nutrientes, fósforo e nitrogênio, tiveram leituras mais baixas nos pontos dentro do lago em relação aos tributários, sugerindo que as principais fontes estão nos afluentes e não sob o reservatório. O tempo decorrido desde o início da inundação, aproximadamente 23 anos, pode ter sido suficiente para a diminuição na decomposição da fitomassa inundada. Straskraba em [72] explica que nos primeiros anos após o enchimento de um reservatório pode ocorrer a "explosão trófica", com alta produção biológica. Com a evolução do reservatório, seu envelhecimento, que pode levar entre 4 e 10 anos, resultará em alterações limnológicas bem mais lentas, tendendo a um processo estacionário a partir dos 20 anos, em condições normais. O processo de amadurecimento de reservatórios pode levar à diminuição da temperatura e da produtividade do lago. [102, 103] No entanto, caso os tributários venham a oferecer maior aporte de nutrientes, principalmente pelas fontes já citadas (esgotos domésticos, lixiviação de áreas agrícolas, de pastagem e silvicultura), essas florações poderão apresentar uma maior recorrência. Deste modo, fica evidente a necessidade de um controle sobre o uso da terra e dos recursos hídricos na bacia, o despejo de efluentes domésticos e industriais.

Mesmo ocorrendo com menor frequência, a floração de cianobactérias, por seu potencial risco à saúde pública num manancial de abastecimento, merece atenção, monitoramento constante um estudo mais aprofundado.

4.4.4 *Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCME WQI)*

Visando facilitar a comunicação e o entendimento sobre o estado da qualidade da água, tendo como enfoque os limites recomendados de acordo com o usos preponderantes, foi desenvolvido pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME) o *CCME Water Quality Index (CCME WQI)*, referenciado no Brasil pela Agência Nacional das Águas (ANA) como Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) é baseado na combinação de três fatores: abrangência = o número de parâmetros que não cumprem os objetivos de qualidade da água; frequência = o número de vezes que o parâmetro não atendeu aos padrões de qualidade; e amplitude = o quanto se afastou o valor observado do padrão adotado. [104, 105, 106] Esse índice informa de modo claro e objetivo a situação atual do corpo hídrico em relação ao seu

enquadramento, ou a qualquer padrão de qualidade adotado pelo gestor. No Brasil, o enquadramento e seus respectivos padrões de qualidade foram regulamentados pela Resolução Conama nº 357/05 e definidos a partir de metas inicialmente propostas de acordo com os usos preponderantes pretendidos.

Definidos o período de tempo, as variáveis e os objetivos ou padrões, devem ser calculados os três fatores que compõem o índice. O fator F_1 se refere à abrangência do índice, ou seja, ao número de variáveis de qualidade da água que violaram os limites desejáveis ao menos uma vez no período de observação. É determinado pela fórmula 7:

$$F_1 = \frac{\text{Número de variáveis que falharam}}{\text{Número total de variáveis}} \times 100 \quad (7)$$

O fator F_2 se refere à frequência, ao número de vezes que as variáveis de qualidade da água estiveram em desconformidade com o padrão estabelecido. É determinado pela fórmula 8:

$$F_2 = \frac{\text{Número de testes que falharam}}{\text{Número total de testes}} \times 100 \quad (8)$$

O fator F_3 representa a magnitude da diferença entre o valor observado e o desejado. Este fator é determinado em três etapas, sendo que a primeira compreende em calcular, para cada variável, o quanto esta se afastou do padrão desejado. Quando o valor encontrado não deve exceder a um determinado padrão, é utilizada a equação 9

$$\Delta V_i = \frac{\text{Valor testado fora do padrão}}{\text{Limite do padrão}} - 1 \quad (9)$$

Quando o valor encontrado não deve ser inferior a um determinado padrão, é utilizada a equação 10

$$\Delta V_i = \frac{\text{Limite do padrão}}{\text{Valor testado fora do padrão}} - 1 \quad (10)$$

Na segunda etapa determina-se a soma normalizada das variações (snv), somando todas as variações que não atenderam aos limites do enquadramento e dividindo pelo número total de testes, conforme equação 11:

$$snv = \frac{\sum_{i=0}^n}{\text{Número total de testes}} \quad (11)$$

Onde n é o número total de variáveis analisadas. Na terceira etapa se calcula o fator F_3 com a equação 12:

$$F_3 = \frac{snv}{0,01 \times snv + 0,01} \quad (12)$$

A partir dos três fatores, o ICE é calculado conforme equação 13:

$$ICE = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \quad (13)$$

O ICE é organizado em cinco classes, de acordo com o grau de atendimento aos padrões de qualidade, conforme Tabela 25.

Tabela 25 – Valores e classes do ICE

Valor	Classe	Descrição
95 a 100	Ótima	A qualidade da água está protegida com virtual ausência de impactos, e muito próxima da condição natural. Estes valores de ICE somente podem ser obtidos se todas as medidas estiverem durante todo o tempo dentro dos padrões estabelecidos.
80 a 94	Boa	A qualidade de água está protegida, apresentando somente um pequeno grau de impacto, e raramente se desvia dos padrões estabelecidos.
65 a 79	Regular	A qualidade de água está protegida, mas ocasionalmente ocorrem impactos, e algumas vezes se desvia dos padrões estabelecidos.
45 a 64	Ruim	A qualidade de água está frequentemente afetada. Com frequência os parâmetros de qualidade da água não atendem os padrões estabelecidos.
0 a 44	Péssima	A qualidade de água quase sempre está alterada. Os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos.

Fonte: elaborado a partir de *Canadian Council of Ministers of the Environment* [105, 106]

O cálculo do ICE requer que sejam utilizadas pelo menos quatro variáveis, amostradas pelo menos quatro vezes. É importante também que seja feita uma seleção de variáveis de qualidade da água para que o índice produza resultados significativos. Se o conjunto de variáveis selecionadas for pequeno, o não atendimento aos padrões de algumas variáveis resultará num índice diferente se as mesmas pertencessem a um conjunto maior. Nesta pesquisa, *a priori*, não será feita seleção, todas as variáveis disponíveis serão utilizadas, desde que se tenha ao menos quatro observações e que os padrões de qualidade da água estabelecidos na Resolução Conama nº 357/05 para águas de classe 1.

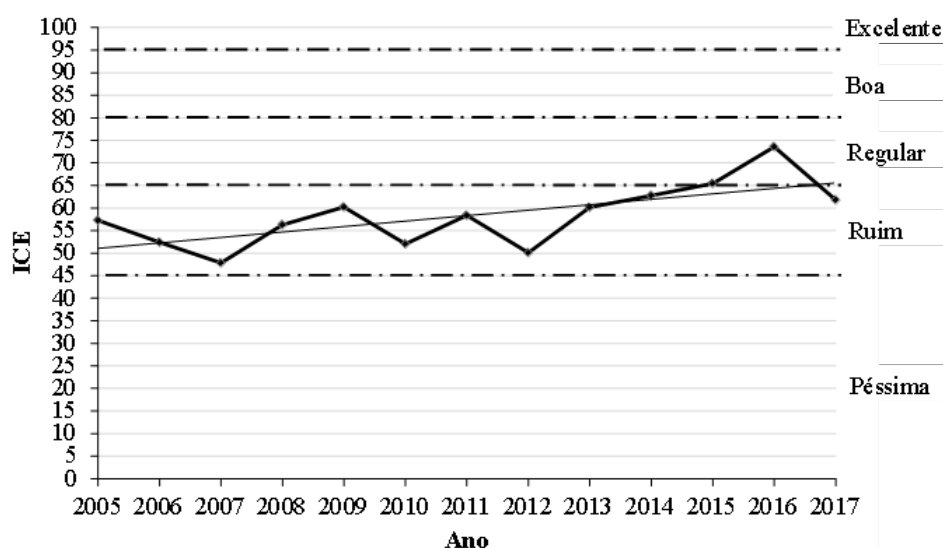
Para o conjunto de dados históricos foram utilizadas as variáveis: turbidez, OD - concentração, pH, DBO_{5,20}, Cl⁻, Fe, FT, NT, Mn, *E. coli*. Como limite para o NT, foi utilizada a soma dos padrões para NO₂⁻, NO₃⁻ e nitrogênio amoniacal total da Resolução Conama nº 357/05. Apesar da leitura de NT contemplar também outras formas de nitrogênio, os valores observados foram inferiores ao estabelecido na resolução. As leituras de cianobactérias não estavam disponíveis para os anos 2005, 2011, 2012 e 2013, porém

foram utilizadas para os demais anos da série. A Tabela 26 apresenta os resultados do cálculo do ICE para o conjunto de dados históricos.

Tabela 26 – Resultados do ICE para os dados históricos 2005 - 2017

Ano	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
ICE	57	52	48	56	60	52	58
Ano	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Média
ICE	50	60	63	65	74	62	58

Figura 103 – Gráfico do ICE para os dados históricos 2005 - 2017



A Figura 103 ilustra a evolução do ICE ao longo do tempo para a série histórica, no ponto de captação. Como se pode observar, o valor do ICE varia na faixa de Ruim a Regular, com menor valor em 2007 (48) e maior valor em 2016 (74). O pequeno número de variáveis disponíveis influenciou o resultado por meio do fator F_1 . Além disso, em alguns anos há meses sem leitura, o que também interfere no resultado, mas por meio do fator F_2 . Conforme já apresentado na Tabela 21, as variáveis $DBO_{5,20}$ e FT foram as que mais tiveram leituras fora dos padrões da Resolução Conama nº 357/05, sendo as maiores responsáveis pelo resultado do ICE. Estas, assim como as leituras baixas de OD, apontam para os efeitos da presença de carga orgânica na represa, o que merece atenção dos gestores. Também as variáveis Fe e Mn influenciaram o resultado do ICE com leituras fora dos padrões da norma. Pode ser observado na Figura 103 que a linha de tendência é de crescimento do ICE, ou seja, de melhoria na qualidade da água do reservatório, principalmente a partir do ano de 2012. Esta tendência está provavelmente associada ao amadurecimento do reservatório.

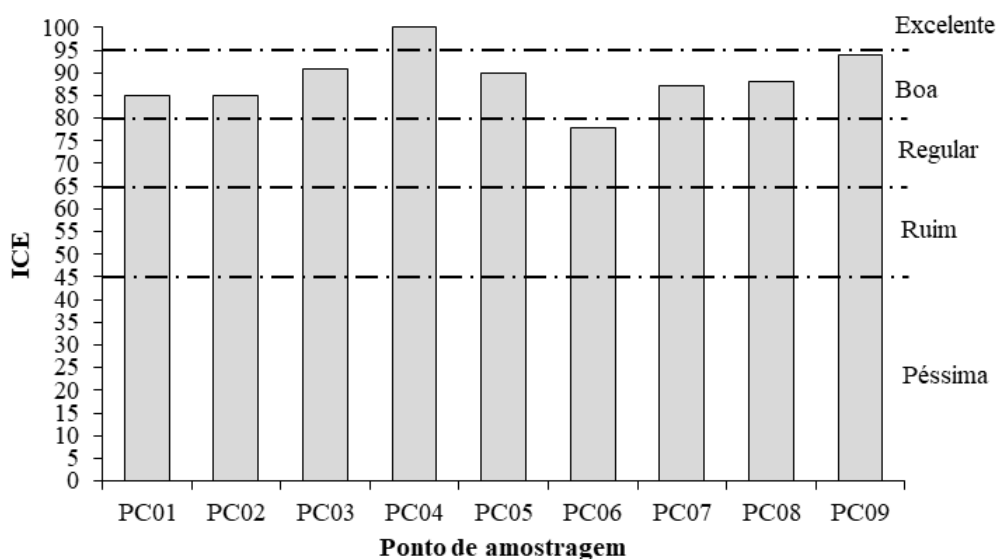
Para o conjunto de dados das campanhas foram utilizadas as variáveis: turbidez, OD - concentração, pH, NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , Fe, FT, Cl^- e densidade de cianobactérias, também conforme padrões da Resolução Conama nº 357/05. Como as leituras de $DBO_{5,20}$

tiveram limite inferior de detecção em 12 mg.L^{-1} , e o limite ra resolução é $< 3 \text{ mg.L}^{-1}$, não foi possível utilizar esta variável. As leituras de *E. coli* e SDT não foram realizadas em todas as quatro campanhas, o que impossibilitou o uso também destas variáveis. A Tabela 27 apresenta os resultados do cálculo do ICE para o conjunto de dados das campanhas.

Tabela 27 – Resultados do ICE para os dados das campanhas 2016 - 2017

Ponto	PC01	PC02	PC03	PC04	PC05	PC06	PC07	PC08	PC09	Média
ICE	85	85	91	100	90	78	87	88	94	89

Figura 104 – Gráfico do ICE para os dados das campanhas 2016 - 2017



A Figura 104 ilustra os valores do ICE para os pontos de amostragem, variando entre Regular e Excelente. O menor valor foi encontrado no PC06 (78), foz do ribeirão São Bento. O maior valor foi encontrado no PC04 (100), ponto no médio curso da represa. Devido aos resultados das leituras apresentadas na seção 4.3, esperava-se que o PC02, foz do córrego Zíper, apresentasse o pior valor do ICE. No entanto, o ponto PC06 teve uma leitura de OD abaixo do limite da Resolução Conama nº 357/05, além das quatro leituras de Fe fora do padrão. Enquanto o PC02 apresentou fora do padrão apenas as quatro leituras de Fe. É importante ressaltar que o uso de um índice acarreta na perda das informações individuais e na generalização dos resultados. Pode ser observado também que os maiores valores de ICE foram registrados para os dois pontos dentro do reservatório, PC04 e PC09, reforçando a percepção de que as principais fontes de carga orgânica estão nos afluentes.

Devido às diferenças quanto ao número de variáveis e de observações entre os dois conjuntos de dados, não é possível comparar o resultado do ICE dos dados históricos e das campanhas. Mas estes resultados permitem concluir que o valor do índice vem melhorando ao longo dos anos para o ponto da captação, e, que a qualidade da água nos pontos do médio curso do reservatório e da captação é melhor que nos tributários da represa.

5 LIMNOLOGIA DA PAISAGEM NA BCRCO E REGRESSÃO GEOGRÁFICAMENTE PONDERADA

5.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os trabalhos citados sobre limnologia da paisagem e GWR foram realizados com bancos de dados os quais possuíam dezenas e até centenas de observações. Por sua vez, a base de dados utilizada nesta pesquisa é referente às campanhas, ou seja, são 9 pontos de amostragem, com suas respectivas sub bacias, e 4 observações para cada ponto. Assim, foi necessário adaptar algumas abordagens das metodologias citadas para o escopo da pesquisa, conforme será explicado ao longo do desenvolvimento deste capítulo. No entanto, os princípios, o cerne de cada metodologia foi mantido na busca de resultados condizentes com as mesmas.

Como variáveis explicativas foram consideradas as relativas ao uso e cobertura da terra, as relativas às APP e variáveis morfométricas. Os percentuais das classes de uso e cobertura da terra foram definidos conforme apresentado no Capítulo 3. Os dados morfométricos da bacia foram calculados a partir das informações obtidas com o ArcGIS versão 10.2.1.

O coeficiente de compacidade (K_c) é a razão entre o perímetro da bacia e o perímetro de um círculo de mesma área. Assim, uma bacia com $K_c = 1$ seria circular e maior seria a probabilidade de haver picos de enchente. Os valores de K_c são maiores que 1 e, quanto mais próximos da unidade, mais circular é a bacia. O fator de forma (K_f) é a razão entre a largura média da bacia e o comprimento do eixo da bacia medido entre o ponto mais distante e a foz/exutório. Quanto menor o K_f , mais alongado é o formato da bacia. O desnível médio da sub bacia (D_n) foi definido como a diferença das altitudes do ponto de nascente ao ponto de foz/exutório. A declividade média (D_c) foi definida como a razão entre o desnível médio e o comprimento do eixo longitudinal da bacia. Esses parâmetros morfométricos interferem nos processos de drenagem (*runoff*) e lixiviação de poluentes para os corpos d'água. [91, 74] Para se considerar as diferenças entre as áreas das sub bacias foram estabelecidas as variáveis SB e SR. A primeira é a razão entre a área da sub bacia e a área total da BCRCO, enquanto a segunda é a razão entre a área da sub bacia e a área do espelho d'água da represa. Quanto maiores os valores destes parâmetros, maior é a sub bacia. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 28.

Outra variável explicativa considerada foi a área de preservação permanente remanescente na sub bacia (APP_r), conforme informações apresentadas na Tabela 12 da Seção 3.4.

Para a preparação e seleção dos dados seguiu-se as orientações de Soranno et al. em [44, 17]. Para calcular os parâmetros, a matriz de covariância e de correlação da GWR utilizou-se o pacote GWmodel do *software* R (*The R Project for Statistical Computing*),

Tabela 28 – Parâmetros morfométricos das sub bacias da BCRC

Sub bacia	SB	SR	Kc	Kf	Dn (m)	Dc (m/km)
PC01	0,31105	10,6982	1,96917	0,24862	433	21,8194
PC02	0,00767	0,26375	1,74616	0,33216	146	54,6678
PC03	0,04510	1,55124	1,87767	0,35054	248	38,9218
PC04	0,13081	4,49923	2,66063	0,23057	189	13,989
PC05	0,06707	2,30668	2,11916	0,18047	228	22,0192
PC06	0,16266	5,59445	1,58401	0,79674	139	16,3409
PC07	0,06815	2,34402	1,69613	0,35006	185	23,6366
PC08	0,05005	1,72152	1,72511	0,35570	146	19,8192
PC09	0,15744	5,41481	2,22188	0,50474	4	0,43284

Os dados de PC04 e PC09 se referem ao recorte da sub bacia, sem considerar as sub bacias à montante.

conforme apresentado por Gollini et al. em [107].

Os mapas com os resultados foram criados no ArcGIS versão 10.2.1 a partir da base desenvolvida conforme descrito no Capítulo 3, com os dados de saída do GWmodel. Optou-se por não gerar os mapas no próprio R a fim de se aproveitar a maior riqueza de informações já criadas no ArcGIS ao longo do desenvolvimento da pesquisa.

Ao longo deste capítulo serão apresentados mais detalhes sobre o procedimento metodológico.

5.2 PREPARAÇÃO DOS DADOS

Conforme o sistema de modelagem proposto por Soriano et al. em [17], inicialmente foi identificado o objetivo e definido o *end point* da classificação.

- **Objetivo:** Determinar as relações entre as variáveis de qualidade da água com o uso e cobertura da terra e parâmetros morfométricos da BCRC;
- **End point:** respostas homogêneas.

O objetivo foi determinar e compreender como o uso e cobertura da terra na bacia, incluindo a integridade das áreas de preservação permanente, e os parâmetros morfométricos, interferem nas variáveis de qualidade da água. A compreensão destas relações é importante no gerenciamento da bacia de contribuição, servindo de subsídio para decisões envolvendo um plano para o uso e ocupação, bem como ações de restauração e/ou manutenção da qualidade ambiental daquele sistema. Devido ao pequeno número de observações e pontos, não se teve o propósito de classificar, agrupar as sub bacias por classes, conforme o trabalho de Soriano et al. em [17]. No entanto, espera-se compreender as relações em cada sub bacia.

Ao se definir as características de paisagem para uso no modelo, considerou-se a conectividade e o contexto da mancha, conforme Soriano et al. em [17] e ilustrado na Figura 9 da Seção 2.2. No entanto, como adaptação do modelo, não foi considerada a escala e hierarquia, uma vez que este estudo foi realizado em escala local, contemplando apenas a BCRC D e as sub bacias definidas pelos pontos de amostragem. As variáveis de paisagem utilizadas como explicativas estão relacionadas a seguir e foram definidas para cada uma das 9 sub bacias.

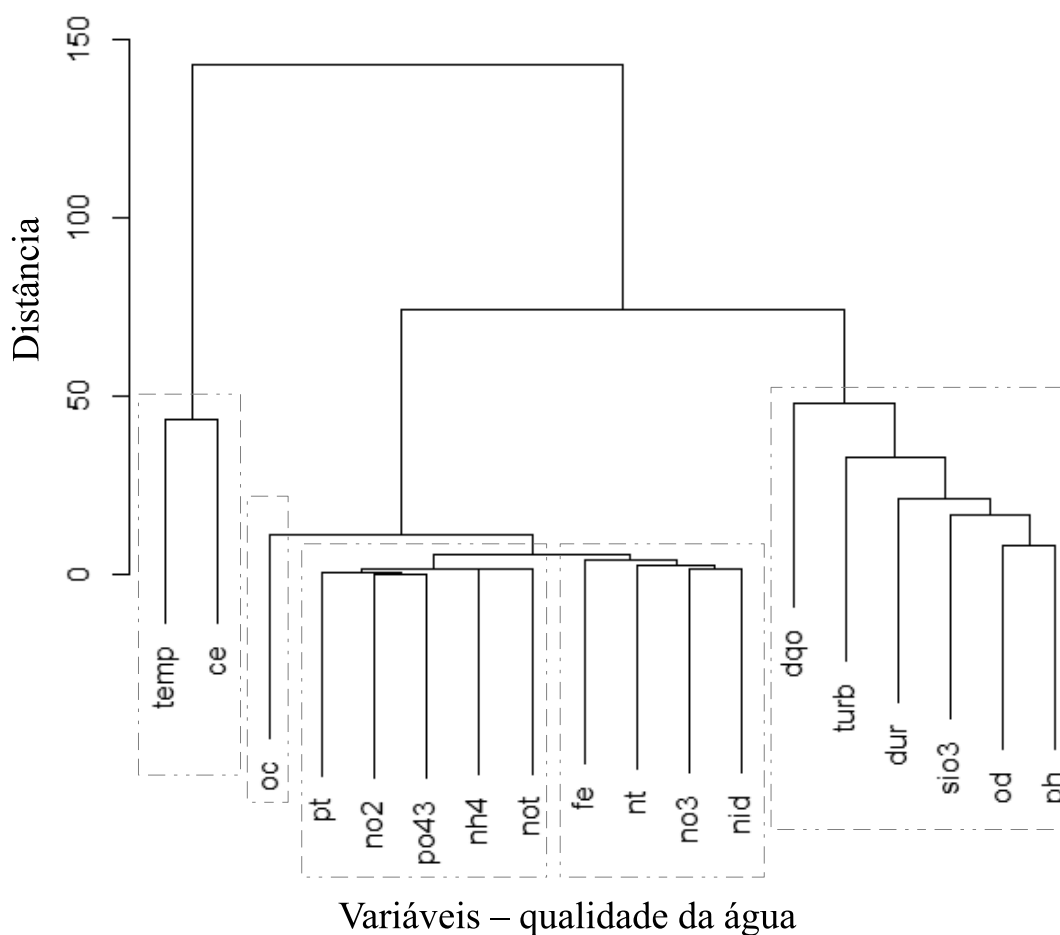
- **Paisagem de Água doce:** percentual das classes de cobertura áreas úmidas, lagos e represa.
- **Paisagem Terrestre:** razão área da sub bacia/área da BCRC D, razão área da sub bacia/área do espelho d'água da represa, percentual da classe de cobertura mata, coeficiente de compactidade, fator de forma, declividade, perfil longitudinal, percentual de APP remanescente.
- **Paisagem Humana:** percentual das classes de uso e cobertura pastagem, silvicultura, pasto sujo, solo exposto, cultura agrícola, área urbanizada.

Para a seleção das variáveis de resposta, entre as 30 apresentadas na Seção 4.3, foi considerada a análise exploratória apresentada naquela Seção. Também foi realizada uma análise de agrupamentos (*Cluster Analysis*) para identificação dos grupos de variáveis e, por meio do dendograma, escolher aquelas que melhor representassem determinados grupos. O objetivo foi reduzir o número de variáveis de resposta visando diminuir o esforço com a GWR e, ao mesmo tempo, possibilitar que o monitoramento da qualidade ambiental da BCRC D, a partir dos resultados deste trabalho, seja mais simples e com menor custo. [108] Ao se monitorar um número menor de variáveis podem ser reduzidos os custos com atividades de campanha, análises laboratoriais e outros recursos. Conforme se verifica na Figura 105 foram identificados 5 grupos. As variáveis de resposta (parâmetros de qualidade da água) escolhidas para representar cada grupo foram: condutividade elétrica, oxigênio consumido, ortofosfato, nitrato e demanda química de oxigênio. Além destas, também foram consideradas no modelo as variáveis densidade de cianobactérias e *E. coli*.

A densidade de cianobactérias tem importância para o estudo devido à preocupação da concessionária e da sociedade local em relação à presença dessas algas na represa. Assim, apesar de sua grande variabilidade (0 a 27.174 cél.ml⁻¹), dificultando sua inclusão na análise de agrupamentos, esta variável foi escolhida para a GWR.

De modo semelhante, a variável *E. coli* apresentou grande variabilidade (0 a 1.400 NMP.100ml⁻¹) e não foi considerada na análise de agrupamentos. Porém é um importante e específico indicador de poluição por material fecal de humanos e outros animais de sangue quente. Sua presença em corpos d'água, especialmente em níveis elevados, indica a

Figura 105 – Análise de Agrupamentos das variáveis de qualidade da água - dendograma



possível presença de bactérias, vírus e protozoários causadores de doenças. Esta variável foi então incluída na GWR para indicar contaminação por esgotos e dejetos de atividades agropecuárias.

A condutividade elétrica está relacionada a fontes de poluição e alteração do metabolismo aquático. Também é um bom indicador da composição mineral da água de um reservatório e aponta precocemente a mudança da qualidade de um corpo hídrico. De uma forma geral, a maioria dos corpos d'água mantém constante sua condutividade, o que facilita a comparação com medições futuras e a percepção de alterações. Por exemplo, o *runoff* de áreas agropecuárias ou ainda o despejo de esgoto aumentará a condutividade da água devido aos íons adicionais de cloreto, fosfato e nitrato. Por outro lado, o derramamento de óleo ou adição de outros compostos orgânicos diminuirá a condutividade, pois esses elementos não se dividem em íons. [72, 77]

O parâmetro OC indica o oxigênio consumido na degradação de matéria orgânica, sendo um eficaz indicador da presença desta. De modo semelhante, a $DBO_{5,20}$ se refere à matéria orgânica de fácil decomposição, geralmente proveniente de esgotos. [72] Assim, uma vez que a $DBO_{5,20}$, devido ao limite de detecção do laboratório, teve sua interpretação prejudicada, a variável OC foi utilizada em substituição à $DBO_{5,20}$ para indicar a presença

de matéria orgânica.

O (PO_4^{-3}) é a principal forma de fosfato assimilada pelo fitoplâncton, por isso é um parâmetro importante a ser monitorado na represa de Chapéu D'Uvas. Também, geralmente, apresenta menores concentrações em bacias com maior cobertura de mata e, por outro lado, maiores concentrações em áreas com atividades agropecuárias e /ou despejo de esgotos. [?, 72]

Da série nitrogenada, o nitrato, NO_3^- , é um indicador importante pois, além de ser uma das formas do NID facilmente absorvida pelo fitoplâncton, traz a indicação de outros parâmetros uma vez que sua redução produz nitrito e tem como uma das fontes de origem o próprio solo da bacia, pela nitrificação da amônia e do nitrogênio. Com a lixiviação provada por fortes chuvas, o nitrato é liberado pelo solo. Porém, é retido na bacia de contribuição quando esta é coberta por mata. Além disso, concentrações mais altas de NO_3^- podem estar associadas a poluição por fertilizantes agrícolas. [84, 72]

A DQO, por sua vez, é um indicador da presença de matéria orgânica refratária, a qual se decompõe lentamente e é proveniente de substâncias húmicas provenientes de áreas de mata, ou, quando de origem antrópica, de efluentes industriais. Assim, enquanto o OC indicará a presença de matéria orgânica de rápida decomposição, a DQO representará apenas a fração refratária desse tipo de matéria. [72]

5.3 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Para a regressão geograficamente ponderada, o passo inicial foi a construção da matriz de distâncias. O pacote GWmodel [109] utiliza a função "gw.dist" para calcular a matriz de distâncias que, por padrão, a partir das coordenadas dos pontos (UTM), determina a distância Euclidiana (distância entre dois pontos, em linha reta) entre os mesmos. A tabela com os dados de entrada, considerando as 4 observações para cada ponto, foi carregada conforme Algoritmo 1.

Algoritmo 1: CÁLCULO DA MATRIZ DE DISTÂNCIAS (DM)

Entrada: dados campanha (txt)

Saída: matriz de distâncias (m)

```

1 início
2   ‡ Carregar a tabela de dados
3   dados = read.table("dados campanha.txt", he = T, sep = "\t")
4   matriz = read.table("matriz.txt")
5   ‡ Criar tabela de coordenadas dos pontos
6   dd = aggregate( cbind(e,n) pontos, data = dados, FUN = mean, na.rm = T )
7   pontos.spdf <- SpatialPointsDataFrame(dd[,2:3], dd)
8   ‡ Gerar a matriz de distâncias
9   DM <- gw.dist(dp.locat = coordinates(pontos.spdf))
10 fim

```

Como resultado se obteve a matriz da Tabela 29, com as distâncias Euclidianas entre os pontos em metros (m).

Tabela 29 – Matriz de Distância Euclidiana (m)

Pontos	PC01	PC02	PC03	PC04	PC05	PC06	PC07	PC08	PC09
PC01	0	2.795	5.438	8.084	7.434	5.836	9.862	11.876	14.504
PC02	2.795	0	2.792	5.291	4.709	4.893	7.419	9.485	11.731
PC03	5.438	2.792	0	3.192	2.023	6.469	6.517	8.534	9.567
PC04	8.084	5.291	3.192	0	1.803	6.673	3.931	5.727	6.471
PC05	7.434	4.709	2.023	1.803	0	7.435	5.707	7.530	7.692
PC06	5.836	4.893	6.469	6.673	7.435	0	5.786	7.350	11.655
PC07	9.862	7.419	6.517	3.931	5.707	5.786	0	2.075	6.003
PC08	11.876	9.485	8.534	5.727	7.530	7.350	2.075	0	5.451
PC09	14.504	11.731	9.567	6.471	7.692	11.655	6.003	5.451	0

Todavia, seguindo os princípios da limnologia da paisagem, deve ser elevada em conta a conectividade hidrológica, ou seja, os cursos d'água como corredores, conectores da paisagem. Assim, a distância entre os pontos de amostragem não deve ser tomada como a Euclidiana, mas como a hidrológica (distância calculada seguindo as linhas dos cursos d'água). A diferença conceitual entre estas duas distâncias é ilustrada na Figura 106.

Com o uso do ArcGIS 10.2.1 foi calculada então a matriz de distâncias hidrológicas, conforme Tabela 30.

Os dados da matriz de distâncias hidrológicas foram carregados então no Algoritmo 1 e a matriz passou a se chamar "DMhidro".

O próximo passo foi o cálculo da largura de banda do núcleo. O pacote GWmodel, por meio da função "bw.gwr" calcula e faz a seleção automática da largura de banda para

Figura 106 – Distância Euclidiana e Distância Hidrológica entre dois pontos A e B

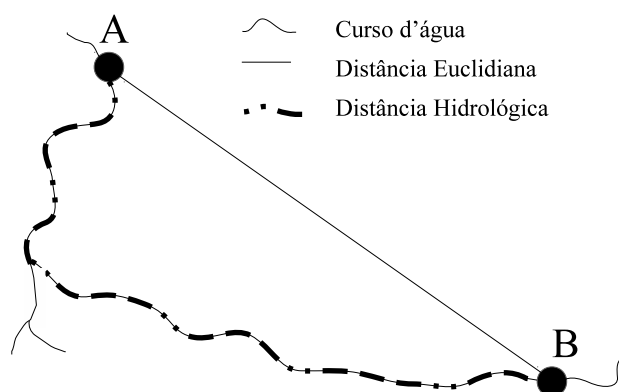


Tabela 30 – Matriz de Distância Hidrológica (m)

Pontos	PC01	PC02	PC03	PC04	PC05	PC06	PC07	PC08	PC09
PC01	0	3.281	7.860	10.129	12.813	19.006	15.661	20.429	23.157
PC02	3.281	0	5.627	7.895	10.579	16.772	13.427	18.195	20.924
PC03	7.860	5.627	0	3.845	6.529	12.722	9.377	14.145	16.873
PC04	10.129	7.895	3.845	0	2.684	8.877	5.531	10.300	13.028
PC05	12.813	10.579	6.529	2.684	0	10.212	6.867	11.635	14.363
PC06	19.006	16.772	12.722	8.877	10.212	0	10.962	15.731	18.459
PC07	15.661	13.427	9.377	5.531	6.867	10.962	0	6.839	9.566
PC08	20.429	18.195	14.145	10.300	11.635	15.731	6.839	0	8.347
PC09	23.157	20.924	16.873	13.028	14.363	18.459	9.566	8.347	0

calibrar um modelo GWR básico. Para uma função contínua, uma largura de banda pode ser especificada como uma distância fixa (largura fixa) ou como uma quantidade fixa de pontos (largura adaptativa) que reflete o tamanho da amostra local, se adaptando de modo que as largura de banda são maiores nos locais onde os dados são escassos, e menores onde os dados são mais densos. As pequenas larguras de banda levam a uma variação espacial mais rápida nos resultados. Quanto menor a largura, tender-se-á a considerar um único ponto, perdendo-se, desse modo, os efeitos geográficos das relações entre os pontos. Por outro lado, as larguras maiores produzem resultados cada vez mais próximos da solução global (média global). Assim, quanto maior a largura mais pontos serão considerados e mais generalizada será a solução perdendo, também, os efeitos geográficos ponderados. [55, 66, 107, 109] Para o modelo desta pesquisa a largura fixa de banda apresentou melhor resultado, uma vez que não há grande variabilidade espacial entre os pontos considerando-se a escala, sendo utilizada também a função gaussiana, a qual é contínua, para o cálculo da largura de banda do núcleo, conforme Equação 14.

$$w_{ij} = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(-\frac{d_{ij}^2}{b^2}\right)\right\} \quad (14)$$

Onde w_{ij} é o peso da observação j para a observação i ; d_{ij} é a distância entre as

observações i e j ; b é a largura de banda ou parâmetro de suavidade. Quando a distância entre os dois pontos é maior do que a largura de banda, o peso aproxima-se rapidamente de zero.

Deve ser gerado um valor para a largura de banda para cada variável de resposta. Em seguida é calculado o peso (w_{ij}), com a função "gw.weight", o qual também será diferente para cada variável de resposta. O Algoritmo 2 ilustra o cálculo da largura de banda e da matriz de pesos para uma variável de resposta (var) em relação às variáveis explicativas (var1, var2, var3,...).

Algoritmo 2: CÁLCULO DA LARGURA DE BANDA E DA MATRIZ DE PESOS

Entrada: pontos(spdf), DMhidro

Saída: largura de banda, matriz de pesos

1 **início**

2 ‡ *Calcular a largura de banda*

3 bw1 = bw.gwr(var var1 + var2 + var3 + ..., data = pontos.spdf, kernel =
 "gaussian", approach="CV", adaptive = F, p=2, theta=0, longlat=F,dMat =
 DMhidro)

4 ‡ *Calcular a matriz de pesos*

5 gw.weight(vdist = DMhidro, bw = bw1, kernel = "gaussian")

6 **fim**

No cálculo da largura de banda foi utilizada a função gaussiana. A abordagem utilizada para otimizar a largura de banda foi a validação cruzada (*cross-validation*, CV), conforme parâmetro na função "bw.gwr" (*approach*="CV"). Como explica Fotheringham, Charlton e Brunsdon em [60], a validação cruzada tem uma propriedade importante para o modelo: quando a largura da banda se torna muito pequena o modelo é calibrado apenas em amostras próximas do ponto i e não no próprio i . O pacote GWmodel oferece ainda a opção de usar, em substituição ao CV, o critério de informação de Akaike (AIC), o qual é uma abordagem mais geral que pode ser utilizado para modelos com função Poisson e GWR logística, ou modelos lineares, ou mesmo para comparar a GWR com modelos globais. No caso desta pesquisa, as abordagens CV e AIC apresentaram resultados semelhantes sendo escolhido a abordagem CV para calibração do modelo.

Como já explicado foi utilizada a largura fixa de banda (*adaptive* = F). O parâmetro "p=2" é padrão da função e está relacionado com a força da distância Minkowski. Como foi utilizada a distância hidrológica, não foi alterado este parâmetro. O parâmetro "theta=0" é o ângulo de rotação do sistema de coordenadas. O "longlat=F" desabilita o cálculo da distância circular, uma vez que está sendo utilizada a distância hidrológica.

Como os mapas foram gerados no ArcGIS e não no R, foi utilizada uma função para apenas gerar o sumário das estatísticas da GWR, conforme Algoritmo 3.

Algoritmo 3: GERAR SUMÁRIO DAS ESTATÍSTICAS

Entrada: dados, pontos(spdf)

Saída: sumário das estatísticas (m)

1 **início**

2 $\#$ *Calcular as estatísticas*

3 gwss(dados, data = pontos.spdf, kernel = "gaussian", bw=bw1, adaptive = F,
 p=2, dMat = DMhidro)

4 **fim**

No parâmetro "dados" é informado o nome da variável de resposta e das explicativas. Como saída a função gera estatísticas geograficamente ponderadas: média, desvio padrão, variância, skew, CV, correlação, covariância e ρ de Spearman.

Devido a limitação do pequeno número de pontos para a GWR, não foram gerados os modelos completos de regressão, com os respectivos parâmetros estimados. Foi analisada apenas a correlação das variáveis de resposta com as explicativas, a partir dos resultados da função "gwss". Na Seção 5.4 são apresentadas as tabelas com as correlações e os mapas respectivos.

5.4 RESULTADOS

5.4.1 GWR - Densidade de Cianobactérias

A densidade de cianobactérias apresentou poucas correlações com as variáveis explicativas. A alta variabilidade e as ocorrências de leituras sem contagem de nenhuma célula prejudicaram a análise pela GWR. Destaca-se as correlações positivas fortes com a classe represa. Como apresentado nas Seções 4.3.1.28 e 4.4.3, as maiores e mais frequentes leituras de cianobactérias foram registradas nos pontos dentro da represa (PC04 e PC09), o que explica esta correlação. A floração destas algas está mais relacionada aos aspectos lacustres do reservatório como o Tr.

A Tabela 31 apresenta os coeficientes de correlação da GWR para a densidade de cianobactérias. Para a classe represa se observa que mesmo as sub bacias com nenhuma (PC02) ou reduzida (PC01 e PC03) área desta classe as correlações são muito fortes por influência geográfica, aumentando em direção à barragem.

Para as variáveis SB e SR, pode ser verificada a forte influência da localização, pois, mesmo a sub bacia PC01 tendo maiores valores destas razões (SB = 0,31; SR = 10,70) que a sub bacia do PC09 (SB = 0,16; SR = 5,41), as correlações foram mais fortes para a sub bacia mais à jusante. E a sub bacia do PC06, como está mais afastada (distância hidrológica) da captação que PC03, PC04, PC05, PC07 e PC08, mesmo tendo maiores valores de SB e SR que estas, apresentou correlação menos forte.

As correlações negativas com o desnível e a declividade média da sub bacia reforçam a interpretação de que quanto menor a velocidade de escoamento, o seja, quanto mais perto de características lacustres, maior a incidência de cianobactérias.

A Tabela 31 apresenta a matriz com os valores do coeficiente de correlação ρ de Pearson para a densidade de cianobactérias e as variáveis explicativas. A Figura 107 ilustra a representação gráfica das correlações para as variáveis explicativas que mais se destacaram.

5.4.2 GWR - *Escherichia coli* (*E. coli*)

As leituras deste coliforme apresentaram grande variabilidade, conforme já explicado. No entanto, os resultados da matriz de correlação da GWR são coerentes e é perceptível o padrão de comportamento desta variável.

Com relação ao uso e cobertura da terra, a classe área urbanizada apresentou correlações positivas fortes nas sub bacias mais à montante e moderadas mais à jusante. Como a sub bacia do PC02 é a única que possui área urbanizada, influenciou o resultado das bacias vizinhas. Sendo um parâmetro associado ao despejo de esgotos domésticos, este resultado indica que na região do Distrito de Nova Dores do Paraibuna a preocupação com o tratamento dos esgotos deve ser mais urgente do que nas outras sub bacias. Também a classe pastagem e cultura agrícola apresentaram correlações positivas, embora fracas, indicando que a presença do homem e de animais nas sub bacias está relacionada com as leituras de *E. coli*.

Correlações positivas foram observadas também com a declividade média, indicando que quanto maior o desnível e menor o comprimento da sub bacia, maior é a presença de *E. coli*. Isto porque o coliforme, presente nos esgotos domésticos e dejetos de áreas agropecuárias, chega com mais facilidade aos corpos d'água. A posição geográfica também influenciou pois, sub bacias com valores altos da Dc situadas no baixo curso tiveram correlações positivas moderadas, enquanto as de montante com valores aproximados tiveram correlações fortes. Consequência da localização do Distrito de Nova Dores do Paraibuna.

As classes mata e silvicultura apresentaram correlações negativas, sendo os valores do ρ de Pearson maiores (em módulo) para a silvicultura. Este resultado indica que estas coberturas ajudam a diminuir a presença de *E. coli* na água, o que pode ser explicado tanto pela menor presença humana e de criações de animais nessas áreas como pela capacidade da vegetação reter o escoamento superficial. As correlações com a classe mata são mais fortes na cabeceira da bacia, onde se localiza a sub bacia do PC01 a qual possui a maior área de mata (36,52 km² = 37,58%) na BCRC. Também na sub bacia do PC06, onde há grande percentual de cobertura por mata (19,39 km² = 38,11%) , o módulo do ρ de Pearson foi maior. Em direção à barragem as correlações vão diminuindo. Por sua

vez, a classe silvicultura apresentou correlação negativa moderada nas sub bacias dos PC01 e PC02, regiões onde há as menores coberturas percentuais desta classe (1,88% e 0, respectivamente). Este resultado esclarece que a capacidade desta cobertura ajudar na redução de *E. coli* não depende tanto da área coberta, mas de sua localização próxima às fontes do coliforme. Pois, nas sub bacias do PC06 e PC09, onde também se encontram menores percentuais de silvicultura, as correlações são mais fracas.

A Tabela 32 apresenta a matriz com os valores do coeficiente de correlação ρ de Pearson para coliforme *E. coli* e as variáveis explicativas. A Figura 108 ilustra a representação gráfica das correlações para as variáveis explicativas que mais se destacaram.

5.4.3 GWR - Condutividade elétrica (CE)

A CE apresentou correlações positivas com as classes área urbanizada, área agrícola e pastagem. A presença de esgotos e a drenagem de áreas agropecuárias faz aumentar a condutividade da água. A classe área urbanizada apresentou os maiores valores para o ρ de Pearson, decrescendo de montante para jusante, representando a influência do Distrito de Nova Dores do Paraibuna. A classe cultura agrícola apresentou correlações positivas moderadas, crescendo de montante para jusante, enquanto o percentual de cobertura desta classe diminui no mesmo sentido. Ou seja, em sub bacias mais a montante, mesmo com maior percentual (e área absoluta) de cobertura por áreas agrícolas, a correlação é menor com a condutividade. A cobertura de pastagem apresentou correlações positiva moderadas diminuindo de montante para jusante, embora os percentuais de cobertura sejam praticamente idênticos, indicando também a influência da localização geográfica da sub bacia.

A classe silvicultura apresentou correlações negativas fortes com a CE. Estes resultados podem estar associados às práticas de manejo do solo e da cultura, visto que a classe solo exposto (a qual indica preparo para silvicultura), também apresentou correlações negativas moderadas e fortes. A classe mata, por sua vez, apresentou correlações muito fracas, ou seja, a influência na condutividade não está relacionada apenas à presença de vegetação e serrapilheira, mas ao manejo do solo, da cultura e sua composição.

Em relação aos parâmetros morfométricos, a declividade média apresentou correlações positivas, embora fracas e moderadas, diminuindo de montante para jusante. Este resultado indica que a maior razão entre o desnível e comprimento da bacia, ao aumentar o arraste, faz aumentar a condutividade da água.

A Tabela 33 apresenta a matriz com os valores do coeficiente de correlação ρ de Pearson para a CE e as variáveis explicativas. A Figura 109 ilustra a representação gráfica das correlações para as variáveis explicativas que mais se destacaram.

5.4.4 GWR - Oxigênio consumido (OC)

A variável OC apresentou correlações positivas moderadas e fortes com a classe pastagem, diminuindo de montante para jusante, o que indica o efeito das atividades pecuárias no carreamento de matéria orgânica para os corpos hídricos. As sub bacias localizadas mais à montante apresentam maiores correlações. A classe área urbanizada também apresenta correlações positivas fracas, moderadas e fortes. E, de modo semelhante, estas correlações diminuem de montante para jusante, ou seja, quanto mais próximo da barragem, menor a correlação. Estes resultados estão associados principalmente ao despejo de esgotos domésticos. Também a classe de áreas úmidas apresentou correlações positivas com o OC, diminuindo de montante para jusante. Neste caso, a variação do nível do reservatório impõe uma dinâmica de inundação destas áreas, provocando a decomposição da vegetação e o arraste dessa matéria orgânica para o corpo hídrico, aumentando o consumo de oxigênio para decomposição da mesma. Além disso, nos períodos de nível mais baixo, essas áreas são utilizadas como pastagens e assim recebem dejetos do gado, matéria essa drenada para o corpo d'água com a elevação do nível da represa.

As classes mata e silvicultura apresentaram correlações negativas com o OC. No caso da mata, as sub bacias dos PC01, PC02 e PC03 apresentaram correlações moderadas, enquanto as demais apresentaram correlações fracas, embora na área mais próxima à captação (PC09), o módulo do ρ de Pearson é maior que para as sub bacias dos PC07 e PC08. Este comportamento reforça a importância de se proteger a região mais próxima da captação. A classe silvicultura apresentou correlações negativas mais fortes que a classe mata, porém, o módulo do ρ de Pearson é bem menor na sub bacia do PC09, ou seja, os efeitos da silvicultura na redução do OC são menores nesta região. Por outro lado, nas regiões mais à montante, as correlações são mais fortes.

O percentual de APP remanescente apresentou correlações negativas, embora fracas, com o OC. O módulo do ρ de Pearson aumenta em direção à barragem, ou seja, maiores são os efeitos benéficos da manutenção das APP quanto mais próximo da captação. As faixas de proteção no entorno do reservatório e cursos d'água ajudam a diminuir os efeitos do *runoff* e da variação de nível do reservatório no que se refere ao arraste de matéria orgânica.

A Tabela 34 apresenta a matriz com os valores do coeficiente de correlação ρ de Pearson para o OC e as variáveis explicativas. A Figura 110 ilustra a representação gráfica das correlações para as variáveis explicativas que mais se destacaram.

5.4.5 GWR - Ortofosfato (PO_4^{-3})

O PO_4^{-3} apresentou correlações positivas muito fortes com a classe área urbanizada, indicando a origem deste nutriente nos esgotos domésticos. Também apresentou correlações

positivas moderadas, fortes e muito fortes com a classe áreas úmidas, decaindo de montante para jusante. De modo semelhante ao que ocorre com o OC, a variação do nível do reservatório atinge estas áreas favorecendo o aporte deste nutriente para os corpos hídricos. O efeitos nas sub bacias mais a montante são maiores, assim como naquelas que apresentam maior percentual de cobertura por áreas úmidas.

A classe mata apresenta correlações negativas fracas e moderadas com o PO_4^{-3} , decaindo de montante para jusante. Neste caso, quanto mais próximo da barragem, menores os efeitos da mata para diminuição deste nutriente. As classes silvicultura e pasto sujo apresentam maiores valores para o módulo do ρ de Pearson. Nestas áreas a produção primária retira nutrientes do solo para formação das florestas plantadas (silvicultura) e recomposição da mata (pasto sujo), diminuindo a disponibilidade do ortofosfato. De modo semelhante ao que ocorre com a classe mata, as correlações ficam mais fracas de montante para jusante.

A razão entre a área da sub bacia e área da BCRC (SB) também apresentou correlações negativas fracas e moderadas, diminuindo o módulo do ρ de Pearson no sentido de montante para jusante. Estes resultados indicam que o tamanho das sub bacias maiores terá maior interferência na disponibilidade do PO_4^{-3} quanto mais à montante.

A Tabela 35 apresenta a matriz com os valores do coeficiente de correlação ρ de Pearson para o PO_4^{-3} e as variáveis explicativas. A Figura 111 ilustra a representação gráfica das correlações para as variáveis explicativas que mais se destacaram.

5.4.6 GWR - Nitrato (NO_3^-)

O NO_3^- apresentou, com a classe áreas úmidas, correlações fracas, moderadas, fortes e muito forte. O módulo do ρ de Pearson, decaindo de montante para jusante, indica que os efeitos são maiores nas sub bacias mais próximas à cabeceira. A variação de nível do reservatório, de modo semelhante ao que ocorre com as variáveis OC e PO_4^{-3} , aumenta a disponibilidade de nitrato nos corpos d'água. A classe área urbanizada também apresentou correlações fortes e muito fortes com o NO_3^- , decaindo de montante para jusante, evidenciando a origem deste nutriente nos esgotos domésticos.

As classes de mata, silvicultura e pasto sujo apresentaram correlações negativas com o nitrato, embora para a primeira tenha menores valores para o módulo do ρ de Pearson. Nas três classes as correlações ficam mais fracas de montante para jusante o que indica que os efeitos da vegetação para retenção nutriente, diminuindo sua disponibilidade nos corpos d'água, são mais fortes quanto mais a montante estiver a sub bacia.

A razão SB apresentou correlações negativas fraca, moderadas e fortes com o NO_3^- . Os módulos do ρ de Pearson são maiores na cabeceira e próximo à barragem, decaindo próximo ao médio curso.

A declividade média apresentou correlações positivas fortes com o nitrato, decaindo de montante para jusante. Bacias com maior desnível e menor comprimento drenam mais rapidamente para os corpos d'água, com maior arraste, então, de nutrientes. Se localizadas mais à montante, seus efeitos são maiores. As águas provenientes das sub bacias mais afastadas da barragem terão maior tempo de residência (Tr) no reservatório.

A Tabela 36 apresenta a matriz com os valores do coeficiente de correlação ρ de Pearson para o NO_3^- e as variáveis explicativas. A Figura 112 ilustra a representação gráfica das correlações para as variáveis explicativas que mais se destacaram.

5.4.7 GWR - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO apresentou correlações positivas fracas, moderadas e fortes com as classes de mata, silvicultura e pasto sujo. Os maiores valores de ρ de Pearson foram registrados para a classe pasto sujo. A DQO está relacionada à carga orgânica refratária, a qual requer maior tempo de decomposição. Nestas três classes se observa a origem da DQO em substâncias húmicas de áreas de mata, não em efluentes industriais. As correlações diminuem de montante para jusante, indicando que os efeitos destas coberturas sobre os corpos d'água são mais fortes quanto mais distante da barragem.

Também o percentual de APP remanescente apresentou correlação positiva com a DQO, embora fraca, reforçando a origem em substâncias húmicas.

A classe pastagem apresentou correlações negativas fracas e moderadas com a DQO. Isto porque a matéria orgânica proveniente dos dejetos das atividades agropecuárias são de rápida decomposição, como fora registrado nas correlações com o OC.

A declividade média também apresentou correlações negativas com a DQO, contrário ao apresentado com o OC, mostrando que maior arraste ocorre para matéria orgânica rapidamente degradável.

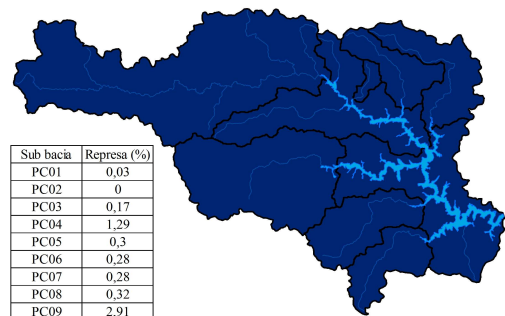
Tabela 31 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Densidade de cianobactérias

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APPr
PC01	-0,100	0,136	-0,007	0,097	0,969	-0,066	0,007	-0,037	-0,208	-0,159	0,592	0,592	-0,020	0,126	-0,523	-0,462	0,044
PC02	-0,095	0,140	-0,025	0,097	0,972	-0,075	0,014	-0,031	-0,214	-0,157	0,589	0,589	-0,006	0,133	-0,538	-0,486	0,057
PC03	-0,082	0,143	-0,066	0,093	0,977	-0,097	0,032	-0,010	-0,221	-0,147	0,586	0,586	0,021	0,144	-0,568	-0,537	0,079
PC04	-0,068	0,142	-0,098	0,089	0,981	-0,116	0,046	0,004	-0,228	-0,142	0,584	0,584	0,040	0,153	-0,594	-0,578	0,094
PC05	-0,063	0,146	-0,116	0,088	0,981	-0,119	0,057	0,016	-0,234	-0,137	0,582	0,582	0,054	0,147	-0,594	-0,582	0,098
PC06	-0,014	0,103	-0,165	0,065	0,981	-0,117	0,104	0,013	-0,239	-0,118	0,484	0,484	0,107	0,043	-0,573	-0,562	0,062
PC07	-0,054	0,159	-0,151	0,091	0,985	-0,160	0,074	0,038	-0,233	-0,135	0,619	0,619	0,075	0,190	-0,639	-0,641	0,121
PC08	-0,062	0,198	-0,205	0,116	0,988	-0,215	0,095	0,086	-0,227	-0,129	0,669	0,669	0,110	0,246	-0,681	-0,694	0,169
PC09	-0,061	0,214	-0,233	0,116	0,991	-0,243	0,101	0,104	-0,246	-0,136	0,716	0,716	0,125	0,312	-0,732	-0,755	0,192

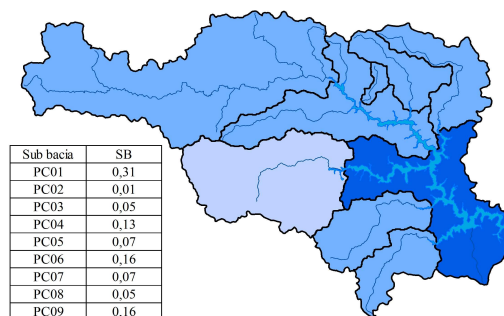
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APPr) APP remanescente.

Figura 107 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Densidade de cianobactérias com: (a) Represa; (b) SB; (c) SR; (d) Dc; (e) Dn

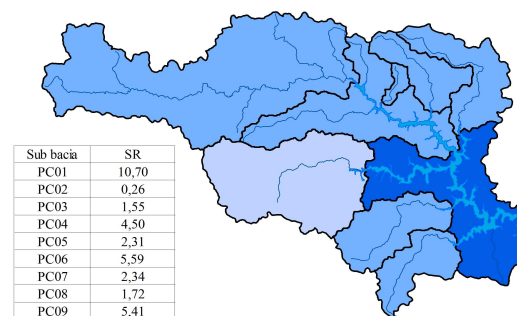
(a) Represa



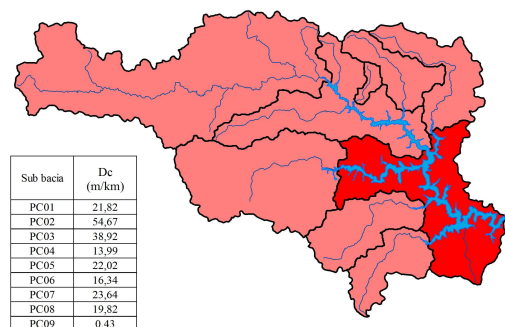
(b) SB



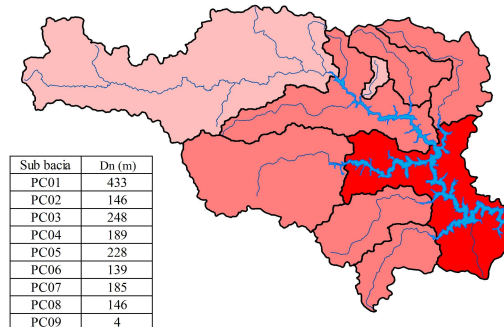
(c) SR



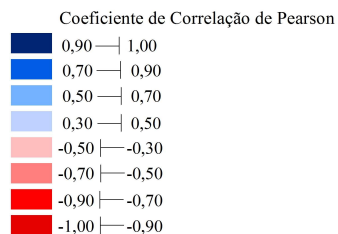
(d) Declividade média



(e) Desnível médio



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018



Programa de Pós-Graduação em Ecologia



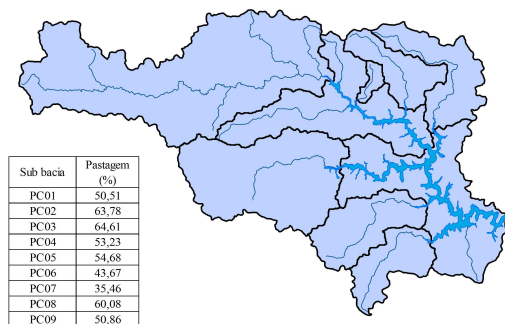
Tabela 32 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - *E. coli*

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APPr
PC01	0,462	-0,360	-0,537	-0,403	-0,550	-0,430	0,418	0,580	0,636	0,752	-0,732	-0,732	0,100	-0,296	0,726	0,192	-0,198
PC02	0,460	-0,352	-0,526	-0,388	-0,538	-0,432	0,424	0,561	0,643	0,746	-0,719	-0,719	0,110	-0,310	0,724	0,220	-0,202
PC03	0,446	-0,323	-0,490	-0,344	-0,514	-0,431	0,429	0,506	0,660	0,726	-0,688	-0,688	0,133	-0,335	0,711	0,280	-0,204
PC04	0,437	-0,296	-0,468	-0,306	-0,497	-0,431	0,435	0,467	0,674	0,711	-0,664	-0,664	0,150	-0,353	0,706	0,325	-0,202
PC05	0,432	-0,302	-0,433	-0,304	-0,495	-0,429	0,425	0,433	0,685	0,696	-0,657	-0,657	0,142	-0,354	0,694	0,329	-0,218
PC06	0,441	-0,334	-0,396	-0,317	-0,464	-0,390	0,416	0,344	0,696	0,681	-0,635	-0,635	0,154	-0,357	0,685	0,350	-0,265
PC07	0,411	-0,253	-0,430	-0,253	-0,478	-0,431	0,427	0,427	0,698	0,692	-0,626	-0,626	0,157	-0,357	0,694	0,372	-0,190
PC08	0,369	-0,186	-0,395	-0,180	-0,463	-0,431	0,412	0,403	0,722	0,674	-0,583	-0,583	0,158	-0,360	0,681	0,408	-0,149
PC09	0,364	-0,197	-0,353	-0,180	-0,476	-0,406	0,396	0,371	0,734	0,663	-0,587	-0,587	0,145	-0,380	0,679	0,439	-0,171

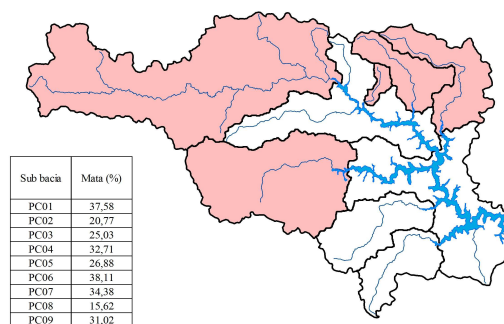
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APPr) APP remanescente.

Figura 108 – GWR - Correlação ρ de Pearson - *E. coli* com: (a) Pastagem;(b) Mata; (c) Silvicultura; (d) Cultura agrícola; (e) Área urbanizada; (f) Declividade média

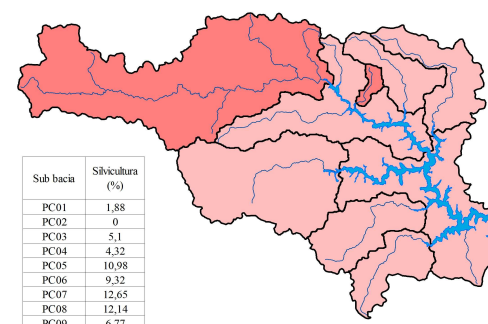
(a) Pastagem



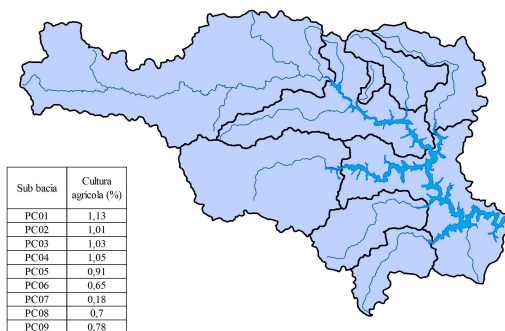
(b) Mata



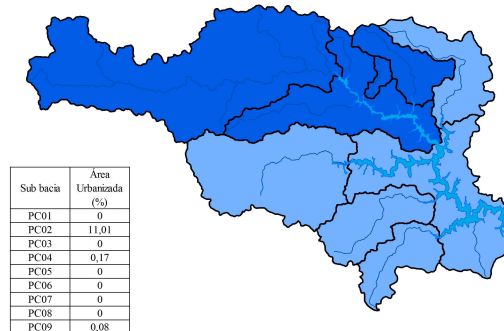
(c) Silvicultura



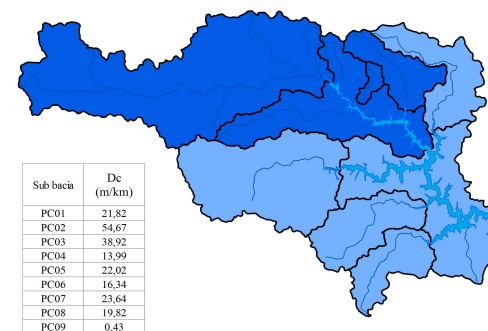
(d) Cultura agrícola



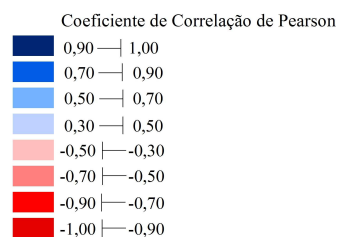
(e) Área urbanizada



(f) Declividade média



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018

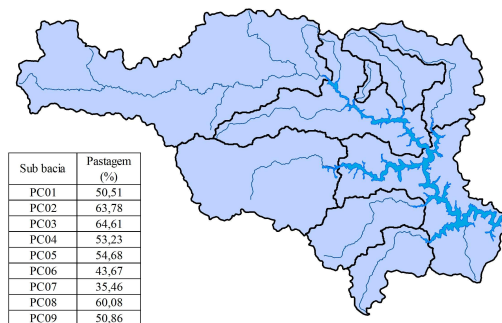
Tabela 33 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Condutividade elétrica

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APP _r
PC01	0,463	-0,183	-0,809	-0,333	-0,253	-0,622	0,627	0,779	0,401	0,779	-0,471	-0,471	0,262	-0,207	0,574	0,150	-0,053
PC02	0,466	-0,169	-0,808	-0,320	-0,227	-0,633	0,637	0,774	0,404	0,777	-0,443	-0,443	0,274	-0,207	0,564	0,158	-0,054
PC03	0,457	-0,126	-0,798	-0,275	-0,167	-0,655	0,653	0,755	0,408	0,764	-0,370	-0,370	0,308	-0,203	0,523	0,176	-0,047
PC04	0,452	-0,088	-0,797	-0,235	-0,121	-0,675	0,669	0,740	0,413	0,750	-0,313	-0,313	0,330	-0,195	0,492	0,184	-0,036
PC05	0,455	-0,091	-0,783	-0,236	-0,110	-0,679	0,669	0,726	0,413	0,745	-0,297	-0,297	0,332	-0,193	0,480	0,181	-0,049
PC06	0,463	-0,103	-0,769	-0,246	-0,070	-0,676	0,675	0,681	0,417	0,733	-0,248	-0,248	0,345	-0,179	0,449	0,176	-0,090
PC07	0,442	-0,032	-0,797	-0,180	-0,046	-0,710	0,686	0,731	0,425	0,727	-0,212	-0,212	0,359	-0,169	0,427	0,170	-0,021
PC08	0,396	0,058	-0,800	-0,085	0,029	-0,741	0,691	0,735	0,442	0,703	-0,104	-0,104	0,388	-0,144	0,357	0,145	0,039
PC09	0,402	0,061	-0,797	-0,087	0,075	-0,751	0,697	0,727	0,433	0,687	-0,050	-0,050	0,398	-0,124	0,290	0,100	0,027

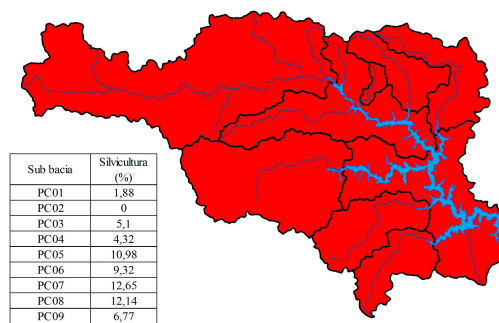
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APP_r) APP remanescente.

Figura 109 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Condutividade elétrica com: (a) Pastagem;(b) Silvicultura; (c) Solo exposto; (d) Cultura agrícola; (e) Área urbanizada; (f) Declividade média

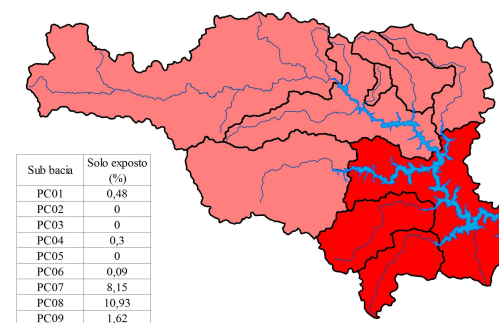
(a) Pastagem



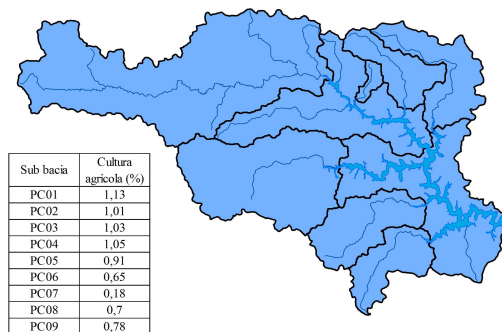
(b) Silvicultura



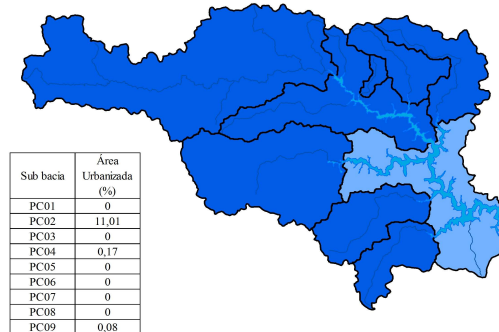
(c) Solo Exposto



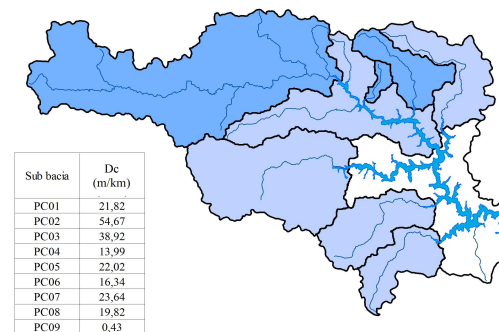
(d) Cultura agrícola



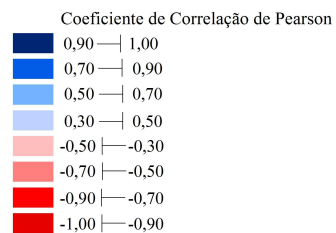
(e) Área urbanizada



(f) Declividade média



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018

Programa de Pós-Graduação em Ecologia



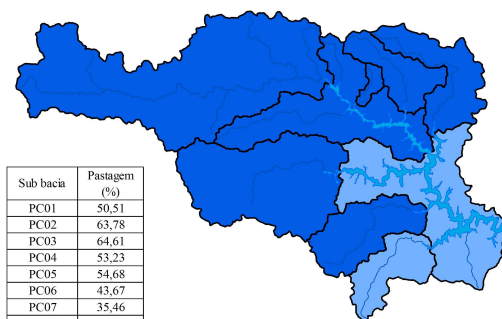
Tabela 34 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Oxigênio consumido

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APPr
PC01	0,787	-0,591	-0,787	-0,713	-0,593	-0,497	0,506	0,754	0,186	0,774	-0,802	-0,802	-0,150	0,119	0,892	-0,100	-0,339
PC02	0,789	-0,571	-0,795	-0,700	-0,585	-0,505	0,558	0,732	0,135	0,758	-0,776	-0,776	-0,087	0,043	0,889	-0,008	-0,324
PC03	0,781	-0,513	-0,776	-0,649	-0,555	-0,500	0,622	0,653	0,048	0,705	-0,702	-0,702	0,022	-0,067	0,876	0,195	-0,315
PC04	0,749	-0,447	-0,736	-0,578	-0,543	-0,466	0,637	0,590	0,053	0,676	-0,637	-0,637	0,086	-0,133	0,860	0,333	-0,316
PC05	0,753	-0,452	-0,719	-0,588	-0,515	-0,461	0,632	0,564	0,020	0,661	-0,602	-0,602	0,085	-0,108	0,848	0,343	-0,328
PC06	0,737	-0,430	-0,686	-0,609	-0,415	-0,451	0,640	0,418	0,009	0,614	-0,437	-0,437	0,110	-0,105	0,785	0,372	-0,378
PC07	0,701	-0,394	-0,614	-0,494	-0,547	-0,395	0,620	0,464	0,089	0,602	-0,558	-0,558	0,111	-0,184	0,819	0,490	-0,366
PC08	0,640	-0,392	-0,391	-0,437	-0,608	-0,193	0,546	0,251	0,096	0,514	-0,575	-0,575	0,053	-0,293	0,800	0,602	-0,417
PC09	0,569	-0,453	-0,151	-0,438	-0,714	-0,006	0,412	0,059	0,145	0,441	-0,674	-0,674	-0,052	-0,458	0,830	0,722	-0,492

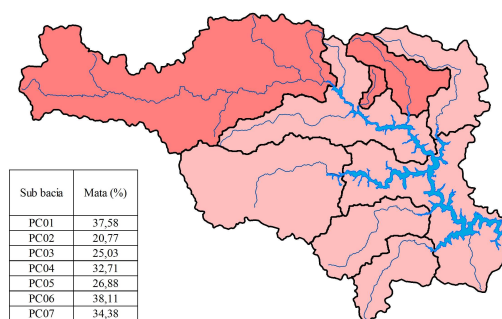
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APPr) APP remanescente.

Figura 110 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Oxigênio consumido com: (a) Pastagem;(b) Mata; (c) Silvicultura; (d) Áreas úmidas; (e) Área urbanizada; (f) APP remanescente

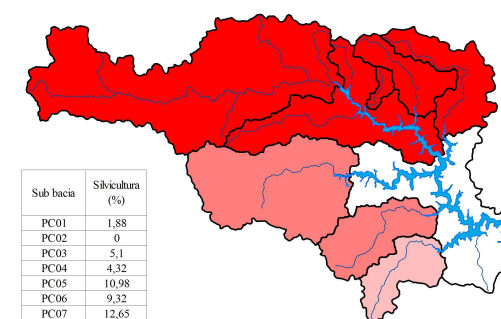
(a) Pastagem



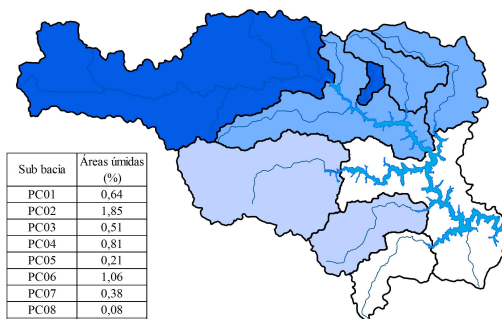
(b) Mata



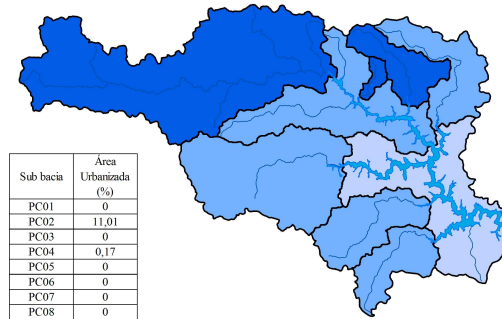
(c) Silvicultura



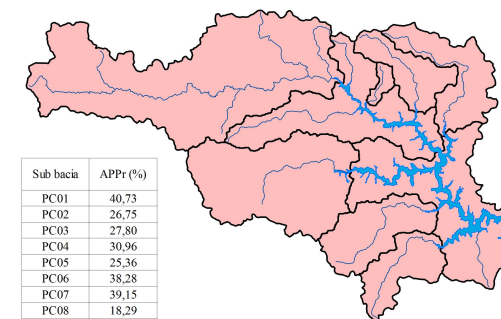
(d) Áreas úmidas



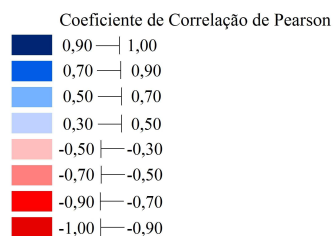
(e) Área urbanizada



(f) APP remanescente



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018

Programa de Pós-Graduação em Ecologia



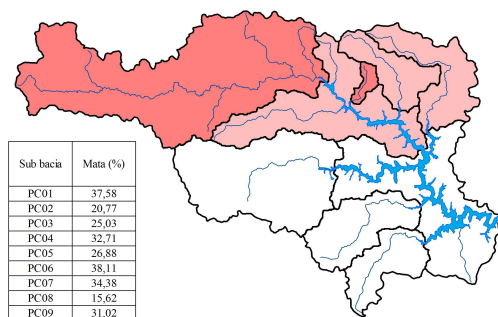
Tabela 35 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Ortofosfato

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APPr
PC01	0,514	-0,626	-0,634	-0,733	-0,381	-0,233	0,131	0,952	0,518	0,994	-0,669	-0,669	-0,333	0,155	0,839	-0,438	-0,377
PC02	0,487	-0,587	-0,640	-0,703	-0,377	-0,241	0,177	0,939	0,461	0,994	-0,646	-0,646	-0,277	0,102	0,824	-0,378	-0,329
PC03	0,414	-0,471	-0,620	-0,599	-0,328	-0,242	0,226	0,896	0,355	0,993	-0,561	-0,561	-0,169	0,030	0,766	-0,246	-0,228
PC04	0,387	-0,378	-0,602	-0,506	-0,283	-0,252	0,252	0,848	0,300	0,992	-0,489	-0,489	-0,116	0,001	0,732	-0,151	-0,176
PC05	0,364	-0,358	-0,579	-0,488	-0,271	-0,236	0,238	0,823	0,250	0,991	-0,461	-0,461	-0,107	0,019	0,711	-0,147	-0,157
PC06	0,295	-0,262	-0,503	-0,425	-0,240	-0,219	0,210	0,690	0,227	0,980	-0,301	-0,301	-0,091	0,034	0,629	-0,130	-0,124
PC07	0,324	-0,246	-0,546	-0,352	-0,215	-0,260	0,260	0,773	0,273	0,989	-0,372	-0,372	-0,062	0,003	0,637	-0,050	-0,118
PC08	0,249	-0,121	-0,476	-0,198	-0,153	-0,250	0,250	0,678	0,266	0,987	-0,257	-0,257	-0,025	0,000	0,524	0,009	-0,055
PC09	0,244	-0,129	-0,407	-0,196	-0,137	-0,217	0,238	0,612	0,257	0,985	-0,218	-0,218	-0,025	-0,022	0,422	0,044	-0,079

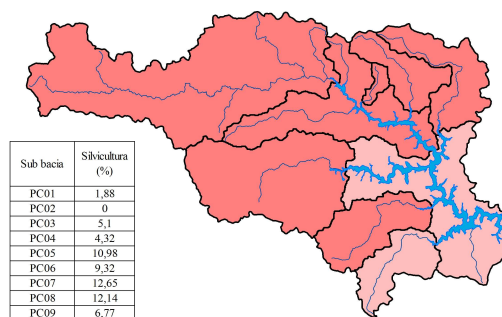
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APPr) APP remanescente.

Figura 111 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Ortofosfato com: (a) Mata;(b) Silvicultura; (c) Pasto sujo; (d) Áreas úmidas; (e) Área urbanizada; (f) SB

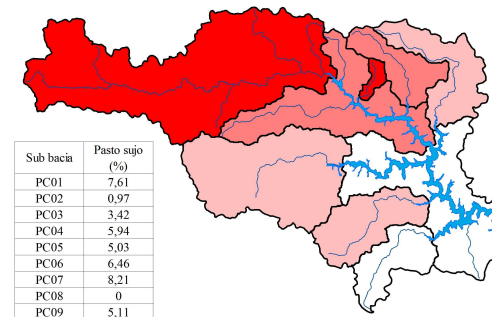
(a) Mata



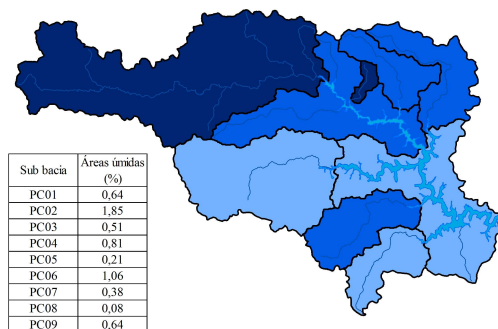
(b) Silvicultura



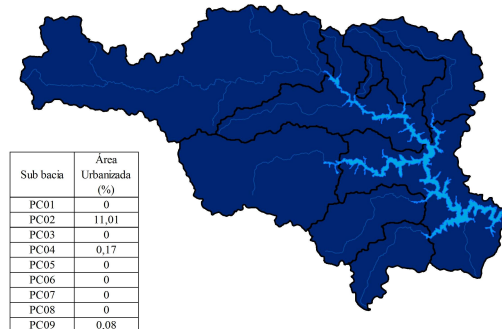
(c) Pasto sujo



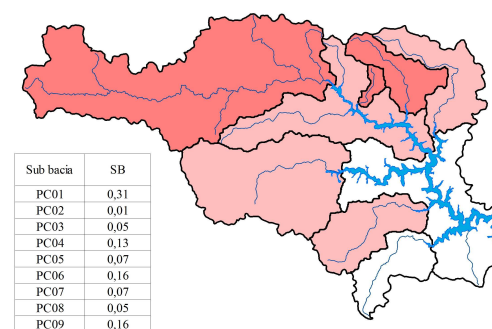
(d) Áreas úmidas



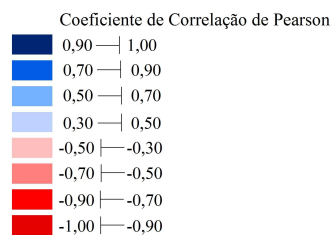
(e) Área urbanizada



(f) SB



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018

Programa de Pós-Graduação em Ecologia



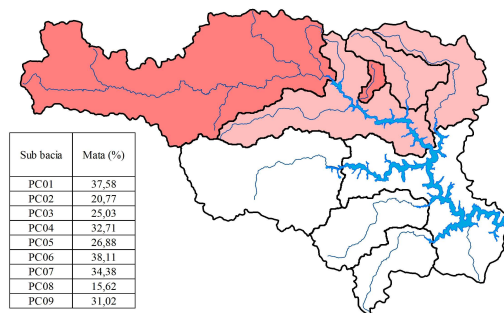
Tabela 36 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Nitrato

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APPr
PC01	0,456	-0,569	-0,638	-0,669	-0,525	-0,146	0,075	0,908	0,433	0,961	-0,771	-0,771	-0,260	0,188	0,868	-0,324	-0,259
PC02	0,421	-0,535	-0,627	-0,637	-0,522	-0,139	0,095	0,890	0,375	0,960	-0,752	-0,752	-0,217	0,138	0,863	-0,265	-0,207
PC03	0,319	-0,424	-0,562	-0,519	-0,487	-0,096	0,079	0,824	0,259	0,949	-0,688	-0,688	-0,143	0,070	0,832	-0,132	-0,094
PC04	0,246	-0,326	-0,499	-0,402	-0,455	-0,063	0,044	0,752	0,197	0,936	-0,634	-0,634	-0,121	0,030	0,817	-0,033	-0,027
PC05	0,202	-0,303	-0,453	-0,375	-0,453	-0,017	-0,007	0,716	0,138	0,927	-0,616	-0,616	-0,138	0,068	0,806	-0,034	0,008
PC06	0,092	-0,232	-0,291	-0,283	-0,455	0,092	-0,126	0,517	0,111	0,892	-0,490	-0,490	-0,187	0,042	0,765	-0,014	0,043
PC07	0,067	-0,172	-0,311	-0,187	-0,450	0,024	-0,099	0,604	0,166	0,893	-0,584	-0,584	-0,169	0,025	0,778	0,098	0,077
PC08	-0,095	-0,049	-0,108	-0,015	-0,471	0,100	-0,249	0,429	0,164	0,832	-0,549	-0,549	-0,254	-0,006	0,746	0,228	0,141
PC09	-0,167	-0,070	0,095	0,018	-0,552	0,240	-0,360	0,255	0,181	0,765	-0,609	-0,609	-0,361	-0,128	0,747	0,380	0,108

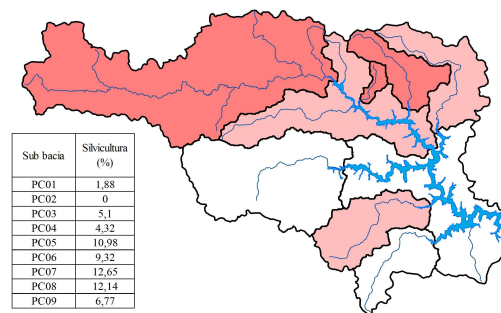
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APPr) APP remanescente.

Figura 112 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Nitrato com: (a) mata;(b) Silvicultura; (c) Áreas úmidas; (d) Área urbanizada; (e) SB; (f) Declividade média

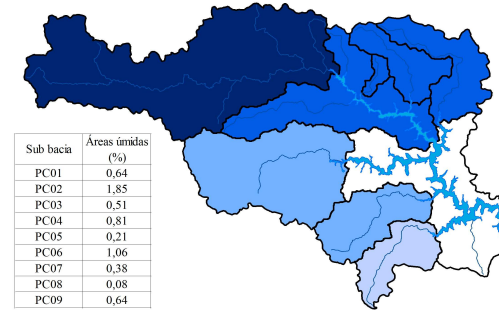
(a) Mata



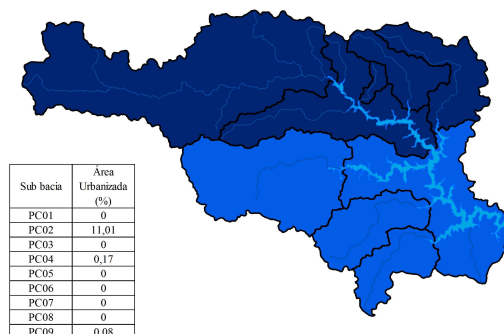
(b) Silvicultura



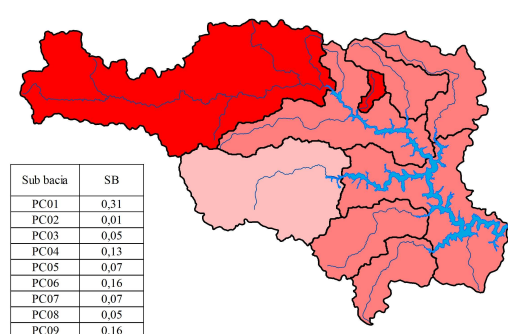
(c) Áreas úmidas



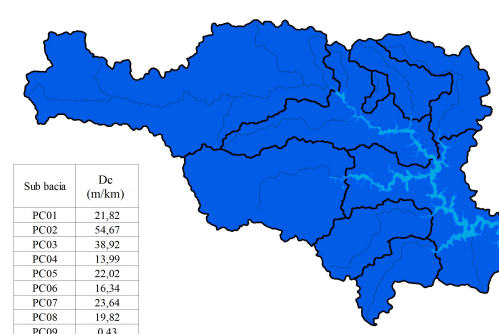
(d) Área urbanizada



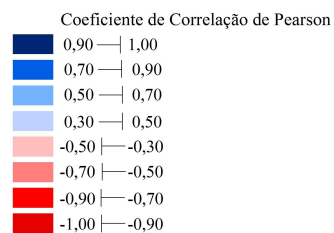
(e) SB



(f) Declividade média



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018



Programa de Pós-Graduação em Ecologia



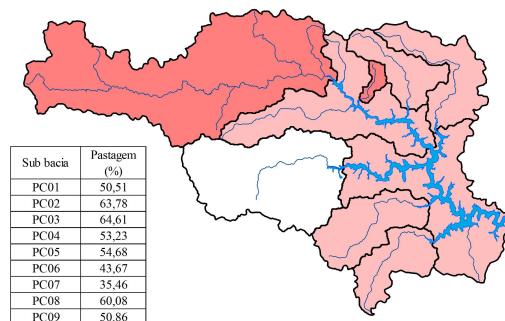
Tabela 37 – GWR - Matriz de Correlação ρ de Pearson - Demanda Química de Oxigênio

	Pas	Mata	Silv	Psuj	Repr	Solexp	Cult	Umid	Lagos	Urb	SB	SR	Kc	Kf	Dc	Dn	APP _r
PC01	-0,658	0,753	0,448	0,842	0,414	0,072	0,023	-0,762	-0,224	-0,813	0,656	0,656	0,547	-0,553	-0,896	0,524	0,478
PC02	-0,599	0,703	0,439	0,809	0,393	0,042	-0,002	-0,726	-0,120	-0,779	0,607	0,607	0,502	-0,530	-0,850	0,475	0,407
PC03	-0,467	0,571	0,362	0,716	0,282	-0,044	0,005	-0,612	0,103	-0,671	0,450	0,450	0,439	-0,536	-0,700	0,405	0,266
PC04	-0,364	0,461	0,273	0,636	0,128	-0,121	0,042	-0,519	0,238	-0,576	0,272	0,272	0,420	-0,560	-0,514	0,432	0,190
PC05	-0,323	0,418	0,268	0,605	0,136	-0,156	0,067	-0,502	0,309	-0,551	0,254	0,254	0,410	-0,593	-0,500	0,420	0,125
PC06	-0,065	0,076	0,092	0,394	0,246	-0,068	0,185	-0,516	0,321	-0,394	-0,076	-0,076	0,526	-0,675	-0,313	0,486	-0,128
PC07	-0,322	0,439	0,140	0,592	-0,067	-0,220	0,046	-0,311	0,373	-0,429	0,123	0,123	0,404	-0,604	-0,234	0,501	0,218
PC08	-0,380	0,510	-0,004	0,622	-0,180	-0,345	0,031	-0,045	0,487	-0,284	0,069	0,069	0,402	-0,622	0,017	0,572	0,344
PC09	-0,350	0,408	0,089	0,548	-0,382	-0,213	-0,031	-0,075	0,515	-0,218	-0,159	-0,159	0,291	-0,694	0,260	0,654	0,254

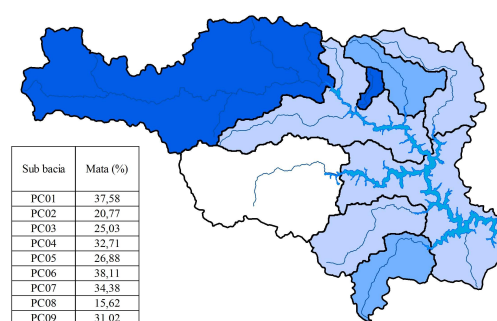
Classes: (Pas) Pastagem; (Mat) mata; (Silv) Silvicultura; (Psuj) Pasto sujo; (Repr) Represa; (Solexp) Solo exposto; (Cult) Cultura Agrícola; (Umid) Áreas úmidas; (Lagos) Lagos; (Urb) Área urbanizada; (SB) Razão área da sub bacia / área da BCRC; (SR) Razão área da sub bacia / área da represa; (Kc) Coeficiente de capacidade; (Kf) Fator de forma; (Dc) Declividade média; (Dn) Desnível da sub bacia; (APP_r) APP remanescente.

Figura 113 – GWR - Correlação ρ de Pearson - Demanda Química de Oxigênio com: (a) Pastagem; (b) Mata; (c) Silvicultura; (d) Pasto sujo; (e) Declividade média, (f) APP remanescente

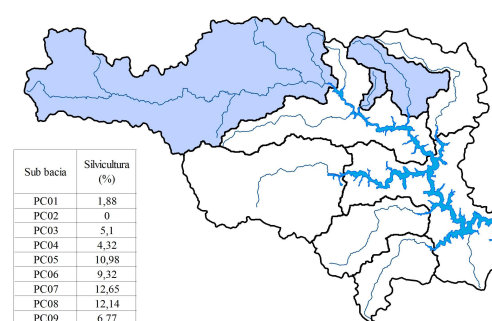
(a) Pastagem



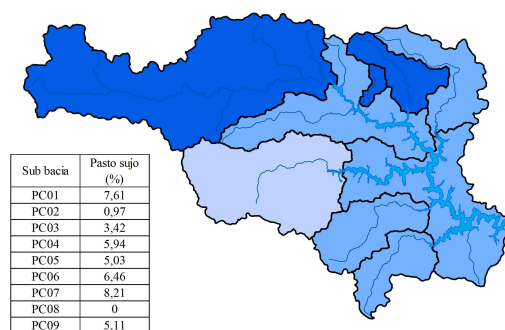
(b) Mata



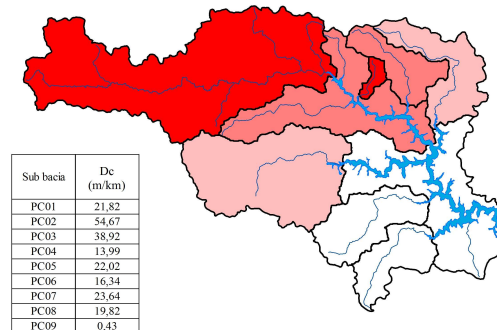
(c) Silvicultura



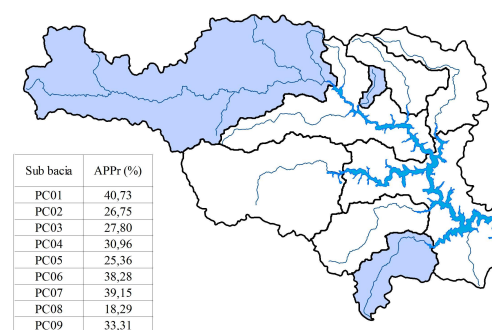
(d) Pasto sujo



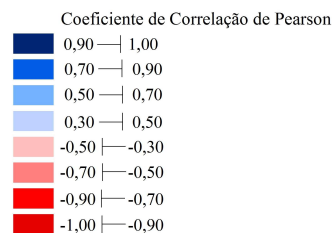
(e) Declividade média



(f) APP remanescente



Legenda



Projeção: Sistemas de coordenadas UTM
 Datum: SIRGAS 2000
 Fontes: Imagem de satélite SRTM
 Programa de Estatística "R"
 Execução: NAGEA/2018



Programa de Pós-Graduação em
Ecologia



5.5 DISCUSSÃO

Os princípios da limnologia da paisagem aplicados neste trabalho, a partir de adaptações feitas à metodologia utilizada por Soranno et al. em [44, 17], se mostraram pertinentes e aplicáveis no escopo da bacia. Esta metodologia, ao promover a reflexão sobre o contexto e a conectividade da mancha, permitiu um melhor direcionamento na escolha das variáveis e na modelagem do estudo. Assim, apresentou resultados mais práticos. A limitação do escopo, com menor quantidade de pontos, não permitiu a classificação destes. Porém, mesmo assim, permitiu a diferenciação no comportamento das variáveis nas sub bacias e, desse modo, poderá subsidiar ações diferenciadas para a recuperação e manejo das áreas.

O modelo de GWR utilizado, com as adaptações que foram realizadas, ficou limitado devido, também, ao número de pontos. Não foi possível explorar todo o potencial da ferramenta neste estudo. Mesmo assim, no escopo da BCRCO, se mostrou aplicável e os resultados gerados coerentes.

Os resultados das correlações com a GWR não apresentaram grande diferenciação entre as sub bacias, por efeito da pequena quantidade de pontos. No entanto, foi possível identificar os efeitos da localização mais próxima ou afastada da barragem. A aplicação dos princípios da limnologia da paisagem em conjunto com a regressão geograficamente ponderada, ainda que de forma adaptada para um escopo bem menor da área de estudo, mostrou resultados úteis para o entendimento dos processos ecológicos da BCRCO. Observou-se comportamentos diferentes entre as sub bacias e os efeitos da conectividade hidrológica. A substituição da distância Euclidiana pela hidrológica evidenciou tais efeitos e não prejudicou o desempenho da GWR. Esta metodologia mostrou-se aplicável e útil no processo de gerenciamento ambiental, mesmo no escopo da bacia, e abre possibilidades de novas adaptações e melhorias.

A silvicultura, classe de uso e cobertura da terra que vem crescendo na BCRCO, apresentou na GWR comportamento semelhante à classe de mata. Foram identificadas correlações negativas com *E. coli*, CE, OC, ortofosfato e nitrato; e correlações positivas com a DQO. No estudo sobre o uso e cobertura da terra na BCRCO ficou evidenciado o aumento da silvicultura na bacia em 33,28%, principalmente no médio e baixo curso. Grande parte das áreas de pastagem (37,15%), no interstício 2010-2016, foram substituídas pela silvicultura. Mas, ainda assim, a metade da superfície da bacia é coberta por pastos (50,86%), contra uma pequena parcela coberta por plantio de eucalipto e pinus (6,77%). Considerando esta proporção, as correlações encontradas com a GWR indicaram que os efeitos da classe silvicultura são semelhantes, ou até mais fortes, que os da classe mata para as variáveis de qualidade da água analisadas. A ocupação da terra por silvicultura corresponde a menor presença humana (geração de esgotos) e de atividades pecuárias (lixiviação de áreas de pastagem), o que, por sua vez, acarretará em menor disponibilidade

de carga orgânica de rápida decomposição e maior quantidade de matéria orgânica refratária. Assim, tais efeitos devem ser entendidos mais como a ausência de outras coberturas mais impactantes do que como benefícios da atividade de silvicultura. Geograficamente seus efeitos sobre a qualidade da água para as variáveis analisadas são maiores em sub bacias mais à montante, demonstrando a importância de se dedicar maior atenção na preservação das áreas mais próximas à captação, onde esta classe não apresentou efeitos na mesma magnitude.

Ainda é importante ressaltar que as correlações da classe silvicultura não devem ser utilizados para justificar o avanço desta atividade econômica esperando-se, como resultado, melhoria na qualidade da água. Como explicado, ao se substituir pastagem por silvicultura, as fontes de matéria orgânica são alteradas e tem-se a assimilação de nutrientes pela floresta plantada para seu crescimento. Ainda há controvérsias sobre os efeitos dessas culturas sobre a qualidade e quantidade de água nas bacias hidrográficas, contudo, sabe-se que as etapas e formas de manejo, como a colheita do eucalipto, podem gerar impactos na qualidade da água, diferentemente quando do seu crescimento. Outro fator importante é que as análises foram realizadas para um pequeno número de variáveis de resposta, relacionadas à qualidade da água. Para conclusões mais gerais sobre os impactos da silvicultura é necessário expandir as análises para outros campos como a botânica, ecologia, pedologia, hidrologia, entre outros. Além disso, é importante considerar que não foi levantada a capacidade de suporte deste sistema ambiental, ou seja, a definição do limite até o qual o crescimento da silvicultura não causará impactos significativos sobre a qualidade da água na BCRC.

Também a classe pasto sujo apresentou comportamento semelhante à classe de mata, com correlações negativas com o ortofosfato e o nitrato, positivas com a DQO. Sua característica de área em regeneração atribui a essa classe uma função de retirada de nutrientes do solo para a produção primária e crescimento da vegetação, o que tem causado efeitos positivos sobre as variáveis de qualidade da água (PO_4^{-3} ; NO_3^-) estudadas nesta pesquisa. No caso da DQO, as áreas de pasto sujo fornecem matéria orgânica refratária, o que aumenta a demanda de oxigênio para a degradação desta. Geograficamente, os efeitos são maiores em áreas mais a montante, ou seja, onde o percentual desta classe é maior.

A classe solo exposto se destacou nas correlações negativas com as variáveis condutividade elétrica e *E. coli*. Esta classe apresentou crescimento da área em 67,02%. Pela dinâmica espacial, é possível interpretar esta classe com características mais de preparo do solo que de processos erosivos. Todavia, neste sentido, apesar de definida como classe de uso e cobertura da terra nesta pesquisa, o solo exposto é uma condição temporária de uma determinada parcela do terreno, visto que ela se tornará pastagem, silvicultura, cultura agrícola ou mesmo uma mata regenerada. E esta transitoriedade pode ocorrer em poucos meses, ou seja, numa pequena parcela do tempo entre a geração das imagens

de satélite que foram analisadas (2010 - 2016). Mesmo assim, este crescimento aponta a intensificação das atividades econômicas, seja pecuária ou silvicultura, com preparo mecanizado do solo na BCRC. Nos resultados da GWR se verifica que as correlações negativas com a condutividade são mais fortes quanto mais próximo da barragem, região esta que concentra 85% das áreas de solo exposto na BCRC. O monitoramento desta situação deve ser um ponto crítico na gestão socioambiental da região.

Apesar da área urbanizada na BCRC representar menos de 1% da sua cobertura total, seus efeitos sobre as variáveis de qualidade da água são muito significativos. Foram identificadas correlações positivas com *E. coli*, CE, OC, ortofosfato e nitrato, indicando o potencial poluidor do adensamento populacional sem as devidas medidas de controle sanitário e ambiental. Geograficamente os efeitos são maiores nas proximidades da vila de Nova Dores do Paraibuna. Os efeitos da área urbanizada sobre o aporte de nutrientes e contaminação por coliformes são claramente identificados nas correlações, merecendo atenção dos gestores. Além do crescimento da referida vila, o aumento na ocupação das áreas da BCRC vem sendo acelerado. Anúncios de venda de lotes no entorno da represa são facilmente encontrados nos *websites* e redes sociais. A beleza cênica e a possibilidade de lazer nas águas do manancial, como natação, mergulho, pesca, *jet ski*, são um atrativo que valoriza os imóveis. Porém, as margens do reservatório possuem, no geral, declividades que aumentam o risco de processos erosivos na realização de atividades para movimentação de terra e implantação das edificações e infraestrutura. Estas condições são flagrantes, conforme observado nas campanhas. Pelas características rurais, tais intervenções podem passar ao largo das etapas de licenciamento ambiental pelo poder público. Este é outro ponto que precisa da atenção.

As correlações positivas da classe cultura agrícola com as variáveis de condutividade elétrica e OC mostram seu potencial em fornecer carga orgânica para os corpos d'água a partir da drenagem destas áreas. E as correlações positivas com a *E. coli* evidenciam a presença humana. Cabe destacar o cenário de redução desta cobertura, a qual representa atualmente apenas 0,78% da BCRC.

A classe pastagem deixou evidente que o carreamento de dejetos para os corpos hídricos traz efeitos relativos ao aumento do aporte de carga orgânica nos corpos hídricos. As correlações positivas com *E. coli*, CE e OC ilustram esta situação. Além disso, as correlações negativas com a DQO também evidenciam que o tipo de matéria orgânica proveniente das pastagens é de rápida decomposição. Geograficamente, seus efeitos são mais evidentes nas áreas de montante, onde há maior concentração desta cobertura.

Quanto as variáveis morfométricas das sub bacias, foi possível verificar que o Kc e o Kf não apresentaram correlações com as variáveis de resposta, o que indica que a forma da sub bacia pouco interferiu nas variáveis de qualidade da água. Exceção ocorreu para a DQO, indicando que quanto menos longa e mais arredondada a forma da sub bacia,

maior a DQO, associada à matéria orgânica refratária. A declividade média (acompanhada pelo desnível médio) apresentou correlações mais fortes, apontando o efeito do arraste de materiais para os corpos d'água devido ao escoamento superficial mais rápido. As razões SB e SR apresentaram correlações, indicando que as sub bacias maiores têm maior influência nas variáveis da água, conforme sua localização. Ou seja, a proporção da área da sub bacia em relação à bacia e ao espelho d'água (SB e SR) interfere mais que a forma da sub bacia (Kc e Kf) na qualidade da água.

O desrespeito às áreas de preservação permanente é evidente, com apenas 35,31% remanescentes. Além da questão legal, a importância das APP para manutenção da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos é reconhecida. Mesmo assim as APP remanescentes não se destacaram nas correlações. Porém, embora fracas, foi possível identificar seus efeitos benéficos são maiores nas áreas mais próximas da barragem. Para um manancial de abastecimento, a proteção das áreas no entorno da captação é importante para a qualidade da água. Este deve ser um aspecto prioritário para os gestores da bacia

O comportamento das correlações no qual o módulo do ρ de Pearson decai de montante para jusante ilustra os efeitos da conectividade e direcionalidade considerados na limnologia da paisagem. As águas de pontos mais à montante, direta ou indiretamente, influenciam as águas à jusante. Além disso, as massas de água provenientes das sub bacias de montante permanecerão mais tempo no reservatório, o que implicará em efeitos mais intensos, por tempos mais prolongados, nos processos biogeoquímicos.

6 CONCLUSÃO

O uso das ferramentas de limnologia da paisagem e regressão geograficamente ponderada permitiu identificar as relações espaciais entre o uso e cobertura da terra na bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas e a qualidade da água do reservatório.

O estudo sobre uso e cobertura da terra na BCRC, apresentado no Capítulo 3 possibilitou a compreensão do estado atual da bacia, bem como da evolução das classes de uso no período de 2010 à 2016, destacando-se o crescimento da atividade de silvicultura. Outro resultado que merece destaque, no que se refere à cobertura da terra, é a existência de apenas 35,31% remanescentes das áreas de preservação permanente. Estes aspectos são importantes e devem ser considerados pelos gestores da bacia.

Ainda referente às questões de qualidade ambiental da terra, os processos erosivos também precisam de atenção. Na campanha realizada em 12 de setembro de 2016 foram registrados 50 pontos de erosão na margem esquerda e 67 na margem direita da represa. Sejam cobertas por mata, que, como discutido na Seção 3.2.2, não tem características de ciliar, ou ocupadas por pastagens e eucaliptos, as margens da represa estão suscetíveis ao solapar das águas causado pelo depleciamento, pela ação dos ventos ou das embarcações. Como consequência, tais processos erosivos causam o assoreamento do reservatório e, desse modo, a redução de sua capacidade de acumulação. Estudos e ações para mitigar e prevenir este problema, seja por intervenções de engenharia ou mesmo por medidas de recomposição e manejo da vegetação ripária, se fazem necessários com urgência.

O estudo da qualidade da água apresentado no Capítulo 4, a partir dos dados históricos e das campanhas realizadas, permitiu identificar os principais aspectos a serem monitorados e as intervenções necessárias. O Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) da série de dados históricos mostrou comportamento de ruim a regular, evidenciando que é necessária a adoção de medidas para melhoria da qualidade ambiental daquele sistema. Apesar da redução nas ocorrências de floração de cianobactérias, estas ainda ocorrem e são preocupantes, com leitura de até $103.824 \text{ cél.ml}^{-1}$ registrada em 2017. Considerando o potencial risco à saúde da população atendida pelo manancial, este aspecto merece atenção dos gestores. Os dados das campanhas mostram que o aporte de nutrientes, principalmente os nitrogenados e fosfato, é proveniente dos tributários. Assim, com o avanço do processo de envelhecimento do reservatório, aos seus 22 anos de início do enchimento, os esforços na prevenção a eventos de floração de cianobactérias devem ser voltados para a ocupação da bacia, o despejo de esgotos e o arraste de materiais das áreas de pastagem.

A pesquisa aqui apresentada trouxe à luz algumas questões importantes relativas à bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas, e reverberou outras já levantadas em trabalhos anteriores, referenciados ao longo deste. Tais questões foram compiladas e apresentadas no Apêndice A. Espera-se, desse modo, contribuir para o planejamento e

gestão desse importante manancial de abastecimento.

A bacia de contribuição da represa de Chapéu D'Uvas, manancial onde está depositada a expectativa de suprimento de água em quantidade e qualidade para o município de Juiz de Fora, requer medidas urgentes para a gestão ambiental daquele ecossistema. Esta pesquisa é apenas mais um dos trabalhos publicados que apontam esta necessidade. Postergar ações corretivas e preventivas irá, lamentavelmente, condenar a represa de Chapéu D'Uvas à situação que hoje se encontram as represas de São Pedro (Represa dos Ingleses) e a represa Dr. João Penido, cujas bacias são desordenadamente ocupadas colocando em risco a qualidade de suas águas.

REFERÊNCIAS

- [1] BHATTACHARYYA, K. G.; KAPIL, N. Impact of urbanization on the quality of water in a natural reservoir: a case study with the Deepor Beel in Guwahati city, India. *Water and Environment Journal*, Wiley-Blackwell, v. 24, n. 2, p. 83–96, may 2009.
- [2] THURSTON, L. P. et al. The social context of water quality improvement evaluation. *New Directions for Evaluation*, Wiley-Blackwell, v. 2012, n. 135, p. 41–58, sep 2012.
- [3] ABILDTRUP, J.; GARCIA, S.; STENGER, A. The effect of forest land use on the cost of drinking water supply: A spatial econometric analysis. *Ecological Economics*, v. 92, n. Supplement C, p. 126 – 136, 2013.
- [4] SHEELA, A. M. et al. Water quality assessment of a tropical coastal lake system using multivariate cluster, principal component and factor analysis. *Lakes & Reservoirs: Research & Management*, Wiley-Blackwell, v. 17, n. 2, p. 143–159, jun 2012.
- [5] YU, D. et al. Detecting land use-water quality relationships from the viewpoint of ecological restoration in an urban area. *Ecological Engineering*, Elsevier BV, v. 53, p. 205–216, abr. 2013.
- [6] BARRETO, W. J. et al. Interpretation of seasonal variation of metals and abiotic properties in a tropical lake using multivariate analysis and MINTEQA2 program. *Analytical Sciences*, Japan Society for Analytical Chemistry, v. 21, n. 3, p. 209–214, 2005.
- [7] ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi), v. 11, n. 1, jan 2016.
- [8] ROCHA, C. H. B.; SILVA, T. M. da; FREITAS, F. A. Processos condicionantes de alterações em variáveis limnológicas: uma abordagem estatística na Represa de São Pedro, Juiz de Fora (MG). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, p. 131–138, 03 2016.
- [9] ROCHA, C. R. B.; COSTA, H. Variação temporal de parâmetros limnológicos manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, v. 20, n. 2, p. 543–550, 2015.
- [10] AKBAR, T. A.; HASSAN, Q. K.; ACHARI, G. A methodology for clustering lakes in alberta on the basis of water quality parameters. *CLEAN - Soil, Air, Water*, Wiley-Blackwell, v. 39, n. 10, p. 916–924, oct 2011.
- [11] TU, J. Spatially varying relationships between land use and water quality across an urbanization gradient explored by geographically weighted regression. *Applied Geography*, Elsevier BV, v. 31, n. 1, p. 376–392, jan 2011.
- [12] AWADALLAH, A. G.; FAHMY, H.; KARAMAN, H. Trend detection in water quality data using time series seasonal adjustment and statistical tests. *Irrigation and Drainage*, Wiley-Blackwell, v. 60, n. 2, p. 253–262, mar 2011.

- [13] SPEZIA, L.; FUTTER, M. N.; BREWER, M. J. Periodic multivariate normal hidden markov models for the analysis of water quality time series. *Environmetrics*, Wiley-Blackwell, v. 22, n. 3, p. 304–317, jul 2010.
- [14] AUTIN, M. A.; EDWARDS, D. Nonparametric harmonic regression for estuarine water quality data. *Environmetrics*, Wiley-Blackwell, p. 588–605, 2009.
- [15] VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, FapUNIFESP (SciELO), v. 14, n. 1, p. 55–64, jan 2010.
- [16] BABOROWSKI, M.; SIMEONOV, V.; EINAX, J. W. Assessment of water quality in the elbe river at flood water conditions based on cluster analysis, principle components analysis, and source apportionment. *CLEAN - Soil, Air, Water*, Wiley-Blackwell, v. 40, n. 4, p. 373–380, jan 2012.
- [17] SORANNO, P. A. et al. Using landscape limnology to classify freshwater ecosystems for multi-ecosystem management and conservation. *American Institute of Biological Sciences*, v. 60, n. 6, p. 440–454, June 2010.
- [18] GILFEDDER, M. et al. Incorporating land-use changes and surface-groundwater interactions in a simple catchment water yield model. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier BV, v. 38, p. 62–73, dec 2012.
- [19] MACHADO, P.J.O. *Diagnóstico ambiental e ordenamento territorial: instrumentos para a gestão da bacia de contribuição da represa de Chapéu D’Uvas/MG*. Tese (Doutorado) — Programa de Pós Graduação em Geografia. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.
- [20] RIBEIRO, C. R.; PIZZO, H. da S. Avaliação da sustentabilidade hídrica do município de Juiz de Fora/MG. *Mercator*, Mercator - Revista de Geografia da UFC, v. 10, n. 21, p. 171–188, apr 2011.
- [21] RIBEIRO, C.R. *Planejamento ambiental e gestão de recursos hídricos na Bacia Hidrográfica da Represa de Chapéu D’Uvas - Zona da Mata e Campo das Vertentes/MG*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Geografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.
- [22] JUIZ DE FORA. Prefeitura Municipal. *Plano diretor de desenvolvimento urbano de Juiz de Fora*. Juiz de Fora: FUNALFA edições, 2004.
- [23] ROCHA, C. H. B. *Zona da Mata mineira: pioneirismo, atualidade e potencial para investimento*. Juiz de Fora: Do autor, 2008.
- [24] CESAMA, Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora. *Inauguração da nova adutora de Chapéu d’Uvas acontece na próxima sexta-feira, 22. 2014*. Cesama - água é vida | Novidade. Publicado em: 20/08/14. Disponível em: <<http://cesama.com.br/?pagina=novidade&id=786>>. Acesso 12 Ago 2017.
- [25] VANINI, E.; BRUM, R. *Chapéu d’Uvas estará pronta para entrar em operação em três meses*. 2011. ANA, Agência Nacional de Águas. Imprensa-Notícias. Publicado em 08/06/2011. Disponível em

- <http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=9337>. Acesso 20 Jul 2017.
- [26] CESAMA, Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora. *Prefeitura inaugura obra de interligação da adutora de Chapéu d'Uvas à ETA Marechal Castelo Branco*. 2017. Cesama - água é vida | Novidade. Publicado em: 25/05/17. Disponível em <<http://www.cesama.com.br/?pagina=novidade&id=1279>>. Acesso 12 Ago 2017.
- [27] MINTER, Ministério do Interior. DNOS, Departamento Nacional de Obras e Saneamento. *Projeto Paraibuna - especificações: Barragem de Chapéu D'Uvas*. Brasília/Rio de Janeiro, 1976.
- [28] Sondotecnica S.A. *Estudos e projetos executivos da barragem de Chapéu D'Uvas e da canalização do rio Paraibuna entre Benfica e a barragem de Chapéu D'Uvas - Relatório de Hidrologia - Complementação*. Rio de Janeiro/Juiz de Fora, 1975.
- [29] OLIVEIRA, C.S. Caracterização geoambiental do alto curso da bacia hidrográfica do rio Paraibuna: da nascente até a barragem de Chapéu D'Uvas. In: *XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. Universidade Federal do Rio de Janeiro: União da Geomorfologia Brasileira, 2012. p. 209–214.
- [30] CESAMA, Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora. *Níveis Chapéu D'Uvas - histórico*. Planilha eletrônica. Juiz de Fora, 2017.
- [31] SOUZA LIMA, R.N.; PINTO, V.G.; NOGUEIRA, I.A.; ROSA, B.F.J.V.; RIBEIRO, C.B.M. Caracterização fisiográfica e avaliação dos efeitos da represa de Chapéu D'Uvas nas vazões do rio Paraibuna. *in Proc. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013. Associação Brasileira de Recursos Hídricos.*, Juiz de Fora, Nov. 2013.
- [32] LACERDA, A.K.G. *Distribuição longitudinal da ictiofauna e dieta das principais espécies da área de influência do reservatório de Chapéu D'Uvas, bacia do Rio Paraíba do Sul-MG*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas. Área de Comportamento e Ecologia Animal. Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2001.
- [33] PORTAL SANEAMENTO BÁSICO. Copasa analisa cianobactérias em água da Barragem de Chapéu D'Uvas. Disponível em <<https://www.saneamentobasico.com.br/copasa-analisa-cianobacterias-em-agua-da-barragem-chapeu-duvas/>>. Acesso em 16 Maio 2017. 2002.
- [34] ALCÂNTARA JÚNIOR, L.C.; OLIVEIRA FILHO, G.R.; PEREIRA, L.F. Estudo dos impactos socioambientais da represa de Chapéu D'Uvas e análise de sua importância para o município de Juiz de Fora. In: *IX Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009.
- [35] SILVA, A.; NETO, S. *Represa Chapéu D'Uvas : uma análise da situação do entorno*. Juiz de Fora: [s.n.], 2009. Monografia (Especialização em Análise Ambiental), Universidade Federal de Juiz de Fora.
- [36] TRIBUNA DE MINAS. *UFJF compra fazenda de 3,8 mi para pesquisas*. 2013. Tribuna de Minas. Cidade. Publicado em 01/09/2013. Disponível em <<http://tribunademinas.com.br/noticias/cidade/01-09-2013/ufjf-compra-fazenda-de-r-38-mi-para-pesquisas.html>>. Acesso 20 Set 2017>.

- [37] UFJF. Universidade Federal de Juiz de Fora. *Fazenda*. 2015. Coordenação de Sustentabilidade da UFJF. Ações Realizadas. Fazenda. Disponível em <<http://www.ufjf.br/sustentabilidade/acoes-realizadas/fazenda/>>. Acesso 20 Set 2017.
- [38] WIENS, J. A. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water. *Freshwater Biology*, v. 47, n. 4, p. 501–515, Apr. 2002.
- [39] FORMAN, R. T. T. *Land Mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.
- [40] MAGNUSON, J. J.; KRATZ, T. K. Lakes in the landscape: approaches to regional limnology. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, v. 27, p. 74–87, 2000.
- [41] KRATZ, T.; MACINTYRE, S.; WEBSTER, K. Causes and consequences of spatial heterogeneity in lakes. In: LOVETT, G. et al. (Ed.). *Ecosystem function in heterogeneous landscapes*. Berlin: Springer Verlag, 2005. cap. 16, p. 329–347.
- [42] CARPENTER, S. R.; BROCK, W. Spatial complexity, resilience, and policy diversity: Fishing on lake-rich landscapes. *Ecology and Society*, v. 9, n. 1, 2004.
- [43] WINTER, T. C. The concept of hydrologic landscapes. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Blackwell Publishing Ltd, v. 37, n. 2, p. 335–349, 2001.
- [44] SORANNO, P. A. et al. The lake landscape-context framework: linking aquatic connections, terrestrial features and human effects at multiple spatial scales. *JVerhandlungen des Internationalen Verein Limnologie*, v. 30, n. 5, p. 695–700, 2009.
- [45] BAILEY, R. G. Delineation of ecosystem regions. *Environmental Management*, Springer Nature, v. 7, n. 4, p. 365–373, jul 1983.
- [46] OMERNIK, J. M.; BAILEY, R. G. Distinguishing between watersheds and ecoregions. *Journal of the American Water Resources Association*, Wiley-Blackwell, v. 33, n. 5, p. 935–949, oct 1997.
- [47] JENERETTE, G. D. et al. Multivariate analysis of the ecoregion delineation for aquatic systems. *Environmental Management*, Springer Nature, v. 29, n. 1, p. 67–75, jan 2002.
- [48] HAWKINS, C. P. et al. Evaluation of the use of landscape classifications for the prediction of freshwater biota: synthesis and recommendations. *Journal of the North American Benthological Society*, University of Chicago Press, v. 19, n. 3, p. 541–556, sep 2000.
- [49] HIGGINS, J. V. et al. A freshwater classification approach for biodiversity conservation planning. *Conservation Biology*, Wiley-Blackwell, v. 19, n. 2, p. 432–445, apr 2005.
- [50] FERGUS, C. E. et al. Multiscale landscape and wetland drivers of lake total phosphorus and water color. *Limnology and Oceanography*, Wiley-Blackwell, v. 56, n. 6, p. 2127–2146, oct 2011.
- [51] SADRO, S.; NELSON, C. E.; MELACK, J. M. The influence of landscape position and catchment characteristics on aquatic biogeochemistry in high-elevation lake-chains. *Ecosystems*, Springer Nature, v. 15, n. 3, p. 363–386, dec 2011.

- [52] CHERUVELIL, K. S. et al. Multi-scaled drivers of ecosystem state: quantifying the importance of the regional spatial scale. *Ecological Applications*, Wiley-Blackwell, v. 23, n. 7, p. 1603–1618, oct 2013.
- [53] CROSS, T. K.; JACOBSON, P. C. Landscape factors influencing lake phosphorus concentrations across Minnesota. *Lake and Reservoir Management*, Informa UK Limited, v. 29, n. 1, p. 1–12, mar 2013.
- [54] SORANNO, P. A. et al. Effects of land use on lake nutrients: The importance of scale, hydrologic connectivity, and region. *PLOS ONE*, Public Library of Science (PLoS), v. 10, n. 8, p. e0135454, aug 2015.
- [55] TU, J.; XIA, Z. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression i: Model design and evaluation. *Science of The Total Environment*, Elsevier BV, v. 407, n. 1, p. 358–378, dec 2008.
- [56] MOORE, D. S.; NOTZ, W. I.; FLIGNER, M. A. *A Estatística Básica e Sua Prática*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- [57] JARVIE, H.; OGUCHI, T.; NEAL, C. Exploring the linkages between river water chemistry and watershed characteristics using GIS-based catchment and locality analyses. *Regional Environmental Change*, Springer Nature, v. 3, n. 1-3, p. 36–50, dec 2002.
- [58] WOLI, K. P. et al. Evaluating river water quality through land use analysis and n budget approaches in livestock farming areas. *Science of The Total Environment*, Elsevier BV, v. 329, n. 1-3, p. 61–74, aug 2004.
- [59] XIAO, H.; JI, W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. *Journal of Environmental Management*, Elsevier BV, v. 82, n. 1, p. 111–119, jan 2007.
- [60] FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Chichester, England: JOHN WILEY & SONS INC, 2002.
- [61] TU, J. et al. Impact of Urban Sprawl on Water Quality in Eastern Massachusetts, USA. *Environmental Management*, Springer Nature, v. 40, n. 2, p. 183–200, jun 2007.
- [62] ZHANG, T. Distance-decay patterns of nutrient loading at watershed scale: Regression modeling with a special spatial aggregation strategy. *Journal of Hydrology*, Elsevier BV, v. 402, n. 3-4, p. 239–249, may 2011.
- [63] BROWN, S. et al. Assessment of spatiotemporal varying relationships between rainfall, land cover and surface water area using geographically weighted regression. *Environmental Modeling & Assessment*, Springer Nature, v. 17, n. 3, p. 241–254, aug 2011.
- [64] HUANG, J. et al. Geographically weighted regression to measure spatial variations in correlations between water pollution versus land use in a coastal watershed. *Ocean & Coastal Management*, Elsevier BV, v. 103, p. 14–24, jan 2015.
- [65] AN, K.-J. et al. Exploring the non-stationary effects of forests and developed land within watersheds on biological indicators of streams using geographically-weighted regression. *Water*, MDPI AG, v. 8, n. 4, p. 120, mar 2016.

- [66] CHEN, Q. et al. Impacts of land use and population density on seasonal surface water quality using a modified geographically weighted regression. *Science of The Total Environment*, Elsevier BV, v. 572, p. 450–466, dec 2016.
- [67] IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Manual técnico de uso da terra*. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. (Manuais técnicos de geociências, 7).
- [68] OLIVEIRA, G. de C.; FILHO, E. I. F. Automated mapping of permanent preservation areas on hilltops. *CERNE*, FapUNIFESP (SciELO), v. 22, n. 1, p. 111–120, mar 2016.
- [69] SOARES Álvaro A. V. *Modelos de implantação de matas ciliares em margem de reservatório*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- [70] BOTELHO, S.; DAVIDE, A. Métodos silviculturais para recuperação de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: *Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas*. Lavras: Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Deradadas, 2002. p. 123–145.
- [71] BRASIL. *Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa*.
- [72] TUNDISI, M. S. J. G. *Gerenciamento da Qualidade da água de Represas - Vol.9*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. (Diretrizes para o gerenciamento de lagos, 9).
- [73] CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas*. Brasília: ANA, 2011.
- [74] WMO/UNESCO. *International glossary of hidrology*. Geneva: World Meteorological Organization and United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2012.
- [75] ESTEVES, F. A.; FURTADO, A. L. S. Oxigênio dissolvido. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 10, p. 167–192.
- [76] CONNELL, D. W. *Basic Concepts of Environmental Chemistry*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2005.
- [77] LCRA. Lower Colorado River Authority. *Colorado River Watch Network: Water Quality Monitoring*. 9. ed. Austin, 2012.
- [78] EPA. United States Environmental Protection Agency. *Water: Monitoring and Assessment. Conductivity*. 2012. Publicado em 6 Mar 2012. Disponível em: <<https://archive.epa.gov/water/archive/web/html/vms59.html>>. Acesso 12 Ago 2017.
- [79] ESTEVES, F. A.; FIGUEIREDO-BARROS, M. P.; PETRUCIO, M. M. Principais cátions e ânions. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 17, p. 299–321.
- [80] CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. *Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo 2008*. São Paulo, 2009.

- [81] CEPA. California Environmental Protection Agency, State Water Resources Control Board. *Electrical Conductivity/Salinity Fact Sheet*. In: The Clean Water Team Guidance Compendium for Watershed Monitoring and Assessment State Water Resources Control Board. 2004. Disponível em: <http://www.swrcb.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3130en.pdf>. Acesso em 12 Ago 2017.
- [82] ESTEVES, F. A.; MARINHO, C. C. Carbono inorgânico. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 12, p. 209–238.
- [83] SPERLING, M. von. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*. Belo Horizonte: UFMG, 1996. v. 1. (Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, v. 1).
- [84] ESTEVES, F. A.; AMADO, A. M. Nitrogênio. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 5, p. 239–258.
- [85] ESTEVES, F. A.; PANOSSO, R. Fósforo. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 14, p. 259–282.
- [86] VALENTE, J. P.; PADILHA, P. M.; SILVA, A. M. M. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. *Eclética Química*, scielo, v. 22, p. 49 – 66, 00 1997.
- [87] BRASIL. Funasa, Fundação Nacional de Saúde. *Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS*. Brasília: Funasa, 2014.
- [88] BRASIL. Funasa, Fundação Nacional de Saúde. *Manual prático de análise de água*. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013.
- [89] ESTEVES, F. A.; SUZUKI, M. S. Comunidade fitoplânctônica. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 21, p. 375–446.
- [90] CETESB. Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo. *Manual de cianobactérias plactônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais*. São Paulo: CETESB, 2013.
- [91] TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. [S.l.]: UFRGS, 2007.
- [92] ESTEVES, F. A.; BARBIERI, R. A radiação solar e seus efeitos em ecossistemas aquático continentais. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 9, p. 137–166.
- [93] CARMOUZE, J.-P. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Edgar Blücher/FAPESP, 1994.
- [94] ESTEVES, F. de A. *Fundamentos de Limnologia*. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- [95] ESTEVES, F. A.; PETRUCIO, M. M.; FIGUEIREDO-BARROS, M. P. Sílica nos ecossistemas aquáticos continentais. In: ESTEVES, F. A. (Ed.). *Fundamentos de limnologia*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. cap. 16, p. 293–298.

- [96] GROVER, J. P. *Resource Competition*. Boston: Springer US, 1997.
- [97] MAGANHA, M. F. B. *Guia técnico ambiental da indústria de produtos lácteos*. São Paulo: Cetesb, 2006.
- [98] PARANÁ, I. A. D. *Monitoramento da qualidade das águas dos reservatórios do estado do Paraná, no período de 1999 a 2004*. Curitiba, 2004.
- [99] PIVELI, R. P.; KATO, M. T. *Qualidade das águas e poluição: aspectos físicos - químicos*. São Paulo: ABES, 2005.
- [100] TUNDISI, J. G.; MATSMURA, T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- [101] HAN, B.-P. et al. The thermal structure of sau reservoir (NE: Spain): a simulation approach. *Ecological Modelling*, Elsevier BV, v. 125, n. 2-3, p. 109–122, jan 2000.
- [102] MUNIZ, C. M. *Composição funcional em reservatórios : seleção de traços da assembleia de peixes com o envelhecimento*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais. Departamento de Biologia. Universidade Estadual de Maringá, 2017.
- [103] NEY, J. J. Oligotrophication and its discontents: effects of reduced nutrient loading on reservoir fisheries. *American Fisheries Society Symposium*, v. 16, p. 285–295, 1996.
- [104] [ANA, A. N. d. g. *Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil: 2012*. Brasília: ANA, 2012.
- [105] CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. Water quality index: Technical report. In: *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Winnipeg: CCME, 2001. Disponível em <[http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20Technical%20Report%20\(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20Technical%20Report%20(en).pdf)>. Acesso 10 mar 2016.
- [106] CCME, Canadian Council of Ministers of the Environment. Water Quality Index: User's Manual. In: *Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life*. Winnipeg: CCME, 2001. Disponível em <[http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20\(en\).pdf](http://www.ccme.ca/files/Resources/calculators/WQI%20User's%20Manual%20(en).pdf)>. Acesso 10 mar 2016.
- [107] GOLLINI, I. et al. GWmodel: AnRPackage for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models. *Journal of Statistical Software*, Foundation for Open Access Statistic, v. 63, n. 17, 2015.
- [108] BORCARD, D.; GILLET, F.; LEGENDRE, P. *Numerical Ecology with R*. New York: Springer New York, 2011.
- [109] LU, B. et al. *Geographically-Weighted Models: Package GWmodel*. Wuhan, 2017.

APÊNDICE A – RECOMENDAÇÕES AOS GESTORES

Sobre a presente pesquisa, além dos resultados científicos, pesa a expectativa em contribuir para a gestão da represa de Chapéu D’Uvas como contrapartida à sociedade dos recursos empregados no desenvolvimento deste trabalho. Este também é um valor que vem guiando as pesquisas do Nagea. Desse modo, serão apresentadas algumas recomendações aos gestores compiladas a partir dos resultados encontrados, bem como dos trabalhos de Machado e Ribeiro em [19, 21].

A.1 EROSÃO E ASSOREAMENTO

Como explicado na Seção 4.3, em 2016 foram registrados 50 pontos de erosão na margem esquerda e 67 na margem direita do reservatório. No capítulo 3 se destaca os efeitos da ausência de mata ciliar, ou ainda, da inundação das áreas com vegetação nativa que não possuem características ripárias. Estes processos erosivos nas margens contribuem diretamente para o assoreamento da represa e conseqüente perda na capacidade de acumulação do manancial.

Medidas de contenção das margens se fazem necessárias. A curto prazo, como ações emergenciais, e mesmo no médio prazo, obras de engenharia podem ajudar a diminuir os efeitos do solapar das águas do reservatório. Todavia, mais importante é a formação de uma mata ciliar que cumpra efetivamente o papel de proteger a zona ripária.

As áreas de solo exposto, correspondendo atualmente a 5,057 km² da BCRC, também representam riscos à instalação de processos erosivos e precisam ser monitoradas.

A.2 DESPEJO DE ESGOTOS

Os parâmetros de qualidade da água, conforme Capítulo 4, evidenciam os impactos do despejo de efluentes domésticos sem prévio tratamento nos corpos hídricos da BCRC. Além da presença de coliformes, especificamente de *E. coli*, os indicadores de carga orgânica (DBO_{5,20}, OC, DQO) e os nutrientes (formas de fósforo e nitrogênio) sugerem tais impactos, principalmente nas áreas mais habitadas.

As ocupações na bacia vêm crescendo na bacia e, uma vez que a região não possui sistema de coleta e tratamento de esgoto, faz-se necessário que sejam adotadas medidas de controle deste aspecto ambiental. Para as ocupações esparsas o poder público deve exigir o tratamento pontual e local. Para os aglomerados, como a vila de Nova Dores do Paraibuna, sistemas coletivos podem ser implantados e operados de forma mais eficiente.

A.3 MONITORAMENTO E ANÁLISES PELA CESAMA

O monitoramento da carga orgânica pelo parâmetro $DBO_{5,20}$ foi prejudicado devido ao limite inferior do método de análise do laboratório da Cesama. Assim, é recomendável que a Companhia revise seus métodos de modo a permitir a detecção de valores em escala compatível com os padrões definidos na Resolução Conama nº 357/05.

O PO_4^{-3} é a forma de fósforo mais facilmente absorvida pelo fitoplâncton. No entanto, o laboratório da Cesama monitora apenas o fósforo total. Considerando a preocupação constante com a presença de cianobactérias no manancial, é recomendável que sejam monitorados também o PO_4^{-3} ou PO_4 .

A.4 CRESCIMENTO DAS OCUPAÇÕES

As ocupações na BCRCDD estão aumentando, como pode ser verificado no aumento da classe área urbanizada (conforme Seção 3.5). Também nas campanhas foi constatado o avanço de ocupações esparsas no entorno da represa. Nas mídias regionais é comum se encontrar anúncios de vendas de lotes em parcelamentos realizados na bacia.

Como explicado na Seção 1.6, a BCRCDD está inserida em três municípios: Antônio Carlos, Santos Dumont e Ewbank da Câmara. Assim, enquanto Juiz de Fora deposita sobre a represa sua expectativa de água em qualidade e quantidade, estes municípios têm interesses voltados à exploração imobiliária, turística e outras atividades econômicas na bacia.

É necessária uma ação de controle regional, na busca de uma gestão negociada entre os municípios interessados, que contemple os interesses econômicos e sociais, sem prejuízo para a qualidade ambiental daquele sistema. Ações como essa podem ser lideradas pelo governo do estado de Minas Gerais, por meio da sua Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (Semad), ou ainda, pelo Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Ceivap).

A.5 AVANÇO DA SILVICULTURA

Os números apresentados na Seção 3.5 evidenciam o avanço da silvicultura na BCRCDD, com uma mudança nas atividades econômicas, em substituição da agropecuária. Apesar dos resultados apresentados no Capítulo 5, onde se observa que os impactos da silvicultura, para aquelas variáveis de resposta, foram melhores que da cobertura por pastagem, alguns aspectos devem ser considerados. O primeiro é o fato de que as análises foram realizadas para um pequeno número de variáveis de resposta, relacionadas à qualidade da água. Para conclusões mais gerais sobre os impactos da silvicultura é necessário expandir as análises para outros campos como a botânica, ecologia, pedologia,

hidrologia, entre outros. O segundo aspecto é que não foi realizado um estudo de capacidade de carga do sistema, ou seja, não se sabe até quando pode ser expandida esta cobertura sem intensificar seus efeitos negativos sobre a qualidade ambiental.

Ainda assim, é recomendável aos gestores o monitoramento da expansão da silvicultura visando a proteção de áreas de mata e das APP. A fiscalização, o incentivo ao manejo sustentável e o planejamento ambiental desta atividade, dentre outras medidas, podem contribuir para o desenvolvimento da silvicultura sem comprometimento da qualidade da água no manancial.

A.6 PROTEÇÃO DAS APP E ÁREAS DE MATA

No capítulo 3, na Seção 3.4, é apresentada a situação atual das APP na BCRCO com apenas 35,31 % de área remanescente. Por sua importância na manutenção da quantidade e qualidade da água na bacia, é recomendável aos gestores que se providencie a recuperação dessas áreas, principalmente no entorno dos corpos d'água. A vegetação ripária tem importante função protetora ao filtrar os poluentes, evitando ou diminuindo o arraste para os cursos d'água e para a represa. Ações de fiscalização devem evitar a redução das APP na bacia, protegendo-as do avanço da silvicultura e outras atividades/ocupações.

A classe mata cobre atualmente apenas 31,02% da BCRCO, o que também pode ser aumentado, além das APP, visando a proteção da bacia. O avanço das ocupações, parcelamentos do solo e da silvicultura ameaçam a vegetação nativa.

A.7 MONITORAMENTO DAS CIANOBACTÉRIAS

No capítulo 4, Seção 4.4.3, foi apresentado um estudo sobre as cianobactérias na represa de Chapéu D'Uvas. Apesar de menos frequentes, ainda ocorrem *blooms* dessas algas, merecendo atenção dos gestores visto seu potencial risco à saúde pública. O aporte de nutrientes pelo despejo de esgotos e pela lixiviação das áreas de pastagem pode criar condições para as florações.

Assim, é recomendado que se desenvolvam mais pesquisas direcionadas especificamente ao entendimento dessa dinâmica das cianobactérias na represa. Também o monitoramento constante e rigoroso deste parâmetro deve ser realizado.