

**RELAÇÕES ENTRE PAISAGENS AMBIENTAIS  
(MATA ATLÂNTICA E PASTAGENS) E A BIOGEOQUÍMICA DE C, N e P  
EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO IMBÉ, RJ**

**ANNA MANDARINO GUAPYASSÚ DA SILVA**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE**

**DARCY RIBEIRO - UENF**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES**

**OUTUBRO – 2012**

**RELAÇÕES ENTRE PAISAGENS AMBIENTAIS  
(MATA ATLÂNTICA E PASTAGENS) E A BIOGEOQUÍMICA DE C, N e P  
EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO IMBÉ, RJ**

**ANNA MANDARINO GUAPYASSÚ DA SILVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

**Orientador: Paulo Pedrosa**

**Campos dos Goytacazes**

**Outubro – 2012**

**RELAÇÕES ENTRE PAISAGENS AMBIENTAIS  
(MATA ATLÂNTICA E PASTAGENS) E A BIOGEOQUÍMICA DE C, N e P  
EM ÁGUAS SUPERFICIAIS NA BACIA DO RIO IMBÉ, RJ**

Dissertação apresentada ao Programa de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ecologia e Recursos Naturais.

**Aprovada em 24 de outubro de 2012**

**Comissão examinadora:**

---

Prof. Dr. Eberval Marchioro - UFES

---

Prof. Dr. Álvaro Ramon Ovalle - UENF

---

Prof. Dr. Marcos Sarmet Salomão - UENF

---

Prof. Dr. Paulo Pedrosa (orientador) – UENF

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Dora Villela (Revisora – Suplente Interna) – UENF

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela sua graça e fidelidade. Por colocar as pessoas certas nos momentos certos, por me permitir desfrutar de grandes momentos de aprendizado e experiência na vida.

À minha família pela paciência, compreensão e por nem sempre voluntariamente abrirem mão do tempo de convivência.

Ao prof. Paulo Pedrosa, pela confiança, paciência e por sempre procurar me ensinar pensar e agir como pesquisadora.

À Elaine Fidalgo (Embrapa – Solos) pela disponibilidade e paciência em me auxiliar no processamento geográfico e quantificação do uso da terra dos pontos amostrados.

À Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado do Rio de Janeiro, Superintendência de Desenvolvimento Sustentável e Programa Rio Rural. Especificamente ao Marcelo Monteiro da Costa (Assessor Técnico responsável pelo monitoramento, avaliação e sistema de incentivo do Programa), aos responsáveis pelo projeto, Helga Hissa e Nilson Teixeira, e em especial ao Fabrício Pimenta da Cunha por ceder os dados de uso da terra da bacia do rio Imbé, RJ.

Ao INEA, particularmente através da Maria Manoela Alves Lopes, chefe do Parque Estadual do Desengano (PED), pela cessão de apoio logístico e de pessoal (guias) nas investidas de campo.

Ao Gerson e todo o corpo técnico do LCA – Laboratório de Ciências Ambientais pelo apoio logístico.

Aos professores do LCA – Laboratório de Ciências Ambientais pelos conhecimentos ensinados.

À D. Ana e Sr. Cristóvão, que com muito carinho me receberam em sua pousada durante os campos.

Ao Thiago, por ser minha fiel companhia. Por dividir grandes momentos de alegria e também de tristeza. Pelo infinito apoio e auxílio, na execução das tarefas, nos campos, emocionalmente, por dividir comigo em todos os momentos, tudo o que viesse.

Às minhas amigas de laboratório Juliana, Marianna, Clara e Marta. Em especial a Juliana, por toda a ajuda no laboratório, por transformar as eventuais madrugadas e finais de semana no laboratório em momentos muito agradáveis, pelas longas conversas sobre todos os assuntos da vida e à Marta pelo auxílio nos campos e no laboratório.

Aos professores Marcos Sarmet Salomão e Eberval Marchioro por participarem do Comitê de Acompanhamento e banca de avaliação. Aos professores Ramon Ovalle e Dora Villela por terem aceitado o convite de participar da avaliação deste trabalho como banca e revisão, respectivamente.

À UENF (PPGERN) pelo apoio logístico e Faperj pelo apoio financeiro (bolsa de estudos e fomento ao projeto de pesquisa).

## ÍNDICE

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	VII
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	IX
<b>RESUMO</b> .....	XII
<b>ABSTRACT</b> .....	XIII
<b>1. Introdução</b> .....	1
1.1. Bacia e Águas de Drenagem.....	1
1.2. Bacia hidrográfica do rio Imbé, RJ.....	4
1.3. Elementos eutrofizantes.....	5
<b>2. Objetivos</b> .....	9
2.1. Objetivo Geral.....	9
2.2. Objetivos Específicos.....	9
<b>3. Material e Métodos</b> .....	10
3.1. Área de estudo.....	10
3.2. Definição dos pontos de amostragem.....	12
3.3. Períodos de amostragem.....	15
3.4. Bioensaios.....	17
3.5. Análises.....	19
3.5.1. Fração Dissolvida.....	22
3.5.1.1. Nitrato e orto-fosfato.....	22
3.5.1.2. Carbono Orgânico Dissolvido.....	22
3.5.1.3. Óptica Inerente da Matéria Orgânica Dissolvida Cromófora (MODC).....	22
3.5.2. Fração Particulada.....	23
3.5.2.1. Clorofila-a.....	23
3.5.2.2. Fósforo Particulado.....	23
3.5.2.3. Carbono e Nitrogênio na Fração Particulada.....	23
3.5.3. Análise Microbiológica: Coliformes Totais e Escherichia coli.....	24
3.6. Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR).....	24
3.7. Tratamento dos dados.....	25
<b>4. Resultados e Discussão</b> .....	26
4.1. Uso e Cobertura da Terra.....	26
4.2. Análise das águas naturais (Hidroquímica).....	29
4.2.1. Aspectos físico-químicos.....	29
4.2.2. Coliformes totais e Escherichia coli.....	32
4.2.3. Fração Dissolvida.....	34
4.2.3.1. Matéria Orgânica (COD e MODC).....	34
4.2.3.2. Nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ ).....	37
4.2.4. Fração particulada.....	39
4.2.5. Razões C:N:P dissolvido e particulado.....	42
4.3. Relação Nutrientes (C, N e P), Clorofila-a e Uso da Terra.....	44
4.4. Condições Experimentais - Bioensaios.....	48
4.4.1. Consumo e crescimento em resposta à adição de nutrientes.....	48
4.4.2. Limitação nutricional associada ao uso da terra.....	50
<b>5. Conclusões</b> .....	57
<b>6. Referências Bibliográficas</b> .....	58
<b>7. Apêndices</b> .....	68

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Exemplo de uma área de bacia de drenagem e seus escoamentos hídricos..... 2
- Figura 2.** Área de utilização das terras em ha de pastagem e matas naturais no estado do Rio de Janeiro, no período de 1970 a 2006. Nota-se um maior domínio de pastagens em detrimento das áreas de mata natural após o ano de 1985. .... 4
- Figura 3.** Localização da bacia de drenagem do rio Imbé - Lagoa de Cima (porção superior direita), RJ e seus limites municipais: Campos dos Goytacazes, Santa Maria Madalena e Trajano de Moraes. .... 10
- Figura 4.** Distribuição dos 24 pontos amostrados ao longo da bacia de drenagem do rio Imbé, RJ (pontos azuis) e a classificação de uso da terra na região. .... 14
- Figura 5.** Distribuição pluviométrica do município de Santa Maria Madalena (RJ) no período entre setembro/2010 e agosto/2011 (colunas escuras), média dos últimos 9 anos (colunas claras) e os momentos de amostragem assinalados pelas setas vermelhas. .... 15
- Figura 6.** Resumo esquemático dos procedimentos realizados para o processamento das análises citadas. .... 16
- Figura 7.** Processo de montagem de experimento dos bioensaios. Figura A e B representam momento de separação dos volumes e adição dos nutrientes, e C e D organização dos frascos depois de enriquecidos. Frascos mantidos em ambiente com entrada de luz e temperatura naturais, não controlados. .... 18
- Figura 8.** Áreas de contribuição (drenagem) dos pontos de coleta e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Imbé, RJ, com exceção dos pontos A4, A5, A6, A7 e A19. .... 28

**Figura 9.** A: Comparação dos valores médios de coliformes totais e *E. coli*, excetuando as amostras saturadas na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nota-se que no período úmido os valores médios encontrados foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) que no período seco. B: Comparação da frequência de saturação de coliformes totais e *E. coli* dos pontos amostrados na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nota-se que tanto em coliformes totais quanto *E. coli* foram encontrados maiores valores no período úmido. .... 33

**Figura 10.** Regressão linear entre clorofila-a e nitrato (acima) e clorofila-a e ortofosfato (abaixo) referentes aos período úmido e seco. .... 39

**Figura 11.** Regressão linear entre clorofila-a e Cp (A), clorofila-a e Np (B) e clorofila-a e Pp (C) referentes ao período úmido e seco. .... 41

**Figura 12.** Relações entre as áreas de cobertura de uso da terra e nutrientes (N e P) no período úmido na bacia de drenagem do rio Imbé. ( $p > 0,05$  = estatisticamente significativo) ..... 45

**Figura 13.** Relações entre as áreas de cobertura de uso da terra e nutrientes (N e P) no período seco na bacia de drenagem do rio Imbé. ( $p > 0,05$  = estatisticamente significativo) ..... 46



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Uso e ocupação das terras da bacia de drenagem do rio Imbé, Lagoa de Cima, RJ. ....	12
<b>Tabela 2.</b> Quadro esquemático apresentando a composição dos enriquecimentos nutricionais (N e P) utilizados nos bioensaios contendo 600 mL de amostra das amostras de água coletadas na área de estudo. ....	18
<b>Tabela 3.</b> Resumo do desenho experimental, das análises realizadas e do objetivo para cada análise. ....	21
<b>Tabela 4.</b> Área total (km <sup>2</sup> ) de abrangência de todas as áreas de drenagem dos pontos amostrados para cada classe de uso da terra. ....	26
<b>Tabela 5.</b> Áreas em km <sup>2</sup> e percentual (%) do uso da terra de cada área de captação para cada ponto amostrado da bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. ....	27
<b>Tabela 6.</b> Valores médios e desvios padrão e entre parênteses os valores mínimos, medianas e máximos das características físico-químicas analisadas, referentes aos 24 pontos coletados no período úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. * = Diferença estatisticamente significativa entre o período úmido e seco ( $p < 0,05$ ). ....	30
<b>Tabela 7.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das variáveis físico-químicas analisadas nos períodos úmido e seco e em função dos domínios de paisagens (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. *= diferença estatisticamente significativa entre paisagens no período úmido. ** = diferença estatisticamente significativa entre paisagens no período seco. ....	31
<b>Tabela 8.</b> Correlações Spearman entre as variáveis físico-químicas estudadas e uso da terra para o período úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ ( $p < 0,05$ em negrito). ....	31
<b>Tabela 9.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de Coliformes totais e <i>E. coli</i> em função das paisagens Mata Atlântica e pastagem na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Valores referentes aos pontos amostrados em que não houveram saturação. ....	34
<b>Tabela 10.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de COD e das variáveis ópticas analisadas na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. * Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ). ....	36

<b>Tabela 11.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de COD, aMODC (UV), a*MODC (UV) e S (UV) nos períodos úmido e seco em relação às paisagens mata e pastagem. Não houve diferença significativa entre os períodos e paisagens. ....	36
<b>Tabela 12.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) nos períodos úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ.* Diferenças estatisticamente significativas ( $p<0,05$ ). ....	37
<b>Tabela 13.</b> Correlações entre COD, $\text{NO}_3^-$ e $\text{PO}_4^{3-}$ nos períodos úmido e seco. Todas as correlações estatisticamente significativas ( $p<0,05$ ). ....	38
<b>Tabela 14.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das variáveis limnológicas analisadas da fração particulada nos períodos úmido e seco. ....	40
<b>Tabela 15.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P analisadas da fração particulada nos períodos úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. * Diferenças estatisticamente significativas ( $p<0,05$ ) entre os períodos. ....	43
<b>Tabela 16.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de C, N e P (fração dissolvida e particulada) e clorofila-a, referentes a áreas de mata e pastagem nos períodos úmido e seco. *diferença estatisticamente significativa ( $p<0,05$ ) entre as paisagens no período úmido. ** diferença estatisticamente significativa ( $p<0,05$ ) entre as paisagens no período seco. ....	44
<b>Tabela 17.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes aos pontos coletados em paisagem predominante de mata ou pasto na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. * Diferenças estatisticamente significativas ( $p<0,05$ ) entre as paisagens, ambas foram significativas apenas no período úmido. ....	47
<b>Tabela 18.</b> Variações das concentrações médias encontradas nas condições de bioensaios e as condições naturais em relativos as diferenças (crescimento ou consumo de biomassa) das condições Ct10, +N, +P e +NP com a condição controle Ct0, para ambos os períodos estudados. ....	49
<b>Tabela 19.</b> Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição Ct10, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. * Diferenças estatisticamente significativas ( $p<0,05$ ) entre as paisagens, foi significativa apenas no período úmido. ....	51

**Tabela 20.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição +N, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre as paisagens, foi significativas apenas no período úmido. .... 51

**Tabela 21.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição +P, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nesta condição não houve diferença estatisticamente significativa entre as paisagens. .... 52

**Tabela 22.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição +NP, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nesta condição não houve diferença estatisticamente significativa entre as paisagens. .... 52

**Tabela 23.** Razões Chl-a/  $\text{NO}_3^-$ ; Chl-a/  $\text{PO}_4^{3-}$ ; Cp/  $\text{NO}_3^-$  e Cp/  $\text{PO}_4^{3-}$  referentes às condições enriquecidas associadas ao uso da terra na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, para o período úmido e seco. .... 54

**Tabela 24.** Classificação da trofia das águas naturais e bioensaios a partir dos cálculo de IET segundo Índice de Carlson (1977), modificado por Toledo (1999), dos valores de clorofila-a para os usos da terra (mata e pasto) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, em ambos os períodos (úmido e seco). .... 55

## RESUMO

Bacias de drenagem são formações geológicas geograficamente delimitadas que integram ecossistemas terrestres e aquáticos. Através das águas de drenagem, pode haver uma importante transferência de materiais particulados e dissolvidos do ambiente terrestre para os ambientes aquáticos inseridos na bacia. Logo, modificações na composição natural de ecossistemas terrestres podem afetar a contribuição de materiais exportados para os sistemas aquáticos continentais e, dessa forma, afetar a qualidade destes. Neste contexto, foi estudada a bacia de drenagem do rio Imbé, a qual é composta principalmente por áreas de Mata Atlântica (36%) e Pastagem (51%). Considerando o domínio e o contraste referentes a estas duas paisagens ambientais, o objetivo deste estudo foi investigar e diagnosticar, numa escala sazonal, possíveis influências e tendências relacionais entre o estado nutricional (concentração e proporção de C, N, e P) de águas naturais superficiais e unidades de bacia dominadas (>50%) por Mata Atlântica e pastagens. Para tanto, foram realizadas duas campanhas de amostragem de águas superficiais, uma em um período úmido e outra em um período seco, e analisado as concentrações de C-orgânico, N e P nas frações particulada e dissolvida, clorofila-a, coliformes totais e *Escherichia coli*. De modo complementar, através da realização de bioensaios enriquecidos com nitrato e fosfato, procurou-se identificar estados de suficiência/deficiência de N e/ou P ao crescimento de microrganismos nas mesmas amostras de água. Os resultados obtidos indicaram diferenças nos estados de limitação nutricional associado aos dois grupos de paisagem, sendo encontrada uma tendência de limitação por P em áreas de mata e de N em áreas de pastagem. Essas diferenças ilustram a importância conectiva entre os usos e coberturas da terra e a biogeoquímica de águas superficiais no contexto de uma bacia de drenagem. As implicações dessas alterações nutricionais, quantitativas e estequiométricas, certamente compõem importantes elementos de análise ambiental para fins de planejamento e gestão de bacias e de suas águas de drenagem.

## ABSTRACT

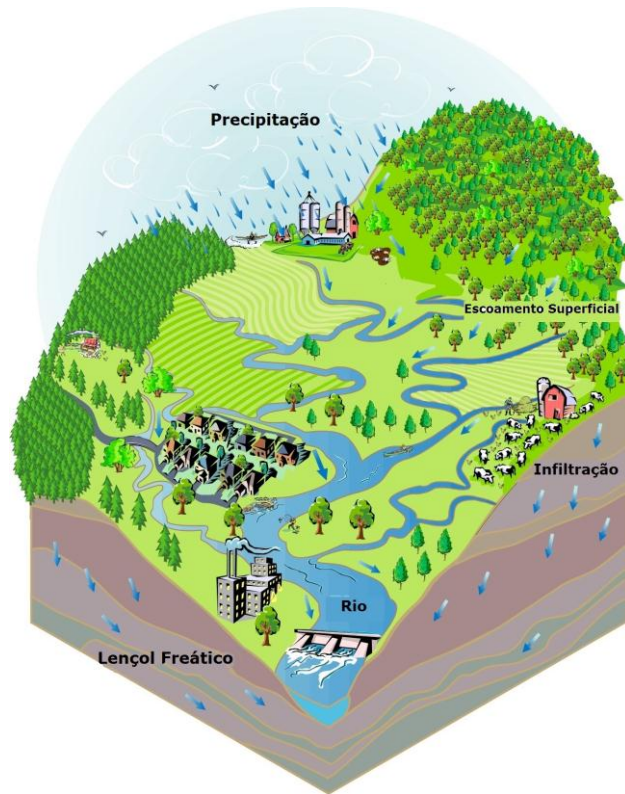
Watersheds are geological formations geographically defined as integrating terrestrial and aquatic ecosystems. Through drainage waters, it can be an important transfer of particulates and dissolved materials from terrestrial environment to aquatic environments inserted in the basin. Therefore, changes in the composition of natural terrestrial ecosystems can affect the contribution of materials exported to freshwaters and thus affect the quality of these. In this context, was studied the drainage basin of the Imbé, which is composed mostly of Atlantic Forest areas (36%) and grassland (51%). Considering the domain and contrast regarding these two environmental landscapes, the objective of this study was to investigate and diagnose, seasonally, trends and possible relational influences between nutritional status (concentration and ratio of C, N, and P) of natural waters and shallow basin units dominated (> 50%) by Atlantic Forest and pastures. Therefore, there were two sampling campaigns of surface water, in a wet and in a dry season, whose were analyzed the concentrations of organic-C, N and P in the particulate and dissolved, chlorophyll a, total coliforms and *Escherichia coli*. In a complementary way, we sought to identify states of sufficiency/deficiency N and/or P growth of microorganisms in these samples water by performing bioassays enriched with nitrate and phosphate. The results indicated differences in the states of nutrient limitation associated with two groups of landscape, where there was found a tendency for P limitation in forested areas and N in pasture areas. These differences illustrate the connective importance between uses and land cover and biogeochemistry of surface waters within a watershed. The implications of these nutritional changes, quantitative and stoichiometric certainly constitute important elements of environmental analysis for planning and management of watersheds and drainage waters.

## **1. Introdução**

### **1.1. *Bacia e Águas de Drenagem***

De uma forma geral, bacia de drenagem pode ser definida como uma área ou unidade geomorfológica-geográfica que integra águas de drenagem ou escoamentos hídricos a um ponto de um corpo d'água (Embrapa, 2003a; Lima, 2008). Essas formações auxiliam no direcionamento da trajetória percorrida pelas águas das chuvas, no qual escoam superficialmente através de riachos e rios formando sistemas fluviais, ou infiltram no solo para formação de nascentes e lençol freático (Embrapa, 2003a; Teodoro *et al.*, 2007; Lima, 2008). A caracterização de bacias de drenagem auxilia a elucidar diversas questões relacionadas à dinâmica ambiental.

As bacias de drenagem proporcionam importante conexão entre ecossistemas terrestres e aquáticos (Embrapa, 2003a; Teodoro *et al.*, 2007; Lima, 2008). O contato das águas do escoamento superficial com o solo proporciona a transferência de diferentes materiais particulados e dissolvidos para os corpos hídricos (Moldan & Cerny, 1994; Wetzel, 2001; Walsh *et al.*, 2003). A interação climática em meio a uma variação de sistemas terrestres-aquáticos influencia o funcionamento hidrológico (vazão, qualidade e quantidade de água) e a biogeoquímica (dinâmica de nutrientes, matéria orgânica, produtividade) de uma bacia de drenagem (Figura 1) (Moldan & Cerny, 1994; Lima & Zakia, 2000).



**Figura 1.** Exemplo de uma área de bacia de drenagem e seus escoamentos hídricos.  
Fonte: modificado de <http://www.beavercountyconservationdistrict.org>

Considerando que bacias de drenagem podem apresentar uma diversidade de fontes ambientais, a interação destas, através da liberação de materiais para os corpos hídricos, constitui uma importante informação para a caracterização de sistemas aquáticos. Dessa forma, bacias de drenagem representam unidades geomorfológicas naturais para o estudo de águas interiores. Como exemplo, podemos citar estudos que visam (1) elucidar questões relacionadas ao entendimento da dinâmica e vulnerabilidade ambiental, em função de modificações naturais ou antrópicas (Lima & Zakia, 2000; Tonello, 2005); (2) conservar os recursos hídricos em associação a técnicas de manejo sustentável do uso da terra (Jain, 2001); (3) estudar as formas de gestão e planejamento ambiental com vistas à inclusão e melhoria de uma organização social e econômica (Collares, 2000).

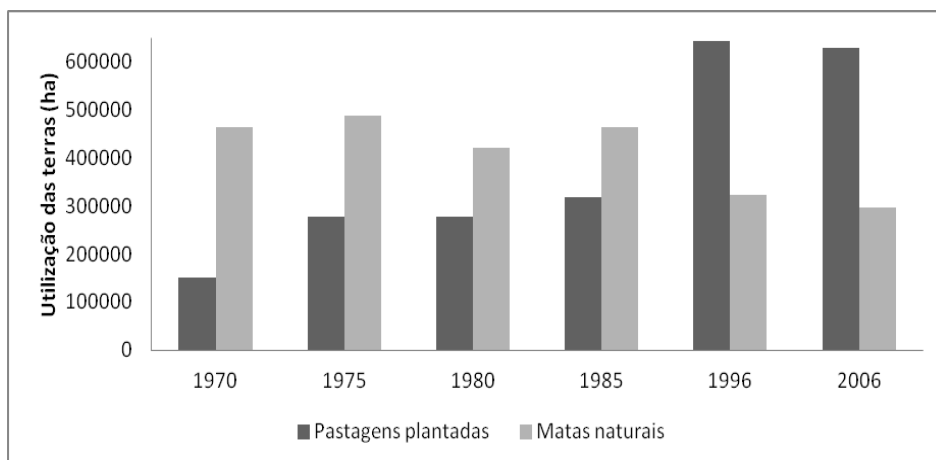
Numa menor escala de tamanho, a delimitação de áreas de drenagem, ou de bacias representativas, podem oferecer maior simplificação ao estudo relacional entre paisagens ambientais e águas interiores. Mudanças naturais e

antrópicas associadas à cobertura e aos usos da terra podem ser mais facilmente e diretamente diagnosticadas em delimitações menorizadas de áreas de drenagem em função de uma menor complexidade ambiental. A partir do somatório de influências relacionais, é possível amplificar a compreensão acerca do significado das partes para a bacia como um todo, considerando as derivações de influências de montante para jusante. Ou seja, os efeitos causados por tipologias ambientais podem ser, pelo menos em parte, projetados ou transferidos à jusante, por meio de sub-bacias ou microbacias localizadas à montante (Lima & Zakia, 2000; Embrapa, 2003a).

No contexto do Brasil, uma das atividades mais persistentes e agudas de alteração ambiental se deve a práticas de desmatamento (CPRM, 2000). Na Mata Atlântica, o processo de desmatamento para práticas agropecuárias é histórico, ocorrendo desde a colonização, e cultural, sendo uma atividade comum até hoje (CPRM, 2000; Neves, 2006). Particularmente, no Estado do Rio de Janeiro, segundo dados do IBGE, do ano de 1970 até o ano de 2006, áreas de Mata Atlântica diminuíram em cerca de 60%, enquanto áreas de pastagem aumentaram cerca de 300% (Figura 2; IBGE, 2006).

A degradação do solo, como erosão e empobrecimento nutricional, e da água, como sedimentação e eutrofização, são alguns exemplos de efeitos dessas atividades que afetam a dinâmica ambiental numa bacia de drenagem. Por esse motivo, a sistematização de conhecimento relacional entre águas de drenagem e paisagens ambientais, particularmente no que se refere a florestas naturais e usos da terra na forma de pastagens, parece ser importante no estudo de muitas bacias hidrográficas do Brasil.





**Figura 2.** Área de utilização das terras em ha de pastagem e matas naturais no estado do Rio de Janeiro, no período de 1970 a 2006. Nota-se um maior domínio de pastagens em detrimento das áreas de mata natural após o ano de 1985.

Fonte: IBGE, 2006 (<http://serieestatisticas.ibge.gov.br>)

## **1.2. Bacia hidrográfica do rio Imbé, RJ**

A bacia hidrográfica do rio Imbé (RJ), objeto deste estudo, é marcada pelo domínio de remanescentes florestais e áreas de pastagem (CPRM, 2001). Vale destacar a participação do INEA (Instituto Estadual do Ambiente – RJ) na conservação de boa parte dos remanescentes de Mata Atlântica presentes na área de estudo, através do seu papel como gestor do Parque Estadual do Desengano, PED. Essa situação ambiental representa uma oportunidade para se conhecer, comparativamente, o papel funcional dos ecossistemas de Mata Atlântica para as águas de drenagem ante a ocupação da terra na forma de pastagens. Dessa forma, constitui uma oportunidade para se comparar e identificar mudanças ambientais no comparativo prístino-antropizado. Nesse sentido, considerando o uso de técnicas de geoprocessamento para a classificação dos usos e coberturas do solo e a delimitação das unidades de bacia associadas a cada ponto de amostragem, este estudo pretende investigar e diagnosticar influências e tendências relacionais referentes ao estado nutricional das águas de drenagem em meio a sub-bacias dominadas (>50%) por floresta natural e pastagens.

Vale mencionar que este estudo sequencia uma série de outros estudos anteriormente desenvolvidos na bacia do rio Imbé. Além de estudos acadêmico-científicos como, por exemplo, os realizados por Pedrosa (1999), Santos (2003), César (2006), Lima (2009), Louro (2011) entre outros, acerca da biogeoquímica, metabolismo e qualidade das águas nos corpos hídricos da bacia (e Lagoa de Cima), há também programas e projetos de caracterização realizados. Por exemplo, através da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) foi realizado trabalho de caracterização do meio físico da bacia, intitulado como “Diagnóstico do Meio Físico da Bacia Hidrográfica do Rio Imbé – RJ”, e que visou gerar conhecimento básico-descritivo para o desenvolvimento rural baseado em um modelo de agricultura social e ambientalmente sustentável. Outro exemplo, a Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado do Rio de Janeiro (SEAPEC), através do programa Rio Rural, desenvolve o “Projeto Gerenciamento Integrado de Agroecossistemas em Microbacias Hidrográficas do Norte-Noroeste Fluminense”, realizando um levantamento de características ambientais (fauna, flora, aspectos físicos) e usos da terra, a fim de proporcionar elementos para a conservação da biodiversidade, e para o desenvolvendo de práticas adequadas de manejo dos recursos naturais. Porém, estudos sistematizados acerca da relação do uso da terra e suas influências na qualidade nutricional das águas de drenagem, incluindo indexação trófica, avaliação estequiométrica C:N:P e qualidade microbiológica são ainda incipientes ou apresentam caráter exploratórios.

### **1.3. Elementos eutrofizantes**

A produtividade de organismos fotoautotróficos está vinculada a diferentes processos bióticos e abióticos. Fatores físicos (luz, temperatura), químicos (nutrientes) e biológicos (biomassa, composição de espécies) podem restringir e interferir no crescimento da biomassa planctônica (Hecky & Kilham, 1988; Reynolds, 2006). Há uma forte relação entre a concentração, disponibilidade de nutrientes e a dinâmica biológica nos ecossistemas aquáticos, e interferências nesse processo afetam diretamente a produção primária do sistema (Hecky & Kilham, 1988).

Macronutrientes, como C, N e P, são requeridos para a manutenção biológica dos organismos por fazerem parte da composição elementar de macromoléculas constitutivas e funcionais tais como carboidratos, lipídios, proteínas, enzimas, e material genético, tornando-se, dessa forma, essenciais às funções vitais do metabolismo biótico (Hecky & Kilham, 1988; Reynolds, 2006).

Particularmente, N e P são notados como nutrientes limitantes ao crescimento da biomassa de autotróficos aquáticos. São elementos que restringem a abundância destes organismos em relação às suas disponibilidades no ambiente (Gibson, 1971; Smith *et al.*, 1999; Reynolds, 2006). Embora a concentração dissolvida de N e P seja essencial no regulamento do crescimento da população, a proporção entre eles é igualmente importante. A proporção estequiométrica proposta por Redfield (1958) C:N:P – 106:16:1, é usualmente aceita como um indicador geral da razão ótima de crescimento planctônico, não só em ambientes marinhos, mas também em ecossistemas aquáticos continentais. Concentrações encontradas no ambiente que diferem desta razão são consideradas limitantes ao crescimento de microorganismos autotróficos. Portanto, em sistemas que possuem uma alta razão N:P ( $\geq 16:1$ ), considera-se que o ambiente seja limitado por P. Entretanto, quando o oposto ocorre, baixa razão N:P ( $< 16:1$ ), assume-se que o ambiente seja limitado por N (Hecky & Kilham 1988; Elser *et al.*, 1990; Schindler *et al.*, 2008; Ptacnik *et al.*, 2010). Por esta razão, a variação na disponibilidade, concentração e proporção de N e P dissolvidos em sistemas aquáticos afetam conseqüentemente a riqueza e abundância da comunidade, causando diversos processos de resposta, como a eutrofização (Wetzel, 2001).

Processos de eutrofização ocorrem quando há enriquecimento nutricional em corpos hídricos, podendo ser causado sob condições naturais ou artificiais, modificando seu estado de limitação e equilíbrio nas comunidades de algas e macrófitas o que provoca mudanças também em interações consumidor-recurso *bottom-up* (Smith *et al.*, 1999; Abell *et al.*, 2010).

Atividades antrópicas como, descargas de efluentes domésticos e industriais, desmatamento e ocupação desordenada para práticas agropecuárias, por exemplo, alteram o equilíbrio na dinâmica destes nutrientes o que facilita processos de eutrofização em sistemas aquáticos (Lee *et al.*,

1978; Figueiredo *et al.*, 2010; Jeppesen *et al.*, 2011). Segundo Smith *et al.* (1999) e Falkowski *et al.* (2000) a entrada de N ao seu ciclo biogeoquímico dobrou após a intensificação das atividades antrópicas a partir da Revolução Industrial. Mais de 50 milhões de toneladas de N foram mobilizados através de transformações no uso/ocupação da terra. A produção mundial de fertilizantes agrícolas aumentou de menos de 10 milhões de toneladas de N em 1950 para 80 milhões de toneladas em 1990 (Vitousek *et al.*, 1997). Quanto ao elemento P, a quantidade imputada por ação humana ao seu ciclo biogeoquímico quadruplicou, principalmente, em função da intensificação no uso de fertilizantes e concentrações urbanas (Falkowski *et al.*, 2000; Noe *et al.*, 2001).

Mudanças nas características limnológicas de corpos hídricos associadas à antropização, mais especificamente ao uso da terra tem sido demonstradas em diversos estudos (Markewitz *et al.*, 2001; Neill *et al.*, 2001; Davidson *et al.*, 2004; Thomas *et al.*, 2004, Figueiredo *et al.*, 2010). De uma forma geral, estes estudos indicam que a conversão de áreas de floresta principalmente por pastagem provoca o aumento de materiais lixiviados, causados pelo desmatamento, modificando a concentração de elementos em rios associados a estas áreas, por exemplo, aumento na concentração de fosfato, cloreto, turbidez, íons dissolvidos, diminuição na concentração de nitrato, diminuição na razão N/P, o que provoca mudanças nos estado de limitação e composição de espécies (Markewitz *et al.*, 2001; Neill *et al.*, 2001; Thomas *et al.*, 2004, Figueiredo *et al.*, 2010). Além disso, áreas de silvicultura, agricultura e urbanas, podem também contribuir com um maior aporte de nutrientes, principalmente os nitrogenados e fosfatados, através do uso excessivo de fertilizantes e lançamento de esgoto sem tratamento, por exemplo (Downing & McCauley, 1992; Noe *et al.*, 2001; Gücker *et al.*, 2009; Beckert *et al.*, 2011).

Considerando o relativamente complexo contexto relacional e conectivo entre bacias e águas de drenagem inseridos em diferentes paisagens, e a importância trófica e metabólica dos nutrientes C, N, e P em termos de concentração e proporção ao crescimento de microorganismos aquáticos, este estudo procurou integrar ações metodológicas complementares que incluíram amostragem sazonal, técnicas de geoprocessamento para classificação e ordenamento do espaço a partir de imagens de satélite, bioensaios

uniformizados de enriquecimento nutricional e análises de laboratório. Uma discussão comparativa acerca das possíveis implicações e significados nutricionais às águas de drenagem face aos dois principais domínios de paisagens ambientais, Mata Atlântica e pastagens, presentes na bacia do rio Imbé é realizada.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

Considerando o domínio e o contraste referentes às duas paisagens ambientais prevaletentes na área de estudo, Mata Atlântica e pastagens, o objetivo deste estudo foi investigar e diagnosticar, numa escala sazonal, possíveis influências e tendências relacionais entre a biogeoquímica de águas superficiais e unidades de bacia dominadas (>50%) por Mata Atlântica e pastagens.

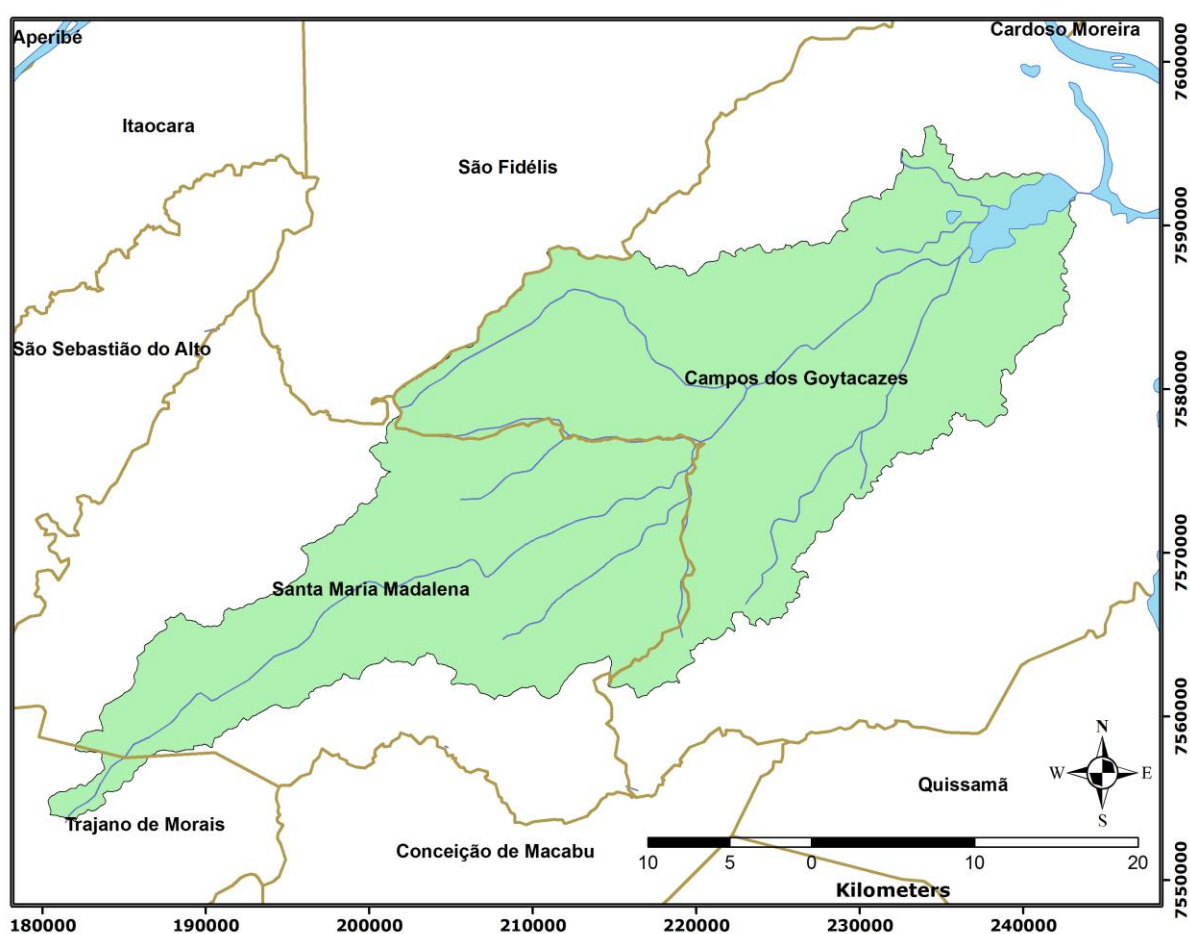
### **2.2. Objetivos Específicos**

- Estudar os estados nutricionais (concentração e proporção de C, N e P), físico-química e a qualidade microbiológica (coliformes totais e *E. coli*) das águas naturais da bacia relacionando-as às paisagens ambientais.
- Avaliar os estados de limitação, suficiência/deficiência de N e/ou P ao crescimento de microorganismos nas mesmas amostras de água, através da realização de bioensaios enriquecidos com nitrato e fosfato, relacionando-as às paisagens.
- Identificar o estado de trofia natural e dos bioensaios enriquecidos com nitrato e fosfato dos corpos hídricos da bacia do rio Imbé, RJ.

### 3. Material e Métodos

#### 3.1. Área de estudo

A bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, localiza-se na região Norte Fluminense, abrangendo uma área de ~980 km<sup>2</sup>, entre as coordenadas 21° 43' e 22° 05' Sul e 41° 30' e 42° 06' Oeste. Está inserida nos municípios de Campos dos Goytacazes (56,92%), Santa Maria Madalena (41,88%) e Trajano de Moraes (1,20%) (Figura 3) (Embrapa, 2003b; SEAPEC, 2008).



**Figura 3.** Localização da bacia de drenagem do rio Imbé - Lagoa de Cima (porção superior direita), RJ e seus limites municipais: Campos dos Goytacazes, Santa Maria Madalena e Trajano de Moraes. (Fonte: Adaptado de SEAPEC, 2008)

O clima da região é caracterizado por inverno seco e verão chuvoso. De acordo com Pesagro (2001), em função das grandes variações de altitude e do relevo acentuado, o clima apresenta-se bem diversificado na bacia, caracterizado por chuvas orográficas durante todo o ano com elevada

pluviosidade (superior a 2500 mm anuais). Em regiões de baixada o clima é descrito como quente e úmido, sendo caracterizado por um período chuvoso, com seu início na primavera, apresentando fortes chuvas nos meses de dezembro e janeiro, e com a entrada de massa de ar polar frias no mês de março, e por um período seco com baixas pluviosidade, tendo o volume pluviométrico mínimo geralmente marcado no mês de julho (Pesagro,2001). As temperaturas médias são amenizadas pela altitude proporcionando um clima mesotérmico, de verões amenos e invernos fracos.

As variações de altitudes também influenciam na hidrogeologia do local, com elevações chegando a 2300 m, a região possui uma assimetria morfológica fluvial caracterizada por cursos encachoeirados e alongados, com significativo potencial erosivo, podendo transportar blocos e matacões de rochas, como também áreas de remansos (Pesagro,2001; Embrapa, 2003b; Rezende *et al.*,2006).

Devido a riqueza de recursos naturais, a bacia foi designada como Área de Proteção Ambiental (APA) pelo Governo Municipal de Campos dos Goytacazes, em 1992 (lei 5.394), possibilitando a conservação e proteção dos recursos naturais na localidade. As áreas de maiores altitudes são relativamente preservadas, o que proporciona um aumento na infiltração de águas e a continuidade de existência das nascentes (Embrapa, 2003b). Porém em razão das atividades antrópicas, modificações tem prejudicado além dos corpos hídricos, ecossistemas terrestres, quanto ao uso do solo e perdas de coberturas vegetais originais.

Desmatamentos para usos na forma de pastagens, culturas de cana-de-açúcar, banana, mandioca, milho, eucalipto, entre outros, lesam a conservação da região modificando a composição natural da paisagem (Embrapa, 2003b). Conseqüentemente, a qualidade das águas é afetada pela mudança no conteúdo de materiais dissolvidos drenados por essas paisagens e também através da poluição por fontes pontuais, já que a região não possui sistemas de tratamento de efluentes domésticos. Em razão do padrão de drenagem, o transporte de nutrientes é acumulado nas regiões de baixo relevo, podendo favorecer o processo de eutrofização nestes corpos d'água (Embrapa, 2003b).

Em geral as paisagens prevaletentes que compõem a bacia são: culturas, campo/pastagem (apresentando extensas áreas recobertas por



vegetação herbácea) e floresta (dominada por até quatro filofisionomias definidas: Florestas Ombrófila Densa, Ombrófila Mista, Estacional Semidecidual e secundárias antigas com porte arbóreo) (Tabela 1) (SEAPEC, 2008; Embrapa, 2003 b).

**Tabela 1.** Uso e ocupação das terras da bacia de drenagem do rio Imbé, Lagoa de Cima, RJ. (Fonte: adaptado de SEAPEC, 2009)

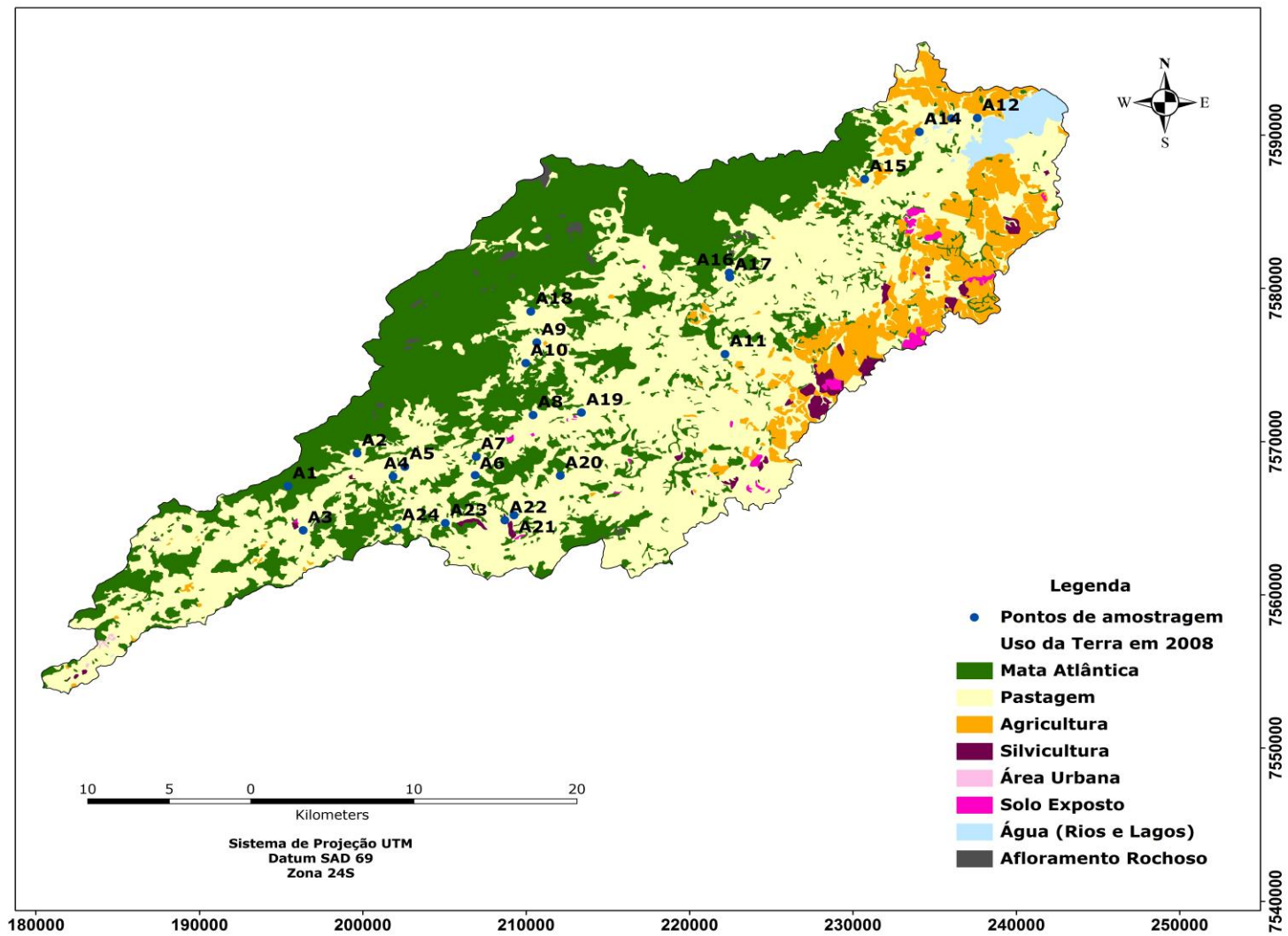
<b>Uso</b>	<b>%</b>
<b>Remanescentes Florestais</b> (Primário / Secundário Avançado)	30,79
<b>Remanescentes Florestais Secundários</b> (Inicial / Médio de Regeneração)	5,72
<b>Pastagem</b>	51,27
<b>Agricultura</b>	8,87
<b>Afloramento Rochoso</b>	0,44
<b>Silvicultura</b>	0,92
<b>Solo Exposto</b>	0,52
<b>Área Urbana</b>	0,04
<b>Água (Rios, Lagos)</b>	1,43
<b>Área Total</b>	<b>100</b>

### **3.2. Definição dos pontos de amostragem**

Para se ter uma ideia da variação ambiental das águas de drenagem e selecionar os pontos de amostragem na área de estudo, foi realizada, em outubro de 2010, uma incursão exploratória ao longo da bacia, e, através do uso de uma sonda multiparâmetro (Horiba, modelo U-53G), medidos parâmetros físico-químicos (pH, temperatura, Eh, condutividade elétrica, turbidez, concentração de oxigênio dissolvido, totais de sólidos dissolvidos (TDS)) em 48 pontos, considerando aspectos de acessibilidade (ex. malha viária, topografia). (Figura 4).

Para cada parâmetro específico, os dados gerados foram organizados em função das distribuições dos valores máximos, mínimos, medianas e em função dos quartis superior e inferior. A partir dessas distribuições numéricas,

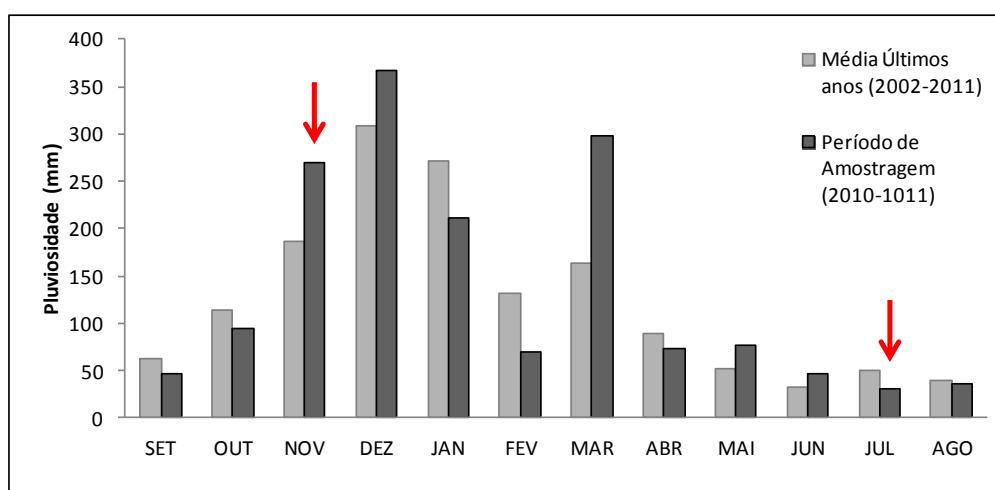
foram destacados os pontos amostrados em que suas medições fossem iguais ou similares aos valores organizados (máximos, mínimos, medianas e quartis) para cada variável. Os pontos que apresentaram mais valores coincidentes ou mais próximos aos obtidos, ou seja, mais medições similares aos valores máximos, mínimos, medianas ou quartis das variáveis físico-químicas, foram selecionados então para a amostragem, totalizando 24 pontos (Figura 4; Apêndice 7.3).



**Figura 4.** Distribuição dos 24 pontos amostrados ao longo da bacia de drenagem do rio Imbé, RJ (pontos azuis) e a classificação de uso da terra na região. (Fonte: Adaptado de SEAPEC, 2008)

### 3.3. Períodos de amostragem

Após a seleção dos pontos para amostragem, foram realizadas duas campanhas de coleta em períodos distintos: a 1ª campanha em novembro/2010, caracterizado como período chuvoso e a 2ª campanha, realizada em julho/2011, caracterizado como período seco (Figura 5). Os períodos apresentam características e influências diferentes, o período úmido marcado pela potencial contribuição de materiais/nutrientes de origem alóctone, e o período seco, caracterizado pelo fim das chuvas apresenta menor contribuição de material de ecossistemas terrestre, sendo caracterizado pelo conteúdo dissolvido principalmente de origem autóctone (Wetzel, 2001). Com a finalidade de se avaliar, de uma forma geral, a diferença de influências ao longo dos períodos nos corpos hídricos estudados, foi realizada uma campanha em cada período.

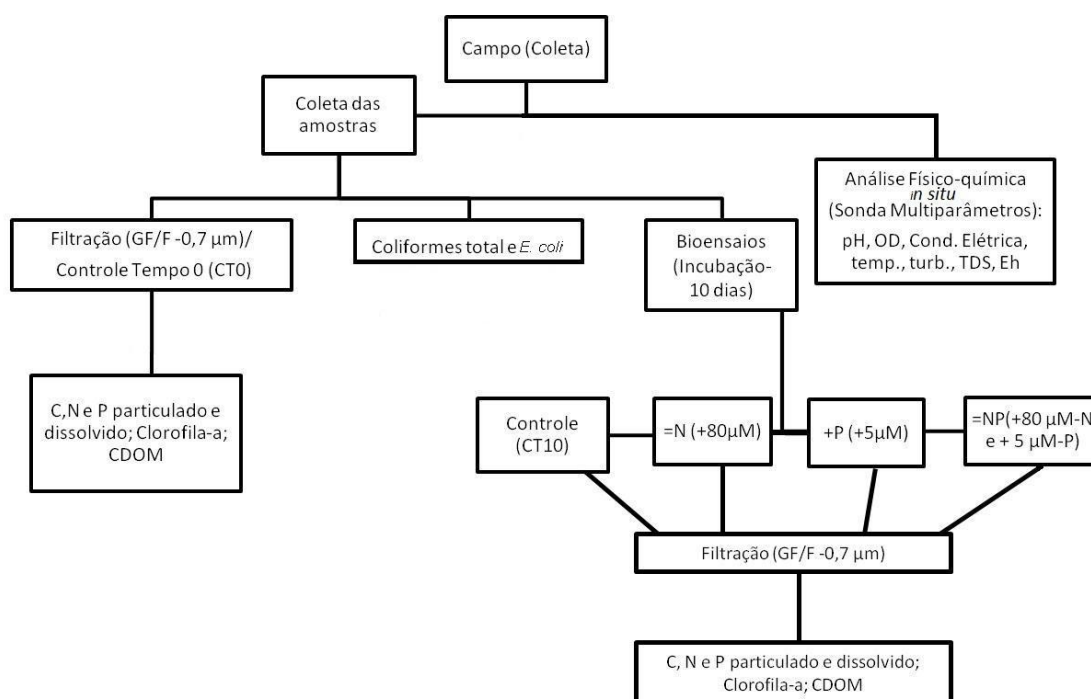


**Figura 5.** Distribuição pluviométrica do município de Santa Maria Madalena (RJ) no período entre setembro/2010 e agosto/2011 (colunas escuras), média dos últimos 9 anos (colunas claras) e os momentos de amostragem assinalados pelas setas vermelhas. Fonte: INMET

Cada campanha de amostragem foi realizada em um período de 3 dias, sendo coletados cerca de 4L de água para cada ponto e as leituras físico-químicas realizadas *in situ*. O volume amostrado foi alocado em garrafas de polietileno e conservado refrigerado em caixas térmicas durante o período de campo. Em laboratório, as garrafas foram armazenadas em câmara fria até o

processamento das amostras. A ordem de processamento das amostras (filtração e bioensaios) foram ordenadas pelos dias em que foram coletadas (ex: amostras coletadas no 1º dia, foram as 1<sup>as</sup> a serem processadas/filtradas) afim de normalizar qualquer tipo de alteração em relação ao espaço de tempo entre o período de coleta e processamento, sendo separadas uma alíquota para a filtração e outra para montagem dos bioensaios.

As amostras foram filtradas utilizando filtros de fibra de vidro GF/F (Whatman, <0,7 µm) e analisadas as frações particulado/dissolvido visando à determinação das concentrações de macronutrientes, C, N e P, além de análises das concentrações de clorofila-a, óptica inerente da matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC), coliformes total e *E. coli* (Figura 6).



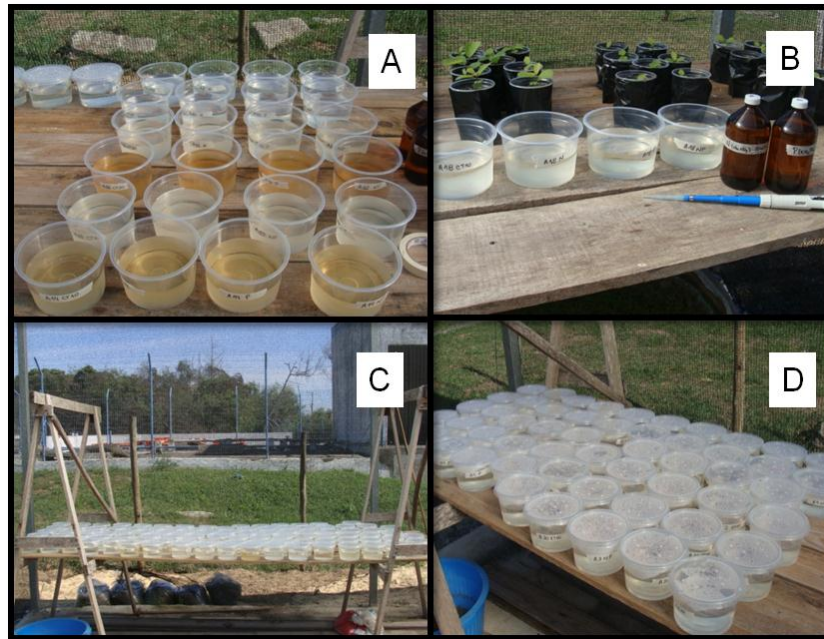
**Figura 6.** Resumo esquemático dos procedimentos realizados para o processamento das análises citadas.

### **3.4. Bioensaios**

A abordagem do uso de bioensaios foi utilizada no sentido de avaliar o estado de limitação, suficiência/deficiência nutricional (N e P), em resposta a adição de um volume específico de N e/ou P por um período de tempo (Elser *et al*, 2007). Essa abordagem tem o intuito de simular o estado limitante nutricional dos corpos hídricos amostrados, com a finalidade de melhor conhecer e analisar o comportamento nutricional da bacia, podendo ser influenciados ou não pela composição da paisagem ao seu redor.

Para isso, foram utilizadas concentrações de nutrientes a serem adicionadas similares às encontradas em ambientes naturais, afim de minimizar o efeito artificial dos bioensaios e proporcionar um estado eutrofizante, para identificação de suficiência/deficiência de N e P, mantendo uma razão molar 16N:P (César, 2006; Louro, 2011). Sendo assim, baseados em estudos anteriores, realizados por Louro (2011) na região (Lagoa de Cima), foram incubados volumes fixos de 600 mL em frascos plásticos transparentes, com tampas com pequenos furos para promover as trocas gasosas, por um período de 10 dias, considerando uma composição de enriquecimentos nutricionais finais de nitrato (+80 $\mu$ M-N), ortofosfato (+5 $\mu$ M-P), nitrato/ortofosfato (+80  $\mu$ M-N e + 5  $\mu$ M-P) e controle (Tabela 2, Apêndice 7.4).

Os bioensaios foram incubados em casa de vegetação (LCA/UENF) no qual temperatura e entrada de luz são naturais e não controladas, simulando um ambiente natural. Cada frasco foi aleatoriamente organizado nas bancadas, e todos os dias do período de incubação, eram homogeneizados promovendo a aeração do frasco e reorganizados aleatoriamente, a fim de todos receberem uma quantidade de luz e temperatura padronizada (Figura 7). Após o prazo determinado, as amostras passaram pelo processo de filtração e foram armazenadas as frações dissolvidas em frascos PET cristal (Ca. 30-50 mL) para posterior determinação de C, N, P e óptica inerente da MODC, e as frações particuladas para análises de clorofila-a, C, N e P.



**Figura 7.** Processo de montagem de experimento dos bioensaios. Figura A e B representam momento de separação dos volumes e adição dos nutrientes, e C e D organização dos frascos depois de enriquecidos. Frascos mantidos em ambiente com entrada de luz e temperatura naturais, não controlados.

**Tabela 2.** Quadro esquemático apresentando a composição dos enriquecimentos nutricionais (N e P) utilizados nos bioensaios contendo 600 mL de amostra das amostras de água coletadas na área de estudo.

Reagente	Soluções Estoque (SE) M	Adição (SE) $\mu\text{L}$	Enriquecimento Final ( $\mu\text{M}$ )	Código	Total
Controles T0 e					
Nenhum	--	--	--	T10	48
$\text{NaNO}_3$	80 [ $\text{NO}_3^-$ ]	600	+80 [ $\text{NO}_3^-$ ]	+N	24
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	5 [ $\text{PO}_4^{3-}$ ]	600	+5 [ $\text{PO}_4^{3-}$ ]	+P	24
$\text{NaNO}_3/\text{KH}_2\text{PO}_4$	80 [ $\text{NO}_3^-$ ], 5 [ $\text{PO}_4^{3-}$ ]	600	+80 [ $\text{NO}_3^-$ ] +5 [ $\text{PO}_4^{3-}$ ]	+NP	24

### 3.5. Análises

As concentrações de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), principais formas dissolvidas de N e P encontradas no ambiente, foram analisadas para avaliar as concentrações iniciais e finais, assim como observar o efeito sobre suficiência e deficiência desses nutrientes para cada corpo hídrico analisado. Foram analisados também as concentrações de clorofila-a, indexador de biomassa fitoplanctônica e as concentrações de C, N e P na fração particulada, o qual nos permite inferenciar sobre o conteúdo de N e P absorvidos e vinculados a biomassa de organismos presentes na água (Tabela 3).

Além disso, para identificação do estado de trofia dos corpos hídricos analisados, foi calculado o índice de estado trófico (IET), indicador usualmente utilizado, desenvolvido por Carlson (1977) e adaptado para ecossistemas tropicais por Toledo *et al* (1983). Este índice considera valores de clorofila-a na água e os classifica como oligotrófico, mesotrófico, eutrófico e hipereutrófico, funcionando como uma ferramenta comparativa com outros sistemas hídricos (Carlson, 1977) (Tabela 3).

Como indexador da matéria orgânica, a concentração de carbono orgânico dissolvido (COD), pode influenciar quanto a quantidade de penetração de luz, limitando a produção primária, e servindo como substrato para organismos heterotróficos (Williamsom *et. al.*, 1999; Hansell & Carlson, 2002). Dessa forma, a concentração de COD auxilia no processo de investigação quanto à matéria orgânica fotossintetizante podendo relacionar-se com a clorofila-a, e não-fotossintetizantes, relacionados a organismos heterotróficos. A dinâmica de COD em sistemas fluviais está intimamente ligada aos processos que ocorrem no ambiente terrestre. A fração cromófora da matéria orgânica dissolvida (matéria orgânica dissolvida cromófora - MODC) atua na absorção de luz. Essa propriedade está vinculada a quantidade e qualidade de luz que é difundida nos sistemas aquáticos e absorvida por organismos fotossintetizantes, tornando-se uma importante informação para melhor investigação da concentração de matéria orgânica dissolvida, da origem (alóctone ou autóctone), do tipo da matéria orgânica dissolvida presente no



corpo hídrico e da quantidade e qualidade de luz disponível para absorção pelos organismos fotossintetizantes (Del Castillo *et al.*, 1999; Williamsom *et. al.*, 1999; Stedmon & Markager, 2001; Hansell & Carlson, 2002) (Tabela 4).

Além disso, análises microbiológicas, como quantificações de coliformes totais e *Escherichia coli* são comumente utilizados como padrões de indicadores microbiológicos para avaliação da qualidade das águas naturais (Silva *et al*, 2010). A presença desses indicadores estão associados ao risco de contaminação e transmissão de doenças de veiculação hídrica, atestando para poluição de origem fecal, como descarga de esgoto doméstico (Ostenvisk, 2000). As avaliações sobre a qualidade microbiológica dos corpos fluviais presentes na bacia são pertinentes para ratificar possíveis contribuições das paisagens a qualidade das águas de uma bacia de drenagem. Microorganismos pertencentes a este grupo são divididos em totais e termotolerantes (ou fecais). Coliformes totais incluem espécies não exclusivamente de origem fecal, podendo ocorrer naturalmente no solo, na água e em plantas. Coliformes termotolerantes, comparativamente, são capazes de fermentar lactose a temperaturas mais elevadas, neste grupo está incluído a bactéria *Escherichia coli*. A *E. coli* é uma espécie exclusivamente de origem fecal, tendo o trato intestinal como seu habitat primário, por isso a quantificação de *E. coli* é o indicador mais preciso para contaminação fecal (Silva *et al*, 2010) (Tabela 3).

Com a finalidade de identificar possíveis influências destas variáveis limnológicas pelo uso da terra, foram identificados e delimitados os usos da terra cada área de captação referente a cada ponto coletado.

**Tabela 3.** Resumo do desenho experimental, das análises realizadas e do objetivo para cada análise.

<i>in situ</i> (24 pontos)	Alíquota	Análises	Objetivo
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Dissolvido: NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; PO<sub>4</sub>; COD; MODC</li> </ul>	Analisar fração de nutrientes dissolvidos presente nos corpos hídricos.
	Ct0 (Filtração)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Particulado: Clo-a; N; P; C;</li> </ul>	Analisar fração de particulados, possivelmente vinculados a biomassa de organismos presente nos corpos hídricos.
<b>Coleta (Água Bruta)</b>	Coliformes Total e <i>Escherichia coli</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Microbiológica</li> </ul>	Análise qualidade da água
	Bioensaios	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enriquecimentos</li> <li>Idem às análises realizadas para condição Ct0</li> </ul>	Analisar o material dissolvido não incorporado à biomassa, e o particulado possivelmente incorporado pelo enriquecimento dos ensaios, além de identificar processos de limitação nutricional.
<b>Georreferenciamento</b>	Delimitação subbacias	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cálculo da área de classes de cobertura para as subbacias</li> </ul>	Identificar influências do uso da terra na contribuição dos materiais analisados.
	Uso da Terra		

Portanto segue abaixo as metodologias utilizadas para análises dos fatores acima discorridos:

### **3.5.1. Fração Dissolvida**

#### **3.5.1.1. Nitrato e orto-fosfato**

Para as análises de N e P inorgânicos foi utilizado o cromatógrafo de íons Metrohm, modelo 844 Compact IC. Além deste equipamento, para determinação de P inorgânico dissolvido foi utilizado o método convencional, de reação colorimétrica e leitura em espectrofotômetro a 885nm (UV-Vis 160-A Shimadzu) (Carmouze, 1994).

#### **3.5.1.2. Carbono Orgânico Dissolvido**

As análises de carbono orgânico dissolvido (COD) foram realizadas através do uso de um analisador de carbono total (TOC-5000; Shimadzu) utilizando 20mL de cada amostra.

#### **3.5.1.3. Óptica Inerente da Matéria Orgânica Dissolvida Cromófora (MODC)**

As propriedades ópticas inerentes da matéria orgânica dissolvida, foram caracterizadas em função da determinação dos coeficientes de absorção ( $a_{\text{MODC}} \text{ (m}^{-1}\text{)}$ ) (Eq. 2), absorção específica ( $a^*_{\text{MODC}} \text{ (m}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$ ) (Eq. 3) e de inclinação espectral ( $S \text{ (nm}^{-1}\text{)}$ ) (Eq. 4). Para tanto, as amostras foram referenciadas contra água ultra-pura (Milli-Q), utilizando cubetas de quartzo (1 cm de passo óptico) e as absorbâncias que integram o intervalo espectral do UV (de 280 a 400 nm) lidas em um espectrofotômetro de duplo feixe (Shimadzu UV-Vis, modelo UV-1800). Os cálculos de  $a_{\text{MODC}}$  e  $S$  foram realizados de acordo com Kirk (1992) e Stedmon e Markager (2000), respectivamente. No caso do coeficiente  $S$ , as estimativas não lineares foram realizadas através do programa *Statistica Software8*.

$$\text{(Eq. 2)} \quad a_{\text{MODC}}(\lambda) = 2,303 A_{\text{MODC}}(\lambda) \times L^{-1}$$

$$\text{(Eq. 3)} \quad a^*_{\text{MODC}} = a_{\text{MODC}} \text{ (m}^{-1}\text{)} / [\text{COD, g m}^{-3}]$$

$$\text{(Eq. 4)} \quad a_{\lambda} = a_{\lambda_0} \cdot e^{S(\lambda_0 - \lambda)} + K$$

Onde:  $a_{\lambda}$  e  $a_{\lambda_0}$  são os coeficientes de absorção em  $\lambda$  e  $\lambda_0$ ,  $S$  o coeficiente de inclinação espectral e  $K$  uma constante de correção para alterações de linha de base não associadas à matéria orgânica.

### **3.5.2. Fração Particulada**

#### **3.5.2.1. Clorofila-a**

A determinação da concentração de clorofila-a total foi realizada através do método tricromático de Jeffrey & Humphrey (1975) que consiste na extração do material retido nos filtros a partir de maceração em acetona 90% com um volume final de 7 mL em tubos Falcon. Após esse processo, as amostras foram estocadas em geladeira no escuro, durante um período de 24h. Passado esse período, os tubos foram centrifugados, por 15 min (~4000 rpm) e os sobrenadantes lidos em um espectrofotômetro (UV-Vis 160-A Shimadzu) nos comprimentos de onda de 750, 665, 664, 647 e 630 nm. As concentrações de clorofila-a foram calculadas por equações, determinadas pelos autores citados acima, a partir dos valores encontrados nos comprimentos de onda submetidos.

#### **3.5.2.2. Fósforo Particulado**

Quanto ao fósforo particulado, os filtros destinados a estas análises foram pesados antes e após a filtração (peso seco final e inicial), utilizando uma balança analítica com exatidão de  $10^{-6}$ g.

A análise consistiu na determinação do fósforo sob a forma de ortofosfato, passando pelo processo de digestão, associado ao persulfato de potássio ( $K_2S_2O_8$ ), sendo autoclavados por 30min a pressão de 1atm e temperatura  $\sim 120^\circ\text{C}$ . Posteriormente os tubos foram centrifugados e os sobrenadantes submetidos a uma reação colorimétrica, lida a 885 nm por espectrofotometria (UV-Vis 160-A Shimadzu) (Carmouze, 1994; Hongve, 1994).

#### **3.5.2.3. Carbono e Nitrogênio na Fração Particulada**

Os elementos C e N particulados foram determinados através de um analisador elementar CHNS/O (Perkin Elmer) através de alíquotas da fração particulada retida nos filtros, no qual foram pesados antes e após a filtração (peso seco final e inicial), utilizando uma balança analítica com exatidão de  $10^{-6}$ g.

### **3.5.3. Análise Microbiológica: Coliformes Totais e *Escherichia coli***

Para a quantificação de coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), foram coletados no campo 100mL de cada amostra das águas analisadas em frascos de vidro autoclavados anteriormente.

Em laboratório, foram dissolvidos em cada frasco o meio de cultura Colilert-24horas e o volume transferido para cartelas específicas a esta análise. A cartela foi selada através de seladora modelo 2x (Quanti – Tray Sealer IDEXX) e armazenada em estufa 35° durante 24h. Após esse período, foram quantificadas os NMP (Número Máximo Possível) para coliformes totais e lidas em câmara com lâmpada UV modelo AL204 (AmericanLab) com comprimento de onda de 365nm para a quantificação de *E. coli* através da tabela de NMP - Quanti-Tray 2000 (Idexx Laboratories).

### **3.6. Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e Sensoriamento Remoto (SR)**

Para identificar e quantificar o uso da terra associado às áreas de captação dos corpos hídricos foi realizado a delimitação das áreas de captação dos pontos que envolvem os corpos hídricos das amostras de água coletadas e calculada a área correspondente a cada classe de uso e cobertura da terra.

Para isso, foram utilizados os dados de uso da terra da bacia de drenagem do rio Imbé cedidos pelo Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro – RIO RURAL, cuja metodologia encontra-se descrita em SEAPEC (2008), utilizando imagens de satélite TM/Landsat 5 de 2008 e complementados com trabalhos de campo para validação dos dados. O mapeamento foi realizado na escala 1:50.000, tendo a área mínima de mapeamento igual a 1 ha, adotando o Sistema de Projeção UTM / Datum – SAD 69 - Zona 24 Sul. Foram identificadas as classes de uso e cobertura da terra de acordo com SEAPEC (2008) seguindo a classificação: Remanescentes Florestais (Primário / Secundário Avançado); Remanescentes Florestais Secundários (Estágio Inicial

/ Médio de Regeneração); Pastagem; Agricultura; Afloramento Rochoso; Silvicultura; Solo Exposto; Água;

As áreas de captação relativas a cada ponto amostral foram traçadas em ambiente do SIG ArcGIS 10.0 da ESRI, tendo como referência os dados da hidrografia e hipsometria (curvas de nível) das cartas topográficas do IBGE, em escala 1:50.000 (Cartas Topográficas: Conceição de Macabu, Dores de Macabu, Renascença, Santa Maria Madalena, São Fidélis e Trajano de Moraes).

Foram então integradas as informações, uso da terra e delimitação das áreas de captação e gerado uma tabela com os resultados referentes a cada ponto amostrado, expressos em metros quadrados sob o sistema de projeção UTM, Datum SAD 69, Zona 24 Sul.

### **3.7. Tratamento dos dados**

As concentrações foram descritas em função de médias, medianas, desvios padrão, máximos e mínimos.

Os resultados foram avaliados quanto a normalidade da distribuição dos dados utilizando os testes Lilliefors e Shapiro-Wilk. Em função da predominância de ausência de normalidade da distribuição (>50%) e por serem amostras ambientais, foram escolhidas as análises não-paramétricas:

- Correlação de Spearman – a fim de verificar possíveis relações entre as variáveis limnológicas analisadas e uso da terra;
- Teste – U (Mann-Whitney) – com o objetivo de se avaliar diferenças entre os períodos úmido e seco para as variáveis analisadas;
- ANOVA (Kruskal-Wallis) – a fim de avaliar diferenças entre as respostas de cada elemento analisado (C, N e P na fração dissolvida e particulada e clorofila-a) à adição de nutrientes (N e P) nas condições experimentais (Ct0, Ct10, +N, +P e +NP).
- Análise de Regressão Linear – a fim de observar tendências relacionais entre as variáveis limnológicas analisadas e uso da terra, especificamente mata e pastagem.

Todas as análises estatísticas foram realizadas por intermédio do programa *Statistica Software 8*.

#### 4. Resultados e Discussão

##### 4.1. Uso e Cobertura da Terra

Foi somado um total de 289,6 km<sup>2</sup> referentes as delimitações das áreas de drenagem para os pontos amostrados. Deste total, ~44% somam áreas de cobertura de Mata Atlântica (128,7 km<sup>2</sup>) e 53% pertencem a áreas de pastagem (153,6 km<sup>2</sup>) (Tabela 4). Considerando o domínio e o contraste referentes a estas duas paisagens ambientais, foram associadas as variáveis limnológicas analisadas para se investigar e diagnosticar, numa escala sazonal, possíveis influências e tendências relacionais entre águas naturais superficiais em áreas dominadas (>50%) por Mata Atlântica e pastagens.

**Tabela 4.** Área total (km<sup>2</sup>) de abrangência de todas as áreas de drenagem dos pontos amostrados para cada classe de uso da terra.

<b>Classes - Uso da Terra</b>	<b>km<sup>2</sup></b>	<b>%</b>
<b>Mata Atlântica(1°/2°)</b>	128,69	44,44
<b>Pastagem</b>	153,60	53,04
<b>Agricultura</b>	4,74	1,64
<b>Silvicultura</b>	1,12	0,39
<b>Solo Exposto</b>	0,31	0,11
<b>Área Urbana</b>	0,37	0,13
<b>Afloramento Rochoso</b>	0,73	0,25
<b>Água</b>	0,04	0,01
<b>Área Total</b>	289,58	100

Foram calculadas a dimensão de uso da terra para as áreas de contribuição de cada ponto coletado (Tabela 5). Pode-se destacar o ponto A1 com 100% de cobertura de mata, e o ponto A11 com 95,5% de cobertura de pastagem. Embora suas áreas de cobertura sejam pequenas, 0,6 e 1,42 km<sup>2</sup>,

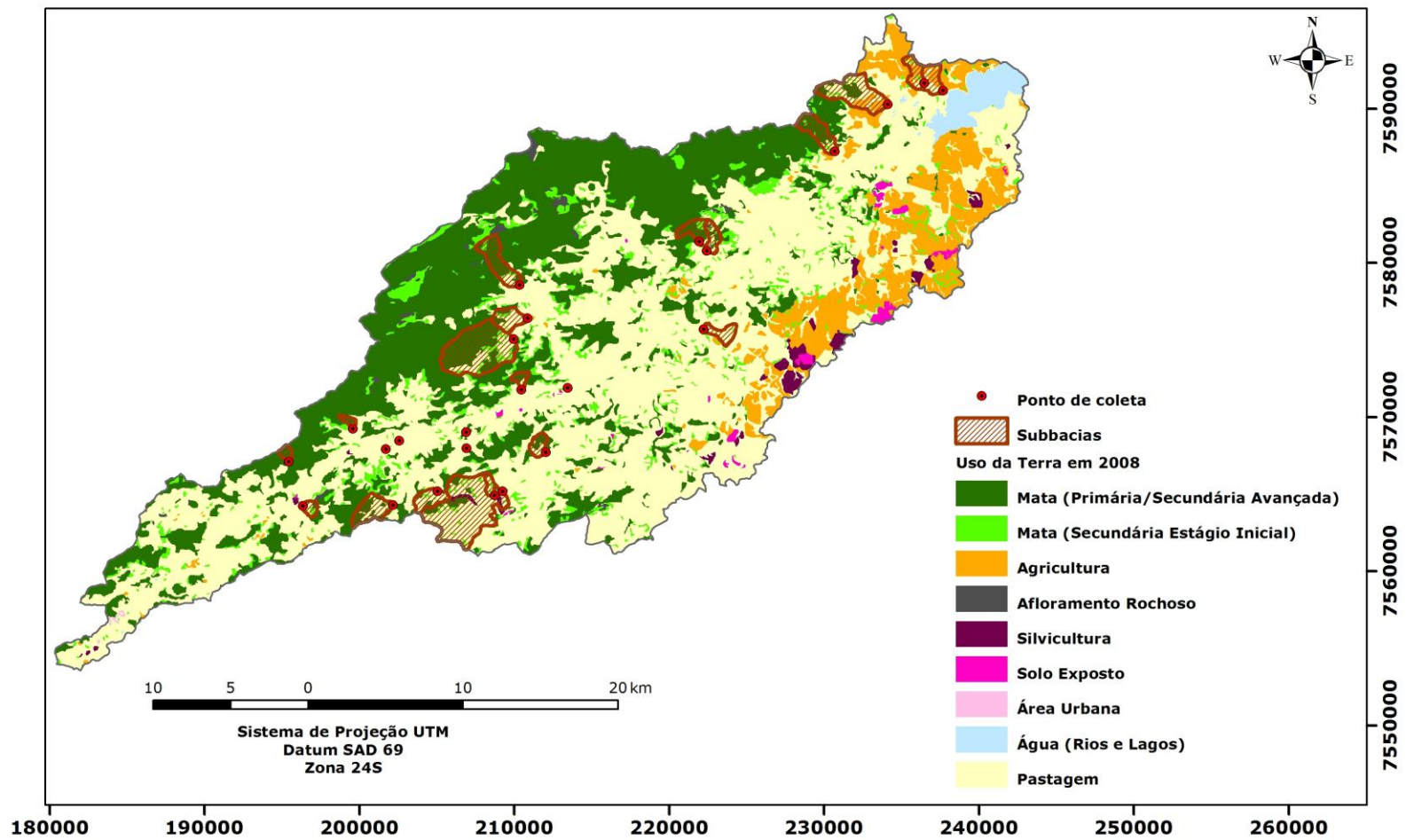
respectivamente, destacam-se por possuírem quase ou total % de cobertura dos dois principais tipos de uso da terra na bacia.

Como detalhado no item Material e Métodos, as áreas de captação foram calculadas a partir da delimitação de cada região de drenagem, através das curvas de nível, para o ponto amostrado. A partir desta delimitação, além da quantificação de áreas de uso da terra, foram confeccionados mapas ilustrando as áreas delimitadas. A Figura 8 exemplifica algumas destas áreas, as demais áreas delimitadas podem ser visualizadas no Apêndice 7.5.

**Tabela 5.** Áreas em km<sup>2</sup> e percentual (%) do uso da terra de cada área de captação para cada ponto amostrado da bacia de drenagem do rio Imbé, RJ.

Pontos	Uso da Terra (%)					
	Mata		Pastagem		Outros	
	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%	Km <sup>2</sup>	%
A1	0,60	100				
A2	0,43	94,6	0,02	5,4		
A3	0,32	42,5	0,41	54,3	0,02	3,2
A4	53,14	39,5	79,18	58,9	2,15	1,6
A5	53,50	39,1	81,25	59,3	2,15	1,6
A6	88,81	43,7	112,03	55,1	2,37	1,2
A7	79,58	44,3	97,80	54,4	2,36	1,3
A8	0,53	74,9	0,18	25,1		
A9	0,87	36,8	1,49	63,2		
A10	9,34	77,4	2,73	22,6		
A11	0,05	3,2	1,42	95,5	0,02	1,3
A12	0,13	3,4	1,28	33,8	2,39	62,8
A13	0,13	7,4	0,41	23,2	1,22	69,4
A14	1,74	27,8	3,20	50,9	1,33	21,3
A15	2,54	83,2	0,46	15,1	0,05	1,7
A16	1,89	93,7	0,13	6,3		
A17	0,68	46,5	0,70	47,9	0,08	5,6
A18	3,16	81,1	0,74	18,9		
A19	98,93	43,5	125,92	55,3	2,62	1,2
A20	0,70	54,4	0,59	45,6		
A21	3,06	20,0	11,54	75,2	0,73	4,8
A22	0,23	31,8	0,45	62,7	0,04	5,5
A23	0,58	27,5	1,53	72,5		
A24	3,12	71,2	1,26	28,8		





**Figura 8.** Áreas de contribuição (drenagem) dos pontos de coleta e uso da terra na bacia hidrográfica do rio Imbé, RJ, com exceção dos pontos A4, A5, A6, A7 e A19.

## **4.2. Análise das águas naturais (Hidroquímica)**

### **4.2.1. Aspectos físico-químicos**

De uma forma geral, a partir das variáveis físico-químicas observadas, os corpos hídricos amostrados possuem características próximas a neutralidade, levemente ácidas, com temperaturas amenas. Apresentam característica oxidante, com baixa turbidez e concentrações de totais de sólidos dissolvidos baixos.

Os valores das características físico-químicas encontrados no período úmido foram maiores ou similares aos encontrados no período seco. Para temperatura, pH e turbidez houve diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os períodos (Tabela 6). Sugere-se que os valores similares encontrados entre os períodos, podem ter sido encontrados em função do período de coleta das amostras, já que foram dias posteriores a chuvas tanto no período úmido como no período seco, possivelmente essas precipitações antecedentes à coleta tenham afetado o equilíbrio físico-químico característico de cada período.

**Tabela 6.** Valores médios e desvios padrão e entre parênteses os valores mínimos, medianas e máximos das características físico-químicas analisadas, referentes aos 24 pontos coletados no período úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* = Diferença estatisticamente significativa entre o período úmido e seco ( $p < 0,05$ ).

Variáveis	P. Úmido	P. Seco
Temperatura (°C)*	22,4±2,3 (19,0-23,2-27,3)	20±1,5 (16,1-19,8-24,9)
pH*	7,2±1,3 (4,4-6,9-9,2)	6,1±1,2 (4,0-6,2-8,3)
Eh (mV)	239±39,2 (165-244,5-300)	221±79,1 (96-107-407)
Condutividade Elétrica (µS/cm)	55±37,7 (20-41,5-175)	54±23,3 (26-43-111)
Turbidez (NTU)*	13,3±8 (0,7-12,3-29,3)	7,3±7,5 (0-6,4-31,8)
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	9,2±1,5 (5,5-9,9-11,2)	8,9±2,3 (1,8-9,2-13,1)
Oxigênio Dissolvido (%)	107,6±16,8 (66,6-114,5-132,2)	100,4±25,6 (10,2-102,5-148,4)
TDS (g/L)	0,04±0,02 (0,012-0,027-0,114)	0,04±0,02 (0,017-0,028-0,072)

Legenda: pH = potencial hidrogeniônico; Eh = potencial de óxido-redução; TDS = Totais de sólidos dissolvidos.

Especializando os dados físico-químicos encontrados em função das paisagens ambientais de mata e pastagem foi possível observar que, em ambos os períodos, as variáveis condutividade elétrica, turbidez e TDS foram maiores em áreas de pastagem (Tabela 7). Através de correlações Spearman estas mesmas variáveis obtiveram uma correlação negativa com áreas de mata no período úmido (Tabela 8).

**Tabela 7.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das variáveis físico-químicas analisadas nos períodos úmido e seco e em função dos domínios de paisagens (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* = diferença estatisticamente significativa entre paisagens no período úmido. \*\* = diferença estatisticamente significativa entre paisagens no período seco.

Variáveis	P. Úmido		P. Seco	
	Mata	Pastagem	Mata	Pastagem
Temperatura (°C)	22,4 ± 2,6 (19,5 - 21,2 - 27,3)	22,2 ± 2,3 (19 - 23,4 - 25,2)	19,5 ± 1,6 (16,2 - 19,5 - 22,2)	20,2 ± 1,3 (18,8 - 19,8 - 24,2)
pH	7 ± 1,5 (4,4 - 6,6 - 9)	7,4 ± 1,3 (5,4 - 7,4 - 9,2)	5,8 ± 1,2 (4 - 6,1 - 7,3)	6,2 ± 0,9 (3,8 - 6,2 - 7,1)
Eh (mV)	233 ± 38,4 (173 - 239 - 284)	248 ± 39,5 (164 - 254 - 300)	212,4 ± 118,8 (3 - 179 - 346)	219,7 ± 64,4 (134 - 200 - 407)
Condutividade Elétrica (µS cm <sup>-1</sup> )	41,2 ± 38,4 (20 - 37 - 82)	56 ± 40 (26 - 43 - 175)	45 ± 11 (34 - 41 - 64)	55,7 ± 26,2 (26 - 41 - 111)
Turbidez (NTU)*	8,5 ± 5,9 (0,8 - 7 - 17,6)	16,2 ± 7,9 (16,9 - 0,7 - 29,3)	3,3 ± 4,5 (0 - 1,9 - 12,4)	7,3 ± 3,2 (0,5 - 6,8 - 12,2)
Oxigênio Dissolvido (mg.L <sup>-1</sup> )	9,3 ± 1,2 (7,4 - 9,4 - 11,2)	9,2 ± 1,8 (5,5 - 10,2 - 10,7)	9,9 ± 2,4 (5,6 - 10 - 13)	8,8 ± 1,1 (7,2 - 9,1 - 10,3)
TDS (g.L <sup>-1</sup> )	26,8 ± 12,7 (12 - 24 - 54)	36,5 ± 26,2 (17 - 28 - 114)	29,2 ± 7 (22 - 27 - 41)	36 ± 17 (17 - 26 - 72)

**Tabela 8.** Correlações Spearman entre as variáveis físico-químicas estudadas e uso da terra para o período úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ (p<0,05 em negrito).

Variáveis	P. Úmido		P. Seco	
	% Mata	% Pasto	% Mata	% Pasto
Temperatura (°C)	-0,14	-0,02	-0,30	0,16
pH	0,12	0,10	-0,31	0,09
Condutividade elétrica (µS cm <sup>-1</sup> )	<b>-0,55</b>	0,21	-0,36	0,05
Eh (mV)	0,03	0,13	0,29	0,05
Turbidez (NTU)	<b>-0,49</b>	0,40	<b>-0,54</b>	0,28
Oxigênio dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )	0,19	0,11	0,24	-0,01
TDS (mg L <sup>-1</sup> )	<b>-0,53</b>	0,20	-0,36	0,05

De uma forma geral, estas correlações sugerem que o uso e cobertura da terra, e suas possíveis modificações, podem interferir na dinâmica de solutos nos corpos hídricos na bacia de drenagem do rio Imbé. De fato, algumas destas relações também foram encontradas em outros estudos. Figueiredo *et al.* (2010) e Davison *et al.* (2004) encontraram na região amazônica correlações negativas entre áreas de mata e condutividade elétrica, e positivas entre as mesmas e áreas de pastagem, que embora neste estudo, não foram significativas também correlacionaram-se positivamente com pasto. Esta evidência indica o papel de retenção que as florestas têm em relação a concentração de solutos, particulados ou dissolvidos, lixiviados do solo, diminuindo também a turbidez, como foi encontrado, uma correlação negativa entre esta e mata. Além disso, áreas de pasto, embora não significativa, demonstraram uma tendência de correlação positiva entre condutividade elétrica e turbidez, devido a processos erosivos mais intensificados, facilitando a entrada de solutos, como encontrado em Buck *et al.* (2006) e Neil *et al.* (2001).

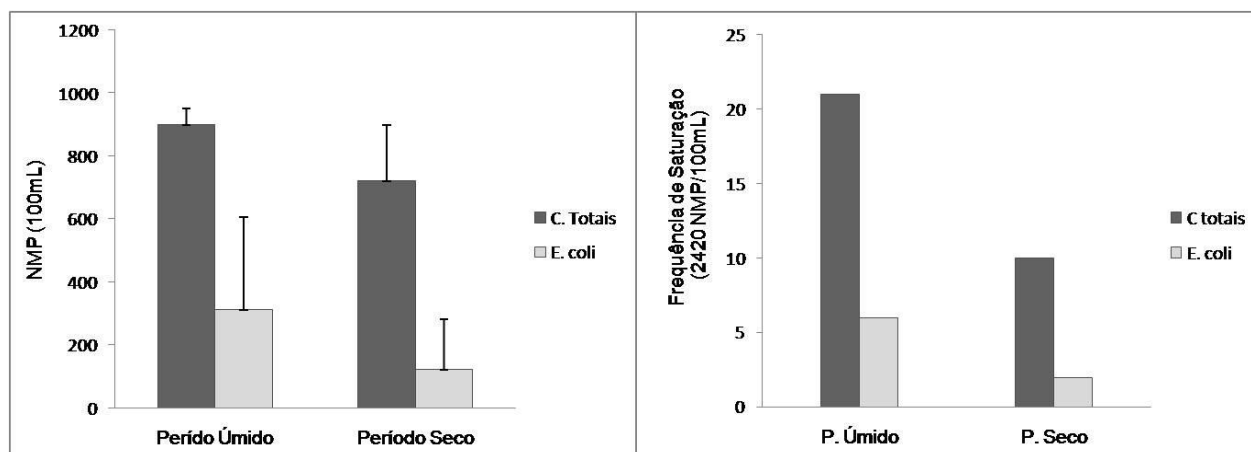
#### **4.2.2. Coliformes totais e *Escherichia coli***

Em relação à qualidade microbiológica da água na bacia, foi encontrado resultado positivo quanto à presença de coliformes totais e *E. coli* em todos os 24 pontos coletados ao longo da bacia nos dois períodos de coleta.

Para coliformes totais, os valores encontrados no período úmido foram significativamente maiores que no período seco, variando de 870 a  $\geq 2420$  NMP/100mL, enquanto no período seco, os resultados variaram de 416 a  $\geq 2420$  NMP/100 mL. Em média os valores encontrados no período úmido foi 2230 NMP/100mL e no período seco 1428 NMP/100 mL. Excetuando as amostras em que houve saturação, atingindo o nível máximo de detecção, as médias ficaram entre 900 NMP/100mL no período úmido e 720 NMP/100mL no período seco (Figura 9)

Assim como observado para coliformes totais, valores significativamente maiores também foram encontrados no período úmido para *E. coli*. Os resultados variaram de 12 a  $\geq 2420$  NMP/100 mL com média de 838 NMP/100 mL no período úmido, e entre 4 e  $\geq 2420$ , e valor médio de 314 NMP/100 mL,

no período seco. Excetuando as amostras em que houve saturação, atingindo o nível máximo de detecção, as médias ficaram entre 311 NMP/100mL no período úmido e 123 NMP/100mL no período seco (Figura 9).



**Figura 9. A:** Comparação dos valores médios de coliformes totais e *E. coli*, excetuando as amostras saturadas na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nota-se que no período úmido os valores médios encontrados foram significativamente maiores ( $p < 0,05$ ) que no período seco. **B:** Comparação da frequência de saturação de coliformes totais e *E. coli* dos pontos amostrados na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nota-se que tanto em coliformes totais quanto *E. coli* foram encontrados maiores valores no período úmido.

De um modo geral, os valores médios (de acordo com a Resolução CONAMA n° 274/2000 e n° 357/2005; Portaria n° 518/2004) indicariam classificação apropriada para proteção das comunidades aquáticas, balneabilidade, contato primário e consumo após tratamento convencional, sugerindo razoabilidade no que se refere à qualidade da maior parte das águas amostradas. Entretanto, vale mencionar, a estratégia de amostragem aqui realizada não seguiu o estabelecido na citada Resolução, uma vez que não foi objetivo deste estudo qualificar as águas no que se refere a padrões bacteriológicos, mas inferir processos ambientais correlatos a *E. coli*.

Por exemplo, no período úmido foi possível observar uma correlação positiva entre *E. coli* e ortofosfato ( $r = 0,57$ ), OD ( $r = 0,67$ ) e pH ( $r = 0,55$ ). No primeiro caso relacional, *E. coli*-ortofosfato, assume-se que influências pontuais ligadas a esgotos domésticos tenham contribuído para o encontro deste resultado. De fato, *E. coli*, assim como ortofosfato, correlacionaram-se positivamente ( $r = 0,42$ ,  $r = 0,43$ , respectivamente) com áreas urbanas no período seco. Estas correlações evidenciam a influência de esgoto doméstico nos corpos hídricos, podendo ser mais facilmente visualizado no período seco,

marcado por um volume de água menor, diminuindo a diluição deste esgoto nos corpos hídricos. Por sua vez, em relação às correlações positivas entre *E. coli* e OD e pH, é possível que estas reflitam processos paralelos referentes a uma intensificação de metabolismo autotrófico, visto que, foi evidenciada supersaturação de O<sub>2</sub> no período úmido.

Quanto às paisagens de mata e pastagem, através dos resultados em que não houve saturação, nota-se que os valores médios encontrados em áreas de mata foram menores aos encontrados em áreas de pastagem (Tabela 9).

**Tabela 9.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de Coliformes totais e *E. coli* em função das paisagens Mata Atlântica e pastagem na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Valores referentes aos pontos amostrados em que não houveram saturação.

Variável	Úmido		Seco	
	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>C. Totais</b>	870	915 ± 64 (870 - 915 - 960)	689 ± 192 (416 - 692 - 914)	726 ± 184 (479 - 721 - 961)
<b><i>E. coli</i></b>	291 ± 293 (11,9 - 251 - 870)	380 ± 317 (28 - 313 - 870)	73 ± 82 (4 - 33 - 214)	161 ± 190 (6 - 113 - 721)

### 4.2.3. Fração Dissolvida

#### 4.2.3.1 Matéria Orgânica (COD e MODC)

Como indicador da matéria orgânica dissolvida foi analisado a concentração de carbono orgânico dissolvido. Os valores encontrados foram significativamente ( $p < 0,05$ ) maiores no período úmido em relação ao período seco (~2,7 vezes) (Tabela 10). No período úmido a variação entre os pontos coletados foi cerca de 17 vezes entre os valores mínimo e máximo, já no período seco esta variação foi menor, cerca de 4 vezes. Essa grande variação encontrada no período úmido pode ter sido causada pela maior contribuição de material alóctone, ocasionando alterações pontuais possivelmente provocadas pelos diferentes tipos de paisagem.

A matéria orgânica dissolvida cromófora (MODC), foi analisada em relação aos coeficientes de absorção ( $a_{\text{MODC}}$ ), coeficiente de absorção específico ( $a^*_{\text{MODC}}$ ) e inclinação espectral (S) na faixa do UV. Estes coeficientes têm sido utilizados para análise da qualidade da matéria orgânica em diversos aspectos, como por exemplo, na identificação de fontes da MODC (autóctone e alóctone) e na diferenciação de tipos da MODC (lábil e recalcitrante) e podem variar entre os períodos úmido e seco, devido a maior contribuição de material alóctone aos corpos hídricos no período úmido (Del Castillo *et al.*, 1999; Stedmon & Markager, 2001).

Os coeficientes de  $a_{\text{MODC}}$  e S, na faixa do UV foram estatisticamente diferentes entre os períodos, sendo o  $a_{\text{MODC}}$  maior no período úmido, e S maior no período seco. Porém os  $a^*_{\text{MODC}}$  não foram diferentes. Estas diferenças, maiores valores de  $a_{\text{MODC}}$  e menores de S encontrados no período úmido, indicam maior entrada de matéria orgânica cromófora alóctone. Além disso, a diferença encontrada nos valores de S entre os períodos pode evidenciar uma diferença na qualidade de cromóforos (Stedmon & Markager, 2001; Keith *et al.*, 2002). Concomitantemente a ausência de diferença significativa entre os valores de  $a^*_{\text{MODC}}$  sugere a conservação da atividade óptica dos cromóforos nos períodos (Stedmon & Markager, 2001; Keith *et al.*, 2002).

A partir de correlações entre os coeficientes ópticos e as variáveis limnológicas analisadas, foi possível observar uma forte correlação positiva entre  $a_{\text{UV}}$  e COD para ambos os períodos ( $r=0,88$  no período úmido e  $r=0,68$  no período seco). Esta relação pode sugerir que a matéria orgânica dissolvida que se encontra nos corpos hídricos é composta basicamente por moléculas cromóforas. Nota-se que no período úmido a correlação entre  $a_{\text{UV}}$  e COD foi mais forte, ratificando a contribuição de matéria orgânica cromófora de origem alóctone. Além disso, como visto a partir dos resultados de  $a^*_{\text{MODC}}$ , que indicaram uma conservação da atividade óptica entre períodos, esta correlação entre  $a_{\text{UV}}$  e COD encontrada no período seco pode ter sido em função deste comportamento recalcitrante, sendo encontrado acima um material cromóforo alóctone trazido no período úmido para os corpos hídricos (Hansell & Carlson, 2002).



**Tabela 10.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de COD e das variáveis ópticas analisadas na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Variável	Períodos	
	Úmido	Seco
<b>COD (mg.L<sup>-1</sup>) *</b>	5,55 ± 5,85 (1,7 - 3,85 - 30,2)	2,05 ± 1,44 (0,66 - 1,7 - 7,45)
<b>a<sub>(UV)</sub> (m<sup>-1</sup>)*</b>	15,3 ± 17,2 (2,9 - 8,9 - 84)	6,9 ± 8,4 (2 - 3,5 - 40,4)
<b>a*<sub>(UV)</sub> (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> COD)</b>	2,7 ± 0,7 (0,8 - 2,7 - 3,9)	2,9 ± 1,3 (1,1 - 2,7 - 5,9)
<b>S<sub>(UV)</sub> (μm<sup>-1</sup>) *</b>	13,1 ± 1,4 (10,8 - 13 - 15,8)	15 ± 2 (11,8 - 14,7 - 19,8)

Legenda: a<sub>(UV)</sub> = coeficientes de absorção; a\*<sub>(UV)</sub> = coeficiente de absorção específica; S<sub>(UV)</sub> = inclinação espectral.

Relacionando COD e MODC ao uso da terra, não foram encontradas diferenças significativas entre estas e uso de mata e pastagem, refletindo que a concentração e a qualidade de matéria orgânica encontrada nas águas drenadas destas paisagens podem ser similares (Tabela 11).

**Tabela 11.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de COD, aMODC (UV), a\*MODC (UV) e S (UV) nos períodos úmido e seco em relação às paisagens mata e pastagem. Não houve diferença significativa entre os períodos e paisagens.

Variável	Úmido		Seco	
	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>COD (mg.L<sup>-1</sup>) *</b>	4,6 ± 2,7 (2-3,5-11,1)	5,5 ± 7,5 (1,8 - 3,9 - 30,2)	1,8 ± 0,7 (0,7 - 1,8 - 2,7)	2 ± 1,6 (1,2 - 1,6 - 7,4)
<b>a<sub>(UV)</sub> (m<sup>-1</sup>)*</b>	14,4 ± 12,5 (2,9 - 9,5 - 42,2)	14,4 ± 21,1 (5,6 - 8,8 - 84)	6,4 ± 4,7 (2,1 - 4,1 - 13)	6,4 ± 10,3 (2,2 - 3,2 - 40,4)
<b>a*<sub>(UV)</sub> (m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> COD)</b>	2,8 ± 1 (0,8 - 3,2 - 3,9)	2,6 ± 0,4 (1,8 - 2,7 - 3,2)	3,2 ± 1,5 (1,3 - 3,2 - 5,9)	2,6 ± 1,3 (1,1 - 2,6 - 5,4)
<b>S<sub>(UV)</sub> (μm<sup>-1</sup>) *</b>	12,7 ± 1,8 (10,8 - 12,8 - 15,8)	13,3 ± 1,2 (11 - 13,3 - 15,1)	13,8 ± 1,4 (11,8 - 13,7 - 16,4)	15,9 ± 1,9 (12,7 - 15,8 - 19,8)

#### 4.2.3.2. Nutrientes ( $\text{NO}_3^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ )

Para os nutrientes nitrogenados e fosfatados, foram analisados as principais formas na fração dissolvida, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Os valores de nitrato foram significativamente diferentes entre os períodos, sendo o período seco maior em relação ao período úmido (~ 2 vezes). Embora não significativo, os valores de fosfato no período úmido também foram menores aos encontrados no período seco (~2 vezes). Sugere-se que esta diferença encontrada entre períodos tenha ocorrido pelos rios estarem em um estado diluído no período úmido, causado pelo maior volume de águas em razão das chuvas (Tabela 12).

**Tabela 12.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) e ortofosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) nos períodos úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ.\* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

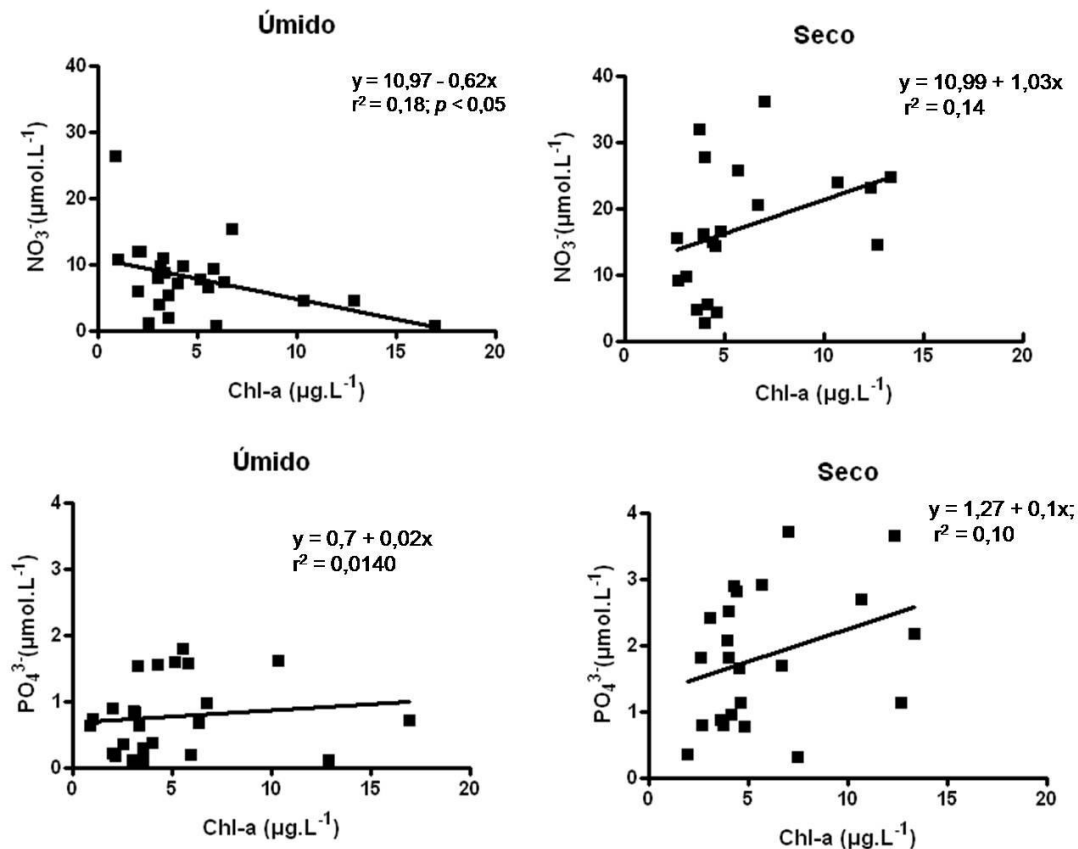
Variável	Períodos	
	Úmido	Seco
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	0,77 ± 0,56 (0,11 - 0,7 - 1,8)	1,77 ± 1,02 (0,32 - 1,7 - 3,72)
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ ) *	7,94 ± 5,5 (0,76 - 7,5 - 26,3)	17,6 ± 11,2 (2,5 - 15,8 - 47,7)

Além disso, correlações entre COD,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , demonstram que o COD correlacionou-se negativamente com nitrato e fosfato (Tabela 13). Esta correlação negativa evidencia que a dinâmica da concentração de COD, nitrato e ortofosfato seja inversa, ou seja, a concentração de COD é maior no período úmido enquanto para nitrato e ortofosfato são menores. Possivelmente, no período seco tenha ocorrido uma metabolização da matéria orgânica na água, provinda de ecossistemas terrestres no período úmido, através de processos heterotróficos, diminuindo a quantidade de matéria orgânica dissolvida e aumentando as concentrações de nitrato e fosfato (Williamson *et al*, 1999; Neil *et al*, 2001).

**Tabela 13.** Correlações entre COD,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{PO}_4^{3-}$  nos períodos úmido e seco. Todas as correlações estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ).

Variáveis	Período Úmido	Período Seco
	COD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	-0,47	-0,41
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	-0,48	-0,65

Através de análises de regressão linear entre nitrato e clorofila-a e ortofosfato e clorofila-a, foi possível notar uma diferença entre as concentrações de nitrato entre os períodos, sendo encontrada no período úmido uma correlação negativa e no período seco uma correlação positiva com a clorofila-a (Figura 10). Estas correlações reforçam que processos metabólicos heterotróficos sejam maiores que autotróficos no período seco, aumentando a concentração de nitrato através da mineralização. Enquanto no período úmido a diminuição do nitrato à medida que aumenta a concentração de clorofila-a, pode ser causada pelo consumo deste elemento e incorporação à biomassa fitoplactônica (Neil *et al*, 2001)



**Figura 10.** Regressão linear entre clorofila-a e nitrato (acima) e clorofila-a e ortofosfato (abaixo) referentes aos período úmido e seco.

#### 4.2.4. Fração particulada

De uma forma geral, na fração particulada não foi encontrada diferença significativa para entre os períodos úmido e seco. Para as concentrações de clorofila-a também não foram encontrados valores significativamente diferentes entre os períodos estudados (Tabela 14).

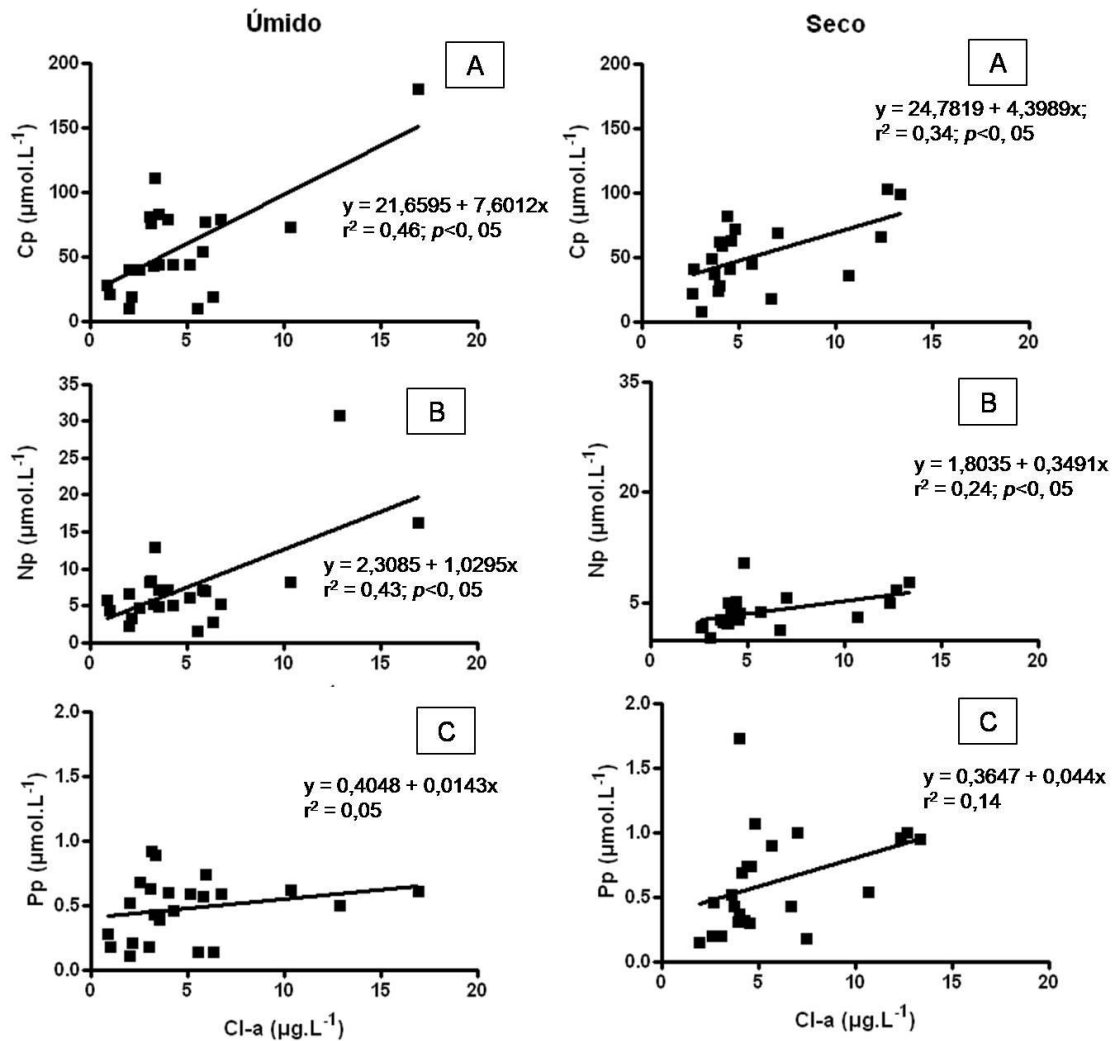
Em relação à matéria orgânica e aos nutrientes N e P na fração particulada, foi possível observar menores concentrações de carbono no período úmido em relação ao período seco (Tabela 14). Para o nitrogênio particulado o resultado encontrado foi oposto, no período úmido foram encontradas concentrações maiores que no período seco, sendo este estatisticamente diferente (Tabela 14).

**Tabela 14.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das variáveis limnológicas analisadas da fração particulada nos períodos úmido e seco.

Variável	Períodos	
	Úmido	Seco
<b>MPS (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	5,5 ± 5 (0,08 - 4,4 - 21,1)	6 ± 8,7 (0,04 - 4,3 - 44,1)
<b>Chl-a (µg.L<sup>-1</sup>)</b>	4,9 ± 3,8 (0,9 - 3,5 - 16,9)	6,6 ± 5,2 (1,9 - 4,5 - 25,8)
<b>Cp (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	75,6 ± 98,5 (9,3 - 43,8 - 491,8)	85,8 ± 162,5 (7,8 - 48,5 - 786,3)
<b>Pp (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	0,5 ± 0,2 (0,1 - 0,5 - 0,9)	0,6 ± 0,4 (0,15 - 0,5 - 1,7)
<b>Np (µmol.L<sup>-1</sup>) *</b>	7,4 ± 6 (1,6 - 6 - 30,8)	6 ± 10,3 (0,3 - 3,6 - 49,6)

Legenda: MPS = Material Particulado em Suspensão; Chl-a = Clorofila-a; Cp = Carbono Particulado; Pp = Fósforo Particulado; Np = Nitrogênio Particulado. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre os períodos.

A partir de análises de regressão linear dos nutrientes – C, N e P – na fração particulada e dissolvida e concentração de clorofila-a foi possível observar que na fração particulada e em ambos os períodos obteve-se uma relação positiva, sendo estatisticamente significativos para Cp e Np em ambos os períodos (Figura 11).



**Figura 11.** Regressão linear entre clorofila-a e Cp (A), clorofila-a e Np (B) e clorofila-a e Pp (C) referentes ao período úmido e seco. Legenda: Chl-a = Clorofila-a; Cp= Carbono particulado; Np= Nitrogênio particulado; Pp = Fósforo particulado.

A partir destas relações, de uma forma geral, nota-se que conforme o aumento da clorofila-a há um incremento da matéria orgânica particulada, associado principalmente ao nitrogênio particulado. Além disso, pode-se dizer que, no período úmido há uma diminuição do nitrato há medida que aumenta a concentração de clorofila-a, sugerindo um consumo deste elemento e incorporação à biomassa fitoplactônica, como mostrado Figura 10. Esta relação não foi encontrada para o P, tanto na forma dissolvida como na particulada, e a clorofila-a, evidenciando uma preferência de consumo pelo nitrato comparando-se com fosfato.

#### 4.2.5. Razões C:N:P dissolvido e particulado

Embora a concentração de N e P seja essencial no regulamento do crescimento da biomassa produtora em ecossistemas aquáticos, a proporção entre eles é igualmente importante. Redfield (1958) verificou relativa constância na proporção molar média para ambientes marinhos, sendo igual a 106C:16N:1P na fração particulada. Este estudo tornou-se uma referência amplamente conhecida no âmbito da estequiometria nutricional e tem sido utilizado em estudos de limitação nutricional em ecossistemas marinhos e aquáticos continentais. Há, porém, algumas divergências desta razão para ambientes de água doce, Hecky *et al.* (1993) sugeriu que sistemas aquáticos continentais que apresentem razões N:P > 22 tenham limitação por P.

As contribuições detríticas e fitoplanctônicas no MPS (material particulado em suspensão) das amostras de água foram determinadas usando um modelo de regressão linear entre Chl-a e COP para cada período (Figura 11 A). Numericamente, foram relacionadas as concentrações médias de COP e os valores obtidos no intercepto-y (Chl-a igual a zero), encontrando-se, para ambos os períodos, uma participação >50% de biomassa fitoplactônica (58% no período úmido e 54% no período seco). Estes resultados sugerem uma razoável contribuição biótica (fitoplanctônica) que justifica o uso das razões de Redfield (1958) e propostas por Hecky *et al.* (1993) como referentes a uma avaliação de suficiência ou deficiência de N e/ou P ao crescimento fitoplanctônico.

Portanto, quanto às razões na fração dissolvida, apesar dos valores médios de  $\text{NO}_3^-:\text{PO}_4^{3-}$  serem 19,4 no período úmido e 16,9 no período seco, sugerindo certa limitação por P, ou uma co-limitação por N e P, as medianas foram ~9 para ambos os períodos. Além disso, 71% dos pontos coletados apresentaram razões <16:1 no período úmido e 88% no período seco. Levando em consideração a razão N:P (22:1) sugerida por Hecky *et al.*(1993), estes valores ficam entre 75% no período úmido e 88% no período seco com razões <22:1. Essa diferença mostra que na verdade os valores médios foram influenciado por altas razões N:P pontuais (Tabela 15). Quanto a fração particulada, 70% no período úmido e 95% no período seco possuem razão N:P <16:1. Para a razão C:N a maioria (70% no período úmido e 95% no período

seco) foi >7:1, enquanto 52 % no período úmido e 81% no período seco apresentaram razão C:P < 106:1.

A partir destes resultados sugere-se que de uma forma geral, a bacia do Imbé tenha certa limitação por N, em ambos os períodos. Este estado de limitação nutricional foi encontrado em outros estudos na região. Lima (2009) também encontrou baixas razões N:P na fração dissolvida nos sistemas fluviais da bacia. Louro (2011) em estudos experimentais de suficiência/deficiência por N e P através de bioensaios da Lagoa de Cima, sugeriu que esta possua limitação por N. César (2006) sugeriu que o sistema rio Imbé-Lagoa de Cima, possa ser limitante tanto para N como para P, porém foi proposto por este autor que o N seja mais limitante que o P.

De fato, a idéia de sistemas aquáticos continentais sejam limitados por N tem sido cada vez mais encontradas, principalmente em regiões tropicais (Lewis, 2000; Elser *et al.*, 2007; Schindler *et al.*, 2008). Esta condição tem sido associada a diversos fatores, principalmente por modificações associadas ao uso da terra (Lima & Zaika, 2000; Neil *et al.* 2001; Walsh *et al.*, 2003; Beckert *et al.*, 2011).

**Tabela 15.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P analisadas da fração particulada nos períodos úmido e seco na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre os períodos.

Razões	Períodos	
	Úmido	Seco
<b>N:P Dissolvido</b>	19,4 ± 21,5 (1,1 - 9 - 69,9)	16,8 ± 29,6 (1,5 - 8,8 - 148,4)
<b>C:N particulado*</b>	8,7 ± 3 (4,1 - 8,6 - 16)	14,5 ± 3,7 (6,8 - 13,8 - 23,7)
<b>C:P particulado*</b>	152,2 ± 189,5 (59,1 - 103,5 - 990,9)	106,4 ± 127,6 (35,5 - 84,2 - 652,3)
<b>N:P particulado*</b>	16,3 ± 11,2 (6,9 - 12,8 - 62,1)	7,5 ± 8 (1,7 - 5,8 - 41,1)



### 4.3. Relação Nutrientes (C, N e P), Clorofila-a e Uso da Terra

Comparando as concentrações de nutrientes e clorofila-a em função das paisagens é possível observar que no período úmido, em média, a concentração de nitrato foi maior em áreas de mata e as concentrações de clorofila-a, Cp, Pp e Np foram maiores em áreas de pastagem (Tabela 16).

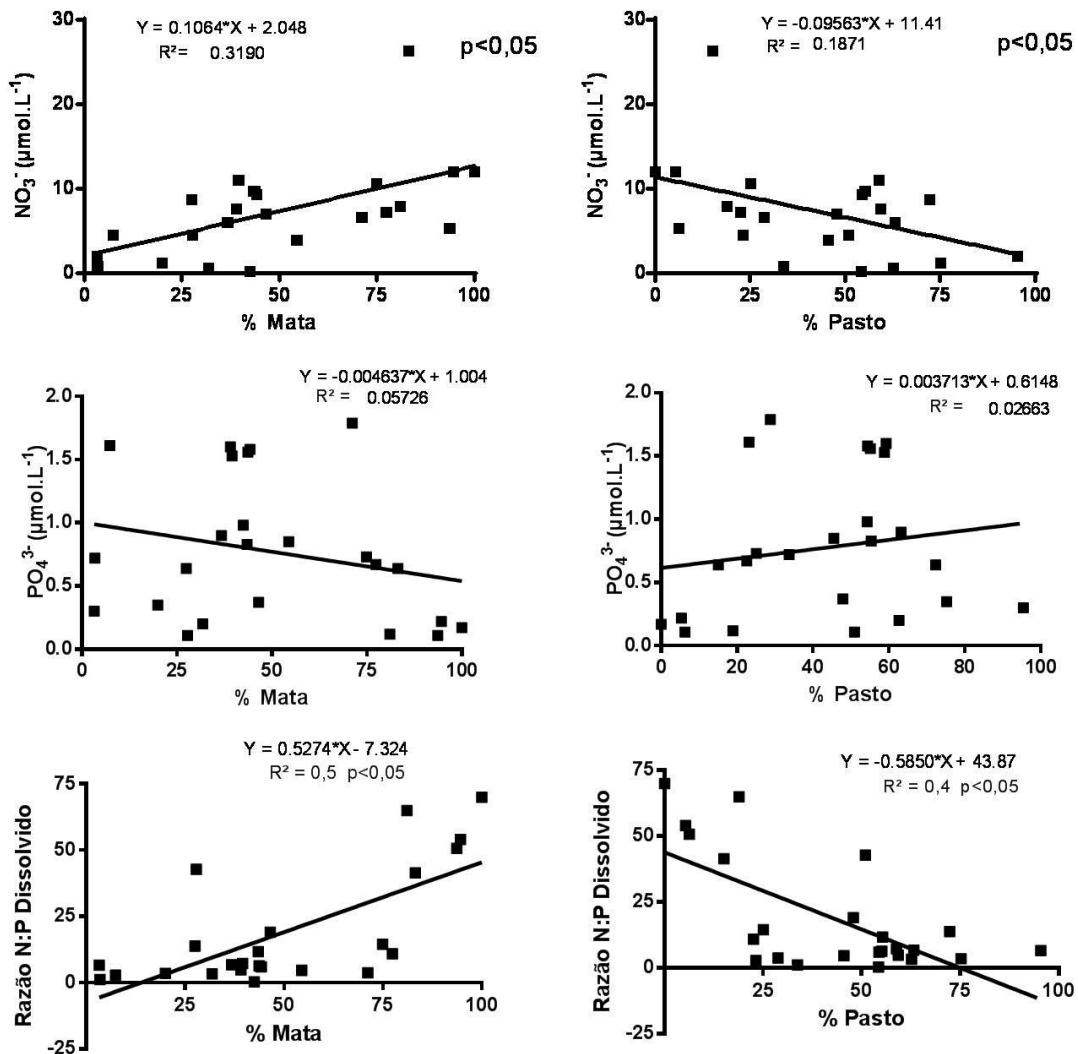
**Tabela 16.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos de C, N e P (fração dissolvida e particulada) e clorofila-a, referentes a áreas de mata e pastagem nos períodos úmido e seco. \*diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre as paisagens no período úmido. \*\* diferença estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre as paisagens no período seco.

Variáveis	Período Úmido		Período Seco	
	Mata	Pastagem	Mata	Pastagem
<b>COD (mg.L<sup>-1</sup>)</b>	4,6 ± 2,7 (2 - 3,5 - 11,1)	5,5 ± 7,5 (1,8 - 3,9 - 30,2)	1,8 ± 0,7 (0,7 - 1,8 - 2,7)	2 ± 1,6 (1,2 - 1,6 - 7,4)
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	10,2 ± 6,7 (4 - 7,9 - 26,4)	6 ± 3,8 (0,2 - 7 - 11)	16,5 ± 13,9 (2,7 - 13,9 - 47,6)	19,8 ± 9,2 (4,7 - 20,6 - 36,1)
<b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	0,6 ± 0,5 (0,1 - 0,6 - 1,8)	0,84 ± 0,6 (0,1 - 0,8 - 1,6)	1,6 ± 0,9 (0,3 - 1,8 - 2,9)	1,9 ± 1 (0,8 - 1,7 - 3,7)
<b>Chl-a (µg.L<sup>-1</sup>)</b>	3 ± 1,9 (0,9 - 3 - 6,3)	4,8 ± 2,8 (2 - 4 - 12,9)	3,8 ± 1,6** (1,9 - 4 - 7,4)	7,1 ± 3,7** (3,6 - 5,6 - 13,3)
<b>Cp (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	32,2 ± 22,6* (9,2 - 23,8 - 80,4)	94,5 ± 122,2* (9,5 - 75,6 - 491,7)	37 ± 22,1 (7,8 - 34,4 - 62,7)	54,8 ± 26 (17,6 - 48,5 - 102,3)
<b>Np (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	4,7 ± 2,2 (1,6 - 4,6 - 8,2)	8,4 ± 7,2 (2,3 - 6,9 - 10,8)	2,4 ± 1,6 (0,3 - 2 - 4,9)	4,4 ± 2,6 (1,3 - 3,6 - 10,5)
<b>Pp (µmol.L<sup>-1</sup>)</b>	0,3 ± 0,2* (0,1 - 0,2 - 0,6)	0,6 ± 0,2* (0,1 - 0,6 - 0,9)	0,5 ± 0,5** (0,1 - 0,3 - 1,7)	0,7 ± 0,3** (0,3 - 0,7 - 1)

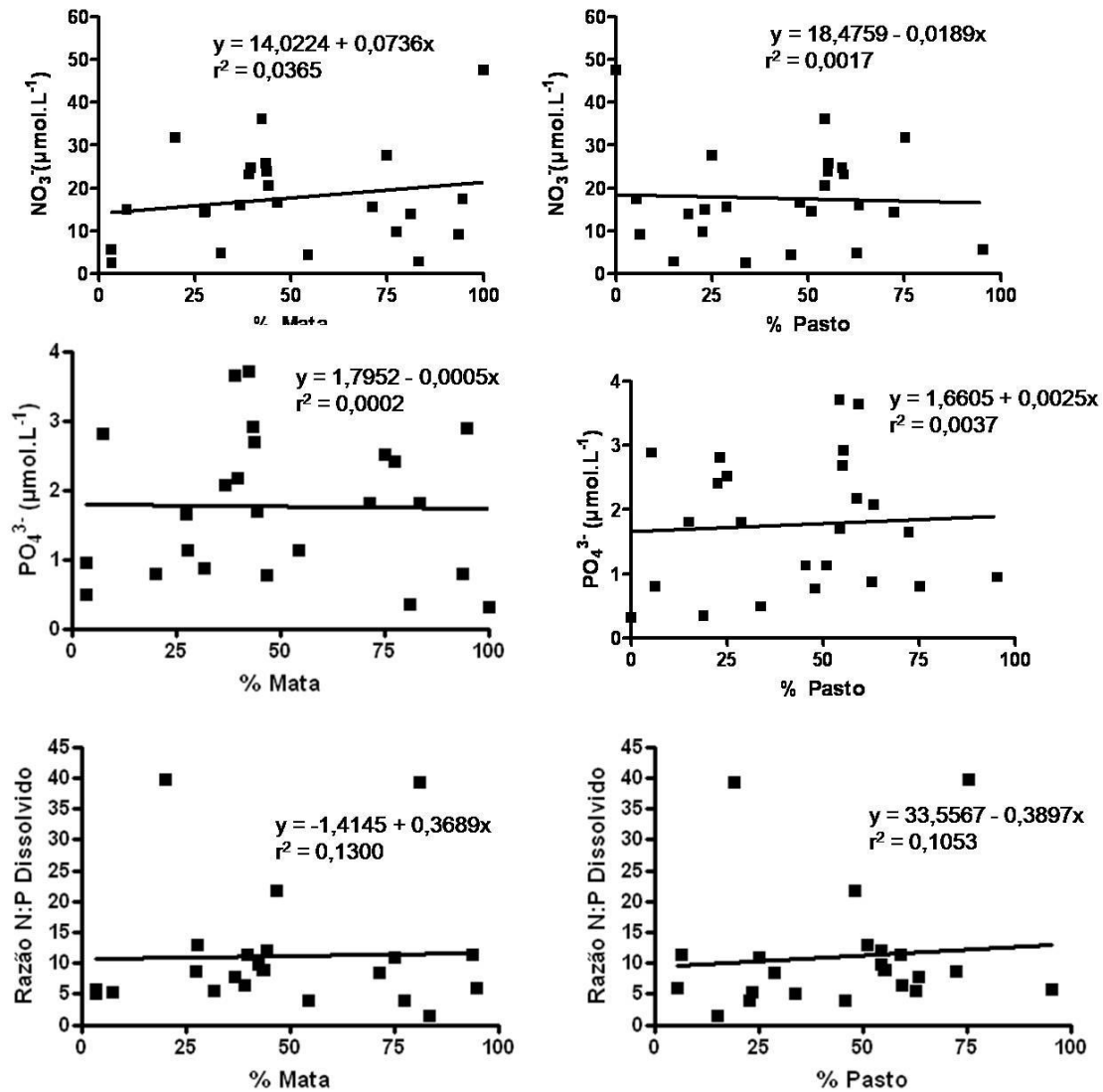
Legenda: COD = Carbono Orgânico Dissolvido; NO<sub>3</sub><sup>-</sup> = Nitrato; PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> = Fosfato; Chl-a = Clorofila-a; Cp= Carbono particulado; Np= Nitrogênio particulado; Pp = Fósforo particulado.

Relacionando as variáveis analisadas às paisagens, através de regressões lineares, pode-se notar diferenças principalmente no período úmido (Figura 12). Por exemplo, a concentração de nitrato demonstra aumentar de acordo com o aumento da % de cobertura de mata, como visto em sua correlação positiva, enquanto em relação à áreas de pastagem é possível visualizar uma tendência de aumento de ortofosfato de acordo com aumento de área de pastagem. Além disso, a razão N:P dissolvido também relacionou-se positivamente com áreas de mata enquanto para pastagem apresentou uma

relação negativa. No período seco, não foi possível visualizar claramente esta diferença entre  $\text{NO}_3^-$   $\text{PO}_4^{3-}$  e as paisagens associadas (Figura 13), sugerindo que a dinâmica de nutrientes possa realmente ser influenciada pelas paisagens, tendo em vista a ausência de associação entre estes nutrientes e paisagens neste período. As demais relações com as variáveis estudadas no período úmido, bem como no período seco podem ser vistas nos Apêndices – 7.6, 7.7, 7.8 e 7.9.



**Figura 12.** Relações entre as áreas de cobertura de uso da terra e nutrientes (N e P) no período úmido na bacia de drenagem do rio Imbé. ( $p > 0,05$  = estatisticamente significativo)



**Figura 13.** Relações entre as áreas de cobertura de uso da terra e nutrientes (N e P) no período seco na bacia de drenagem do rio Imbé. ( $p > 0,05$  = estatisticamente significativo)

As razões C:N:P evidenciam que de uma maneira geral, há diferenças entre as concentrações deste elementos em áreas de mata e pastagem, e estas consequentemente podem interferir no estado de limitação nutricional dos corpos hídricos.

No período úmido, foram encontradas em áreas de mata maiores razões N:P na fração dissolvida e particulada e menores razões C:N, evidenciando um uma contribuição maior de N nestas áreas, sugerindo deficiência por P (Razão N:P > 16), enquanto áreas de pastagem as menores razões N:P dissolvido e particulado, e C:P sugerem um estado de deficiência por N (Razão N:P < 16) (Tabela 17).

**Tabela 17.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes aos pontos coletados em paisagem predominante de mata ou pasto na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre as paisagens, ambas foram significativas apenas no período úmido.

Variável	Períodos			
	Úmido		Seco	
	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>N:P dissolvido*</b>	35 ± 26,6 (3,7 - 41,5 - 3,7)	10,1 ± 11 (0,2 - 6,5 - 14,8)	26 ± 47,2 (1,5 - 8,6 - 148,4)	12,3 ± 9,3 (5,5 - 8,9 - 39,8)
<b>C:N particulado*</b>	6,5 ± 1,8 (4,7 - 5,9 - 9,8)	9,7 ± 3,2 (4,1 - 8,7 - 15,9)	16,8 ± 4,9 (12,4 - 15,2 - 23,7)	13,2 ± 2,9 (6,8 - 13,2 - 6,8)
<b>C:P particulado</b>	101,6 ± 24 (66,3 - 103,3 - 133,3)	175,1 ± 247,8 (59 - 98,3 - 990,9)	71,9 ± 28,4 (35,5 - 80,3 - 106,2)	80 ± 24,8 (40,6 - 77,3 - 134,4)
<b>N:P particulado</b>	16,1 ± 4,6 (11,3 - 14,3 - 23,6)	15,9 ± 14,4 (6,9 - 11,7 - 62,1)	4,6 ± 2,3 (1,7 - 4,5 - 8,2)	6,2 ± 2 (2,9 - 5,8 - 9,8)

Diversos estudos, principalmente na região amazônica, têm relacionado mudanças biogeoquímicas associadas a mudanças no uso da terra (Neil *et al.*, 2001; Davison *et al.*, 2004; Biggs *et al.*, 2006; Figueiredo *et al.*, 2010). Estes têm encontrado uma forte relação de nitrato em corpos hídricos com área de mata. Provavelmente esta relação está associada a alta concentração de nitrato encontrada nos solos de áreas de mata, e o potencial de extração do nitrato dos solos para os corpos hídricos em áreas de floresta (Neil *et al.*, 2001).

A razão N:P simplifica a proporção de N e P dissolvido disponíveis para assimilação pelos organismos, em áreas de mata, por terem maiores concentrações de nitrato, conseqüentemente foram encontradas maiores razões N:P dissolvidos. Assim como na fração dissolvida, a razão N:P na fração particulada também foi maior, no período úmido, antagonicamente no período seco esta variação não foi evidente, mostrando maiores razões N:P particulado em áreas de pasto (Tabela 17). Curiosamente, Neil *et al.* (2001) também encontrou menores concentrações de N particulado em áreas de mata, este resultado foi justificado pela evidência de que pequenos rios em áreas florestais são sítios ativos para processos de desnitrificação, além disso, foi sugerido pelo mesmo autor a existência de um estado heterotrófico maior em áreas de mata quando comparados a áreas de pasto. De fato, neste

estudo, também foi encontrado, evidências de que o mesmo tenha ocorrido. Além disso, a evidência de maiores concentrações de Cp e Pp encontradas em áreas de pasto (Tabela 16) também foram encontradas em outros estudos (Neil *et al*, 2001), estas correlações sugerem certa deficiência por N.

Estas diferenças encontradas podem afetar o estado de limitação nutricional nos rios em cada unidade de bacia dominada por mata ou pastagens. Como visto, a partir dos resultados até aqui apresentados, áreas de mata, de uma maneira geral, parecem ser limitadas por P e áreas de pasto parecem limitados por N.

#### **4.4. Condições Experimentais - Bioensaios**

##### **4.4.1. Consumo e crescimento em resposta à adição de nutrientes**

De uma forma geral, as diferenças das frações particulada e dissolvida nos tratamentos e entre o período úmido e seco auxiliam a demonstrar o processo de limitação nutricional dos corpos hídricos da bacia do Imbé. A Tabela 18 resume o processo de consumo e crescimento em resposta à adição de nutrientes através da diferença da concentração inicial encontrada na condição Ct0 (águas naturais) e concentração final nas condições Ct010, +N, +P e +NP (bioensaios).

É importante destacar que foram realizadas análises de regressão linear, relacionando as frações particuladas (Cp, Pp e Np) a clorofila-a, estas relacionaram-se positivamente, sendo estatisticamente significativas (com exceção apenas da condição +NP no período úmido), nos dois períodos para todas as condições (Apêndice 7.10). A partir destes resultados pode-se dizer então que sumariamente, as concentrações dos nutrientes particulados, de fato, estão relacionados à biomassa fitoplanctônica.

Nota-se que ambos os períodos ocorreu um aumento significativo ( $p < 0,05$ ) na concentração de clorofila-a, em resposta à adição de nutriente (nitrito, ortofosfato, ou os dois), assim como diminuição dos nutrientes (N e P)

nas frações dissolvidas e aumento nas frações particuladas referentes a cada nutriente adicionado (N ou P) (Apêndice 7.11). É possível notar que o estímulo ao crescimento esteve associado aos enriquecimentos nutricionais. Porém, em todos os parâmetros analisados, as melhores respostas em relação à adição dos nutrientes foram observadas na condição +NP, evidenciando um efeito sinérgico proporcionando maior crescimento fitoplactônico. De fato, Elser *et al* (2007) sugeriu que enriquecimentos combinados de +N e + P apresentaram crescimento maiores do que em adições individualizadas, mostrando que o suprimento de N e P necessário a suficiência para o crescimento fitoplanctônico são próximos entre si. Além disso, os mesmos autores sugerem que ao invés de focar em um nutriente em particular que possa provocar limitação, seria interessante uma investigação de múltiplos impactos causados por diferentes nutrientes, incluindo N e P, mas também outros, como sílica, potássio e etc.

**Tabela 18.** Variações das concentrações médias encontradas nas condições de bioensaios e as condições naturais em relativos as diferenças (crescimento ou consumo de biomassa) das condições Ct10, +N, +P e +NP com a condição controle Ct0, para ambos os períodos estudados.

Variáveis	P. ÚMIDO				P. SECO			
	Ct10 - Ct0	N - Ct0	P - Ct0	NP - Ct0	Ct10 - Ct0	N - Ct0	P - Ct0	NP - Ct0
Clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	9,18	19,71	35,28	44,42	8,98	52,09	17,26	79,30
C particulado ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	61,2	107,3	91,8	468,6	102,8	191	143,6	421,9
N particulado ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	1,57	7,71	3,79	23,90	8,62	20,65	10,84	34,91
P particulado ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	0,07	0,06	1,11	1,30	-0,50	-0,01	1,30	1,14
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	-2,13	-21,63	0,03	-82,69	-14,39	-52,00	-12,68	-84,96
$\text{PO}_4^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	-0,12	-0,10	-4,70	-4,86	-0,49	-0,49	-5,05	-5,49

#### **4.4.2. Limitação nutricional associada ao uso da terra**

A estratégia da utilização de bioensaios neste estudo se baseia em auxiliar na investigação nas variações nas concentrações de C, N e P e possivelmente no estado de limitação nutricional associado às paisagens de mata e pastagem.

Como visto, na relação de uso da terra com a hidroquímica das águas naturais na bacia, dependendo da composição do uso da terra, a concentração de elementos particulados e dissolvidos pode variar. As diferenças nestas concentrações afetam diretamente o estado de limitação nutricional nos corpos hídricos. Dessa forma, a fim de identificar especificamente o estado de limitação nutricional associado aos principais tipos de uso da terra na bacia do rio Imbé, foram associadas as concentrações de clorofila-a, carbono, nitrogênio e fósforo particulado referentes aos bioensaios com o uso da terra predominante (>50%) de cada ponto amostrado.

Em referência aos resultados encontrados na relação do uso da terra com hidroquímica da água, áreas de mata relacionam-se positivamente com concentrações de nitrato e negativamente com fosfato, fósforo e carbono particulado e clorofila-a, evidenciando um estado de limitação por P. Áreas de pasto relacionaram-se positivamente com carbono e fósforo particulado e negativamente com a razão N:P dissolvido, demonstrando um estado de limitação por N.

Quanto as razões C:N:P, há evidências de que a proporção entre estes elementos varia de acordo com o uso da terra e com o estímulo provocado pelo aumento (adição) do nutriente em deficiência (Tabelas 19, 20, 21 e 22). Por exemplo, em referência ao enriquecimento +N, áreas de mata apresentaram maiores razões N:P dissolvido e C:N particulado e menores razões N:P particulado que áreas de pastagem, demonstrando que para pastagem a adição de N provocou maior consumo de nitrato, diminuindo a razão N:P dissolvido e C:N particulado e aumentando a razão N:P particulado (Tabela 20). De forma oposta, na condição +P, especificamente no período seco, a razão N:P dissolvida em áreas de mata comparando-se com pastagem, é maior, evidenciando um consumo de fosfato, o que possivelmente provocou menores razões C:P e N:P particulados (Tabela 21).

**Tabela 19.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição Ct10, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre as paisagens, foi significativa apenas no período úmido.

CT10	Períodos			
	Úmido		Seco	
Variável	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>N:P dissolvido*</b>	41,2 ± 43,9 (2,1 - 19,8 - 133,1)	5,6 ± 4,9 (0,8 - 2,9 - 15)	14,7 ± 29,7 (0,17 - 1,45 - 88,5)	1,1 ± 1,2 (0,08 - 0,5 - 3,7)
<b>C:N particulado</b>	13,5 ± 3,3 (9,4 - 12,8 - 18,1)	16,2 ± 5,6 (8,8 - 14,4 - 25,7)	14,3 ± 3,9 (9,5 - 14,1 - 21,4)	12,7 ± 2,3 (10,1 - 12,6 - 16,9)
<b>C:P particulado</b>	128,6 ± 79,4 (7,7 - 129,8 - 248,3)	190,5 ± 57,6 (92,8 - 195,2 - 257,1)	-	-
<b>N:P particulado</b>	10 ± 6,1 (0,6 - 11,3 - 16,7)	14,5 ± 8 (6,5 - 15,4 - 29,1)	-	-

**Tabela 20.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição +N, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. \* Diferenças estatisticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre as paisagens, foi significativa apenas no período úmido.

+N	Períodos			
	Úmido		Seco	
Variável	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>N:P dissolvido*</b>	309,7 ± 218,7 (97,5 - 246,8 - 660,1)	93,9 ± 59,6 (11,2 - 74,4 - 189,8)	80,8 ± 112,1 (1,3 - 41,5 - 307,1)	32,9 ± 25,4 (0,3 - 34,7 - 100,6)
<b>C:N particulado</b>	12 ± 4,9 (7,6 - 10,3 - 20,4)	10 ± 3,4 (2,6 - 9,9 - 14,7)	10 ± 0,8 (8,6 - 10 - 11,5)	10,5 ± 1,4 (9,2 - 10,2 - 14,3)
<b>N:P particulado</b>	18,2 ± 13,7 (11,2 - 11,7 - 42,7)	21,8 ± 16,8 (0,3 - 16,4 - 49,9)	54,3 ± 43,3 (11,1 - 45,4 - 151,7)	36,7 ± 15,2 (14,7 - 38,3 - 63,1)



**Tabela 21.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição +P, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nesta condição não houve diferença estatisticamente significativa entre as paisagens.

+P	Períodos			
	Úmido		Seco	
Variável	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>N:P dissolvido</b>	16,8 ± 25 (4,2 - 8 - 82,2)	9,7 ± 9,2 (1,4 - 5,2 - 33)	3,9 ± 2,6 (0,2 - 3,8 - 7,7)	2,5 ± 1,9 (0,2 - 2 - 6,5)
<b>C:P particulado</b>	105,9 ± 36,1 (66,8 - 105,9 - 163,5)	83,6 ± 35 (37,1 - 73,4 - 135,2)	129 ± 125 (58,9 - 80,4 - 456,6)	117,5 ± 65,2 (43,1 - 98,8 - 319,6)
<b>N:P particulado</b>	6 ± 2,1 (3,3 - 6,7 - 8,2)	5,8 ± 3,8 (3 - 4,6 - 14,9)	10,7 ± 8,9 (3,4 - 9,1 - 33)	8,4 ± 5,1 (3,6 - 6,9 - 24,7)

**Tabela 22.** Valores médios e desvio padrão e entre parênteses valores mínimos, medianas e máximos das razões entre C:N:P referentes à condição +NP, por paisagem (mata e pastagem) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ. Nesta condição não houve diferença estatisticamente significativa entre as paisagens.

+NP	Períodos			
	Úmido		Seco	
Variável	Mata	Pasto	Mata	Pasto
<b>N:P dissolvido</b>	9,8 ± 14,3 (0,7 - 3,2 - 39,7)	2,7 ± 2,5 (0,5 - 1,4 - 8,1)	15,9 ± 23,9 (0,06 - 0,5 - 65,7)	11,8 ± 22,4 (0,2 - 0,4 - 61,5)
<b>C:N particulado</b>	19,8 ± 7,2 (12,8 - 19 - 31)	17,1 ± 3,1 (13,7 - 16,7 - 24,6)	10,2 ± 2,6 (6,5 - 10,3 - 13,8)	12,2 ± 2,7 (8,8 - 11 - 17,1)
<b>C:P particulado</b>	783,1 ± 1023,6 (224,9 - 241,2 - 2598,5)	643,9 ± 1023,1 (222 - 257 - 3169,7)	292,4 ± 129,2 (105,2 - 294,9 - 544,1)	322,1 ± 143,8 (87,6 - 314,4 - 564,9)
<b>N:P particulado</b>	40,4 ± 53,8 (10,4 - 18,5 - 136,4)	35,4 ± 53,8 (14,6 - 15,9 - 168,1)	28,9 ± 13,5 (16,2 - 25,3 - 59)	26,7 ± 13,6 (9,9 - 22,2 - 51,4)

Para se identificar o crescimento fitoplactônico (indexado pelos valores de clorofil-a) e microbiano (indexado pelos valores de Cp) foram realizadas razões destas variáveis com o nutriente adicionado (nitrato ou ortofosfato), como podem ser vistos na Tabela 23. Nota-se a diferença do crescimento fitoplactônico/microbiano pelo estímulo nutricional associado ao uso da terra. Em outras palavras, áreas de mata parecem ter respondido mais fortemente quando estimuladas por P, ou nas condições enriquecidas por P, ao passo que em áreas de pastagem o crescimento da biomassa foi maior quando estimulada por N.

**Tabela 23.** Razões Chl-a/ NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; Chl-a/ PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>; Cp/ NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e Cp/ PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> referentes às condições enriquecidas associadas ao uso da terra na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, para o período úmido e seco.

		P. Úmido		P. Seco	
	+ Nutriente	Mata	Pasto	Mata	Pasto
Chl-a/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg.µmol <sup>-1</sup> )		0,22 ± 0,21	0,89 ± 0,9	15,8 ± 32,4	33,8 ± 76,4
	+N	(0,04 - 0,11 - 0,6)	(0,05 - 0,5 - 3)	(0,02 - 0,4 - 95,4)	(0,3 - 1,5 - 212,5)
Chl-a/ PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg.µmol <sup>-1</sup> )		92,3 ± 195	60,1 ± 102,5	37,4 ± 86	10,4 ± 4,7
	+P	(0,6 - 24,8 - 608)	(3,9 - 27,4 - 367,4)	(0,4 - 7,2 - 266)	(1,5 - 11,5 - 16,5)
Cp/ NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (µg.µmol <sup>-1</sup> )		0,8 ± 1	6,3 ± 7,3	6,7 ± 11,3	126,8 ± 238,9
	+N	(0,3 - 0,4 - 2,7)	(0,4 - 3,9 - 21,8)	(0,4 - 2,3 - 29,5)	(1 - 6,2 - 806)
Cp/ PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (µg.µmol <sup>-1</sup> )		420,7 ± 511,7	229,5 ± 294,6	154,2 ± 172,2	133,2 ± 56,2
	+P	(32,4 - 246,5 - 1333,8)	(42,5 - 78 - 913,4)	(11,7 - 76,2 - 549,7)	(19,8 - 150,2 - 219)

Para observar possíveis influências do uso da terra quanto ao estado trófico das águas da bacia e suas respostas ao enriquecimento nutricional, foi avaliado o Índice de Estado Trófico de Carlson (IET) (1977) a partir das concentrações de clorofila-a. Foi possível notar que áreas de pastagem apresentaram um grau de trofia maior que em áreas de mata, nas condições Ct0, +N e +NP principalmente no período seco (Tabela 24). Esse resultado reforça a correlação negativa entre mata e clorofila-a encontrada nas condições naturais. Além disso, é interessante destacar que na condição +N o caráter hipereutrófico encontrado no período seco para pastagem, denota a deficiência de N nestas áreas que, quando enriquecidas por este elemento, possuem um maior crescimento.

**Tabela 24.** Classificação da trofia das águas naturais e bioensaios a partir dos cálculo de IET segundo Índice de Carlson (1977), modificado por Toledo (1999), dos valores de clorofila-a para os usos da terra (mata e pasto) na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, em ambos os períodos (úmido e seco).

Uso da Terra	P. Úmido			P. Seco	
	Condição	IET	Classificação IET	IET	Classificação IET
Mata	Ct0	49	Mesotrófico	52	Mesotrófico
Pastagem		54	Mesotrófico	58	Eutrófico
Mata	Ct10	52	Mesotrófico	59	Eutrófico
Pastagem		63	Eutrófico	67	Eutrófico
Mata	+N	65	Eutrófico	69	Eutrófico
Pastagem		70	Eutrófico	79	Hipereutrófico
Mata	+P	66	Eutrófico	67	Eutrófico
Pastagem		72	Eutrófico	67	Eutrófico
Mata	+NP	72	Eutrófico	85	Hipereutrófico
Pastagem		74	Hipereutrófico	83	Hipereutrófico

Dessa forma, estes resultados corroboram com o observado nas condições naturais e reforçam que na bacia do Imbé, o comportamento de limitação em áreas de mata é caracterizado como limitante para P, enquanto em áreas de pastagem a limitação ocorre por N. Essa diferença reflete em como os corpos hídricos são afetados pelas modificações no uso da terra e

como estas contribuem de formas distintas, até mesmo opostas, com materiais particulados e dissolvidos aos corpos hídricos.

Neil *et al* (2001) em estudo realizado em duas bacias de drenagem na Amazônia também encontraram limitação por P em áreas de mata, enquanto áreas de pastagem apresentaram limitação por N. Estes autores sugerem que essa diferença pode potencialmente alterar a estrutura da cadeia alimentar através do controle do fitoplâncton pelas concentrações destes nutrientes. Noe *et al.* (2001) verificaram que o aumento na entrada de P em lagos e áreas alagadas, pode modificar o estado de limitação e a composição de espécies e equilíbrio na comunidade de algas e macrófitas provocando mudanças também em interações consumidor-recurso *bottom-up*. Portanto, a concentração de nutrientes nos corpos hídricos e conseqüentemente, o estado de limitação nutricional, não apenas afetam a biomassa fitoplanctônica de maneira quantitativa, mas também de maneira qualitativa, afetando a abundância e riqueza da comunidade. Subseqüentemente, estas alterações provocam modificações em toda a cadeia alimentar (Sterner & Elser, 2002; Elser *et al*, 2007)

Estes resultados contribuem ao conhecimento sobre a região e possibilitam um esclarecimento das características da bacia relacionado às condições de limitação nutricional associados aos principais usos da terra que compõem a bacia de drenagem do Imbé. Comparando-se estes resultados com estudos realizados anteriormente na região (Louro, 2011; César, 2006) pode-se dizer que o presente estudo de certa forma, esclarece o estado de limitação por N encontrado em estudos anteriores realizados na Lagoa de Cima. Sugere-se que este estado de limitação ocorra pela influência de áreas de pastagem, já que maior parte da composição da bacia está associada a estas áreas.

## **5. Conclusões**

As paisagens que compõem a bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, contribuem e influenciam a dinâmica de elementos particulados e dissolvidos em águas superficiais de forma diferentes.

Especificamente áreas de pastagem contribuem com maiores concentrações de condutividade elétrica, turbidez, TDS, *E. coli*, C, N e P particulados e clorofila-a, enquanto áreas de mata contribuem, principalmente, com maiores concentrações de nitrato às águas naturais da bacia. Estas diferenças interferem na geoquímica natural dos corpos hídricos, influenciando também a dinâmica físico-química, microbiológica e o estado de limitação nutricional fitoplanctônico.

De uma forma geral, a bacia de drenagem do rio Imbé, RJ, apresenta um estado de limitação nutricional por N. Porém quando observados especificamente áreas de mata e pastagem, esse estado de limitação se modifica, mostrando que os corpos hídricos dominados por Mata Atlântica são limitados por P, enquanto os dominados por pastagem são limitados por N.

De fato, no período úmido a contribuição terrestre aos corpos hídricos é mais evidente, baseados em que as relações entre os usos da terra e as variáveis limnológicas analisadas foram mais fortemente relacionadas.

## 6. Referências Bibliográficas

Abell, J. M., Zkundakci, O. D., Hamilton, D. P. (2010) Nitrogen and Phosphorus Limitation of Phytoplankton Growth in New Zealand Lakes: Implications for Eutrophication Control *Ecosystems* vol. 13 pp. 966-977.

Barboza, G. C. (2010) Monitoramento da qualidade e disponibilidade da água do Córrego do Coqueiro no noroeste paulista para fins de irrigação (Dissertação mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Beckert, K. A., Fisher, T. R., O'Neil, J. M., Jesien, R. V. (2011) Characterization and Comparison of Stream Nutrients, Land Use, and Loading Patterns in Maryland Coastal Bay Watersheds. *Water Air Soil Pollution* vol. 221 p. 255–273

Biggs, W. T., Dunne, T., Muraoka, T. (2006) Transport of water, solutes and nutrients from a pasture hillslope, southwestern Brazilian Amazon *Hydrological Processes* 20, 2527-2547

Buck, O., Niyogi, D. K., Townsend, C. R. (2004) Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental Pollution* vol. 130 p. 287-299

Carlson, R. E. (1977). A trophic state index for lakes. Contribution no 141. *Limnological Research Center*. University of Minnesota, Mineapolis. p. 17

Carmouze, J.P. (1994). Metabolismos dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas. 1a ed. São Paulo: Edgard Blucher/ Fapesp, p. 254.

César, J. L. (2006) Fitoplâncton da Lagoa de Cima (Campos dos Goytacazes, RJ): dinâmica e relação com fatores ambientais. Dissertação (Mestrado em Biociências e Biotecnologia). Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ.

Collares, E. G. (2000) Avaliação de Alterações em Redes de Drenagem de Microbacias como Subsídio ao Zoneamento Geoambiental de Bacias Hidrográficas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari, SP. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos, SP.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA Resolução n. 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2005.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n. 274, de 29 de novembro 2000. Dispõe sobre a balneabilidade. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2000.

CPRM / Patrícia Durringer Jacques e Edgar Shinzato (2000) Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – Geologia do Estado do Rio de Janeiro - Uso e Cobertura do solo – Brasília. 26p.

CPRM (2005) Projeto Gerenciamento Integrado de Agroecossistemas em Microbacias Hidrográficas do Norte Nordeste Fluminense Rio Rural/GEF. Disponível em: <http://www.microbacias.rj.gov.br>

Davidson, E. A., Neill, C., Krusche, A. V., Ballester, M. V. R., Markewitz, D., and Figueiredo, R. O. (2004) Loss of nutrients from terrestrial ecosystems to streams and the atmosphere following land use change in Amazonia, in ecosystems and Land Use Change. *Geophys. Monogr. Ser.*, vol. 153p.147–158

Del Castillo, C.E., Coble, P.G., Morell, J.M., Corredor, J.E. (1999). Analysis of the optical properties of the Orinoco River plume by absorption and fluorescence spectroscopy. *Marine Chemistry* vol. 66 p. 35-51.



Downing, J. A., McCauley, E., (1992) The Nitrogen:Phosphorus Relationship in Lakes. *Limnol. Oceanogr.* vol. 37 p. 936-945

Elser, J.J., Marzolf, E.R. & Goldman, C.R. (1990) Phosphorus and nitrogen limitation of phytoplankton growth in the freshwaters of North America: a review and critique of experimental enrichment. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47: 1468-77.

Elser, J.J., Bracken, M.E.S., Cleland, E.E., Gruner, D.S., Harpole, W.S., Hillebrand, H., Ngai, J.T., Seabloom, E.W., Shurin, J.B., & Smith, J.E. (2007) Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10: 1135–1142.

Embrapa (2003 a) Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas *Documentos 30* - Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. Sete Lagoas, MG.

Embrapa (2003 b) Diagnóstico do meio físico da bacia hidrográfica do Rio do Imbé (RJ): aplicação de metodologia integrada como subsídio ao manejo de microbacias – *Boletim de Pesquisa de Desenvolvimento 29* - Embrapa Solos. Rio de Janeiro

Falkowski, P., Scholes, R.J., Boyle, E., Canadell, J., Canfield, D., Elser, J. (2000) The global carbon cycle: a test of our knowledge of Earth as a system. *Science* 290: 291–296.

Figueiredo R. O., Markewitz D., Davidson E. A., Schuler E. A., Watrin O. S., Silva P. S. (2010) Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon - *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115

Gibson, C. E. (1971). Nutrient limitation. *Journal of the Water Pollution Control Federation* vol. 43 pp. 2436–40.

Gücker, B., Boechat, I., Giani, A. (2009) Impacts of agricultural land use on ecosystem structure and whole-stream metabolism of tropical Cerrado streams. *Freshwater Biology* vol. 54 p.2069–2085

Hecky, E., Campbell, P., Hendzel, L.L. (1993) The Stoichiometry of Carbon, Nitrogen, and Phosphorus in Particulate Matter of Lakes and Oceans. *Limnol. Oceanogr.* 38 (4): 709-724.

Hecky, R.E., & Kilham, P. (1988) Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 33 pp. 796–822.

Hansell, D. A., Carlson, C. A. (2002) *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter* Academic Press 1ª Ed.

Hongve, D. (1994). Nutrient metabolism (C, N, P, and Si) in the trophogenic zone of a meromictic lake. *Hydrobiologia*, vol. 277 p.17-39.

IBGE, Censo Agropecuário 1920/2006 (2007). Até 1996, dados extraídos de: Estatística do Século XX. Rio de Janeiro, RJ.

IBGE. Conceição de Macabú: folha SF-24-M-I-1. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 1969. Escala 1:50.000. Carta topográfica.

IBGE. Dores de Macabú: folha SF-24-G-III-4. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 1969. Escala 1:50.000. Carta topográfica.

IBGE. Renasceça: folha SF-24-G-III-3. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 1969. Escala 1:50.000. Carta topográfica.

IBGE. Santa Maria Madalena: folha SF-23-X-D-VI-4. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 1974. Escala 1:50.000. Carta topográfica.

IBGE. São Fidélis: folha SF-24-G-III-2. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 1968. Escala 1:50.000. Carta topográfica.

IBGE. Trajano de Moraes: folha SF-23-Z-B-III-2. 1ª. Ed. Rio de Janeiro, 1969. Escala 1:50.000. Carta topográfica.

Jain, C. K (2002) - A hydro-chemical study of a mountainous watershed: the Ganga, India. *Water Research* vol. 36 pp. 1262–1274.

Jeffrey, S.W. & Humphrey, G.F. (1975) New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanzen* vol. 167 p. 191-194.

Jeppesen, E., Kronvang, B., Olesen, J. E., Audet, J., Sondergaard, M., Hoffman, C. C., Andersen, H. E., Lauridsen, T. L., Liboriussen, L., Larsen, S. E., Beklioglu, M., Meerhoff, M., O'zen, A., O'kzan, K. O., (2011) Climate change effects on nitrogen loading from cultivated catchments in Europe: implications for nitrogen retention, ecological state of lakes and adaptation *Hydrobiologia* vol. 663 pp. 1–21

Keith, D.J.; Yoder, J.A.; Freeman, S.A. (2002). Spatial and temporal distribution of coloured dissolved organic matter (CDOM) in Narragansett Bay, Rhode Island: Implications for phytoplankton in coastal waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* vol. 55 p. 705-717.

Kirk, J.T.O. (1992). The nature and measurement of the light environment in the ocean. *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*; PG, Falkowski and Woodhead, AD (Eds.). Plenum Press, New York, p. 9-29.

Lee, G. F., Rast, W., Jones, R. A. (1978) Eutrophication of water bodies: Insights for an age-old problem *Environmental Science & Technology* Vol. 12 pp. 900

Lewis, W.M. Jr. (2000) Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes and Reservoirs: research and management* 5:35-48.

Lima, W.P.; Zakia M.J.B. (2000) Hidrologia de matas ciliares. Matas ciliares: conservação e recuperação. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo,. p.33-43.

Lima, W. P. (2008) Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas 2.Ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo

Lima, C. A. I. (2009) - Relação Espacial Entre Águas Superficiais e Paisagens Ambientais na Bacia de Drenagem do Rio Imbé-Lagoa de Cima (RJ) (Trabalho monográfico em Ciências Biológicas. Universidade Estadual do Norte Fluminense)

Louro, M. (2011) Respostas relacionais entre Nitrato, Ortofosfato e biomassa fitoplanctônica da Lagoa de Cima (RJ): uma abordagem experimental. Dissertação (Mestrado em Biociências e Biotecnologia). Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ.

Markewitz, M., Davidson, E. A., Figueiredo, R. O., Victoria, R. L., Krusche, A. V. (2001) Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature* vol. 410 p. 802–805

MINISTÉRIO DA SAÚDE - PORTARIA N.º 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

Moldan, B.; Cerny, J. (1994) Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research. Chichester: John Wiley & Sons

Neill, C.; Deegan, L. D.; Cerri, C. C.; Thomaz, S. (2001) Deforestation for pasture alter nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. *Ecological Applications*. Washington. v.11, n.6, p.1817-1828.

Neves, A., C., M. (2006) Determinantes do Desmatamento na Mata Atlântica: Uma Análise Econômica (Mestrado em Economia da Indústria e da Tecnologia). Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ.

Noe, G. B., Childers, D. L., Jones, R. D. (2001) Phosphorus Biogeochemistry and the Impact of Phosphorus Enrichment: Why Is the Everglades so Unique? *Ecosystems* vol. 4 pp. 603-624.

Ostensvik, O. (2000) Coliform bacteria and *Escherichia coli* in Norwegian drinking water sources – Comparison of methods on the fermentation of lactose and methods based on the activity of species enzymes. *Idexx Summary*

Pedrosa, P. (1999) Padrões de comportamento espaço-temporal do meio líquido da Lagoa de Cima (Campos, RJ): aspectos físicos, tróficos, metabolismo e organização sistêmica. Tese (Doutorado em Biociências e Biotecnologia). Universidade Estadual do Norte Fluminense. Laboratório de Ciências Ambientais, pp. 12 - 15.

PESAGRO-RIO - Ministério da Agricultura, Abastecimento, Pesca e Desenvolvimento do Interior Superintendência de Microbacias Hidrográficas (2002) Programa de Desenvolvimento Rural Sustentável em Microbacias Hidrográficas Rio Rural - Fase 1 - Diagnóstico Ambiental Microbacias Do Baixo Rio Imbé. Rio de Janeiro, RJ

Ptácnik, R., Andersen, T., Tamminem, T. (2010) Performance of the Redfield Ratio and a Family of Nutrient Limitation Indicators as Thresholds for Phytoplankton N vs. P Limitation *Ecosystems* vol.13 pp. 1201–1214.

Redfield, A.C. (1958) The biological control of chemical factors in the environment. *Am. Sci.* 46: 205-222.

Reynolds, C.S. (2006) Ecology of Phytoplankton. Ecology, Biodiversity and Conservation. Cambridge University Press. pp.3-20.

Rezende, C.E., Ovale, Á.R.C., Pedrosa, P., Nascimento, M.T., Suzuki, M.S., Miranda C.R., Monteiro L. R., Pedlowski, M.A., Mazurec A. P., Erbesdobler E. & Kristosch, G.C. (2006) *Diagnóstico Ambiental da Área de Proteção Ambiental da Lagoa de Cima*. Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ.

Santos, J. M. C. O. (2006). Compartimentalização biogeoquímica da bacia de drenagem do Rio Imbé, Campos dos Goytacazes – RJ. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas). Universidade Estadual do Norte Fluminense, RJ.

Schindler, D.W., Hecky, R. E., Findlay, D.L, Stainton, M.P., Parker, B.R., Paterson, M.J., Beaty, K.G, Lyng, M.& Kasian S.E.M (2008) Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *PNAS* vol. 32 pp.11254–11258. [www.pnas.org](http://www.pnas.org).

SEAPEC - Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado do Rio de Janeiro. Superintendência de Desenvolvimento Sustentável. Programa Rio Rural (2008) Projeto: Gerenciamento Integrado de Agroecossistemas em Microbacias Hidrográficas do Norte-Noroeste Fluminense – RIO RURAL/GEF - Relatório Metodológico/Estatístico do Marco Zero do Uso do Solo nas Micro-Bacias (*Produto 3*) Rio de Janeiro, RJ e Dados do Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Imbé, Rio de Janeiro.

Silva, N., Junqueira, V. C. A., Silveira, N. F. A., Taniwaki, M. H., Santos, R. F. S., Gomes, R. A. R. (2010) Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos e Água Ed. Livraria Varela Editora. São Paulo

Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C. (1999) Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* vol. 100 pp.179±196.

Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C. (1999) Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental Pollution* 100:179±196.

Stedmon, C.A., Markager, S., Kaas, H. (2000). Optical properties and Signatures of Chromophoric Dissolved Organic Matter (CDOM) in Danish Coastal Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. vol. 51 p. 267-278.

Stedmon C.A., Markager, S. (2001). The optics of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in the Greenland Sea: An algorithm for differentiation between marine and terrestrially derived organic matter. *Limnol. Oceanogr.*, vol. 46(8) p. 2087- 2093.

Sterner, R.W., Elser, J.J. (2002) Ecological Stoichiometry: The Biology of Elements from Molecules to the Biosphere (Princeton Univ. Press, Princeton, NJ, 2002).

Teodoro V.L.I., Teixeira D., Costa D. J. L., Fuller B. B. (2007) O conceito de bacia hidrográfica E a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. *Revista Uniara* n.20, pp 137-155

Thomas, S. M., Neill, C., Deegan, L. A., Krusche, A. V., Ballester, V. M., Victoria, R. L. (2004) Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. *Biogeochemistry* vol. 68 p.135–151.

Toledo, J.T. (1999) Utilização do índice de qualidade de águas (IAQ-CETESB) e do índice de estado trófico (IET-Carlson) para classificar a qualidade das águas da lagoa do Taquaral–Campinas–SP. Disponível em: [www.unicamp.br](http://www.unicamp.br).

Tonello, K.C. (2005) Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Valderrama, J.C. (1981) The simultaneous analysis of total nitrogen and phosphorus in natural waters. *Mar.Chem.*, vol. 10 p. 109-122.

Vitousek, P.M., Aber, J.D., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H. & Tilman, D.G. (1997) Human alteration of the global nitrogen cycle: sources and consequences. *Ecological Applications* 7:737–750.

Walsh, S. E., Soranno, P. A., Rutledge D.T. (2003) Lakes, Wetlands, and Streams as Predictors of Land Use/Cover Distribution. *Environmental Management* Vol. 31, No. 2, pp. 198–214

Wetzel, R.G. (2001) *Limnology* (3rd edition), Academic Press, New York.

Wetzel, R.G., Likens, G.E. (1991) *Limnological analyses*. 2<sup>a</sup> Ed. Springer-Verlag. New York. 391p

Williamsom C. E., Morris, D. P., Pace, M.L., Olson, O. G (1999) Dissolved organic carbon and nutrients as regulators of lake ecosystems: Resurrection of a more integrated paradigm *Limnol. Oceanogr.*, vol. 44(3) p. 795-803.



## 7. Apêndices

### 7.1. Valores médios das variáveis físico-químicas referentes aos 48 pontos coletados e em negrito os 24 pontos escolhidos para coleta e análises na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ.

Variáveis Físico Químicas							
Pontos	Temperatura (°C)	pH	Eh (mV)	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	TDS ( $\text{g.L}^{-1}$ )
<b>1/A1</b>	<b>17,98</b>	5,35	318	22	0,41	9,57	0,014
2	22,16	6,16	286	36	4,06	7,75	0,023
3	21,26	6,51	237	27	1,31	10,26	0,017
<b>4/A2</b>	21,4	6,41	<b>278</b>	<b>30</b>	3,4	10,02	<b>0,019</b>
5	21,46	6,55	261	56	5,36	9,99	0,036
6	21,97	6,75	257	47	10,4	9,59	0,031
<b>7/A3</b>	21,82	<b>6,93</b>	173	53	6,6	9,34	0,034
8	22,14	7,04	270	36	2,24	10,62	0,024
9	23,16	7,31	259	48	6,17	9,73	0,031
<b>10/A4</b>	23,73	7,07	239	43	<b>6,25</b>	<b>8,74</b>	0,028
<b>11/A5</b>	24,68	5,83	231	<b>31</b>	4,69	9,76	<b>0,019</b>
12	26,15	6,73	198	49	7,55	6,96	0,032
<b>13/A6</b>	26,64	6,49	<b>160</b>	44	8,66	7,72	0,029
<b>14/A7</b>	24,57	7,05	242	42	<b>3,26</b>	10	0,027
<b>15/A8</b>	26,92	6,52	183	32	1,1	<b>8,74</b>	0,021
16	25,15	6,22	197	33	1,58	8,41	0,022
<b>17/A9</b>	<b>25,68</b>	6,52	171	34	1,39	9,81	0,022
<b>18/A10</b>	22,81	7,29	252	34	<b>0,04</b>	9,13	0,022
19	24,58	6,37	219	20	1,06	9,86	0,012
20	23,86	6,68	321	26	4,4	8,55	0,017
21	25,83	6,23	322	44	40,6	7,64	0,028
22	25,36	7,02	304	23	3,82	9,46	0,014
23	25,81	6,47	305	44	6,54	7,19	0,029
<b>24/A11</b>	25,93	<b>6,27</b>	231	46	12,2	9,56	<b>0,03</b>
<b>25/A12</b>	23,77	5,13	281	<b>139</b>	18,8	9,09	<b>0,086</b>
<b>26/A13</b>	23,08	6,56	277	94	8,03	<b>5,12</b>	0,061
27	23,19	6,68	274	85	26,5	8,43	0,055
<b>28/A14</b>	<b>23,9</b>	6,46	<b>324</b>	82	39,6	8,18	0,053
<b>29/A15</b>	22,82	<b>4,91</b>	267	36	6,11	<b>9,67</b>	0,022
30	22,3	6,51	293	55	3,52	9,99	0,036
31	22,21	6,45	183	36	2,93	8,67	0,023
<b>32/A16</b>	22,99	6,3	237	<b>45</b>	15,3	<b>7,85</b>	0,029
<b>33/A17</b>	<b>22,3</b>	<b>6,53</b>	<b>245</b>	28	5,47	8,44	0,018
34	23,67	5,77	293	43	9,03	9,18	0,028
35	21,32	7,07	254	22	0,39	9,96	0,014
<b>36/A18</b>	20,5	6,14	295	17	1,03	<b>10,86</b>	0,011

**7.1.** (Continuação) Valores médios das variáveis físico-químicas referentes aos 48 pontos coletados e em negrito os 24 pontos escolhidos para coleta e análises na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ.

Variáveis Físico Químicas							
Pontos	Temperatura (°C)	pH	Eh (mV)	Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	Turbidez (NTU)	Oxigênio Dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	TDS ( $\text{g.L}^{-1}$ )
37	21,71	6,38	304	18	0,06	9	0,012
<b>38/A19</b>	<b>27,72</b>	7,01	251	<b>45</b>	<b>12,8</b>	7,72	0,029
<b>39/A20</b>	24,64	<b>6,85</b>	243	<b>45</b>	13,9	7,35	<b>0,03</b>
40	27,46	6,69	231	42	64,4	7,07	0,027
41	26,27	6,73	249	41	13,8	8,77	0,027
42	26,16	5,64	244	24	11,8	8,75	0,015
<b>43/A21</b>	25,91	6,55	<b>225</b>	<b>39</b>	72,7	7,52	<b>0,025</b>
<b>44/A22</b>	25,41	6,1	189	<b>10</b>	<b>88,3</b>	8,51	<b>0,005</b>
45	24,42	6,18	220	40	76,5	8,4	0,026
<b>46/A23</b>	23,06	<b>6,86</b>	<b>225</b>	29	7,17	8,97	<b>0,019</b>
47	23,18	7,12	241	79	2,91	10,03	0,051
<b>48/A24</b>	22,72	<b>7,4</b>	236	51	2,17	8,51	0,033
<b>Mínimo</b>	<b>17,98</b>	<b>4,91</b>	<b>160</b>	<b>10</b>	<b>0,04</b>	<b>5,12</b>	<b>0,005</b>
<b>Máximo</b>	<b>27,72</b>	<b>7,4</b>	<b>324</b>	<b>139</b>	<b>88,3</b>	<b>10,86</b>	<b>0,086</b>
Quartil inferior (25%)	22,27	6,26	226	30,5	3,09	7,9	0,019
Quartil superior (75%)	25,64	6,89	279,5	45,5	12,8	9,65	0,03
Mediana	23,9	6,53	245	39	6,25	8,74	0,025
Média	24	6,54	247,84	0,04	12,53	8,72	105,35
Desvio Padrão	1,99	0,51	42	0,02	18,56	1,19	13,33
CV	0,08	0,08	0,17	0,48	1,48	0,14	0,13

**7.2.** Posicionamento geográfico dos 48 pontos medidos quanto às características físico-químicas de corpos hídricos ao longo da Bacia de Drenagem do Imbé – RJ. Os 24 pontos de amostragem escolhidos foram nomeados como A1 até A24, entre parênteses.

Pontos	UTM 24K (WGS-84)	
<b>1/A1</b>	195440	7567125
2	195448	7567116
3	197156	7567932
<b>4/A2</b>	199783	7569305
5	192813	7674605
6	196316	7565008
<b>7/A3</b>	196365	7564252
8	198735	7567309
9	199523	7567582
<b>10/A4</b>	201865	7567765
<b>11/A5</b>	202595	7568399
12	204994	7567039
<b>13/A6</b>	206894	7567840
<b>14/A7</b>	206958	7569042
<b>15/A8</b>	210440	7571766
16	211673	7574900
<b>17/A9</b>	210664	7576498
<b>18/A10</b>	209999	7575156
19	212057	7578472
20	211677	7578483
21	214046	7577160
22	215579	7577187
23	218264	7578380
<b>24/A11</b>	222058	7575524

Pontos	UTM 24K (WGS-84)	
<b>25/A12</b>	237626	7591143
<b>26/A13</b>	236038	7591116
27	234283	7590438
<b>28/A14</b>	234086	7590239
<b>29/A15</b>	230728	7587160
30	226054	7584463
31	222407	7581001
<b>32/A16</b>	222443	7581048
<b>33/A17</b>	222482	7580753
34	210503	7578628
35	209917	7578600
<b>36/A18</b>	199609	7578523
37	213366	7571884
<b>38/A19</b>	213401	7571930
<b>39/A20</b>	212097	7567813
40	210832	7566260
41	210234	7565934
42	209912	7565689
<b>43/A21</b>	209270	7565243
<b>44/A22</b>	208707	7564902
45	206294	7675237
<b>46/A23</b>	205319	7565345
47	202128	7564433
<b>48/A24</b>	202141	7564407

**7.3.** Posicionamento geográfico dos 24 pontos de amostragem coletados ao longo da Bacia de Drenagem do Imbé – RJ.

<b>Pontos</b>	<b>UTM 24K (SAD-69)</b>	
<b>A1</b>	195439	7567116
<b>A2</b>	199674	7569266
<b>A3</b>	196363	7564243
<b>A4</b>	201863	7567756
<b>A5</b>	202594	7568388
<b>A6</b>	206893	7567832
<b>A7</b>	206956	7569034
<b>A8</b>	210439	7571758
<b>A9</b>	210662	7576489
<b>A10</b>	209997	7575147
<b>A11</b>	222189	7575736
<b>A12</b>	237625	7591134
<b>A13</b>	236037	7591107
<b>A14</b>	234085	7590230
<b>A15</b>	230727	7587151
<b>A16</b>	222442	7581038
<b>A17</b>	222479	7580744
<b>A18</b>	210298	7578515
<b>A19</b>	213400	7571923
<b>A20</b>	212096	7567804
<b>A21</b>	209268	7565235
<b>A22</b>	208706	7564894
<b>A23</b>	205061	7564710
<b>A24</b>	202138	7564398

#### 7.4. Preparação das soluções para enriquecimento nutricional:

- **Fósforo**

O enriquecimento por fósforo foi realizado a partir do reagente de Fosfato de Potássio Monobásico (Merk).

Fórmula molecular:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$

Peso molecular: 136

Para a obtenção de uma solução estoque com concentração de  $5\mu\text{M}$  de P foram pesados 0,17g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  e dissolvidos em 250mL de água ultra pura, Milli-Q.

Foram adicionados  $600\mu\text{L}$  desta solução para um volume de 600mL de cada bioensaio das amostras de águas naturais coletadas.

- **Nitrogênio**

O enriquecimento por nitrogênio foi realizado a partir do reagente de Nitrato de Sódio (Merk).

Fórmula molecular:  $\text{NaNO}_3$

Peso molecular: 85

Para a obtenção da solução estoque com concentração de  $80\mu\text{M}$  de N foram pesados 1,7g de  $\text{NaNO}_3$  e dissolvidos em 250mL de água ultra pura, Milli-Q.

Foram adicionados então  $600\mu\text{L}$  desta solução para um volume final de 600mL para cada bioensaio das amostras de águas naturais coletadas.

- **Nitrogênio e Fósforo**

Para enriquecimentos com N e P juntos, foram adicionados nos bioensaios específicos  $600\mu\text{L}$  de cada solução estoque para um volume de 600 mL.

#### 7.4. (Continuação) Preparação das soluções para enriquecimento nutricional

- **Cálculo das concentrações finais**

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 = 136\text{g} - 1\text{M}$$

$$0,136 \text{ g/L} = 1\mu\text{M}$$

$$0,068 \text{ g/L} = 0,5 \mu\text{M}$$

$$0,017 \text{ g} - 0,25 \text{ L} (0,5 \mu\text{M})$$

$$0,17 = 0,25\text{L} (5\mu\text{M}) \rightarrow \text{Concentração proposta}$$

$$\text{NaNO}_3 = 85\text{g} = 1\text{M}$$

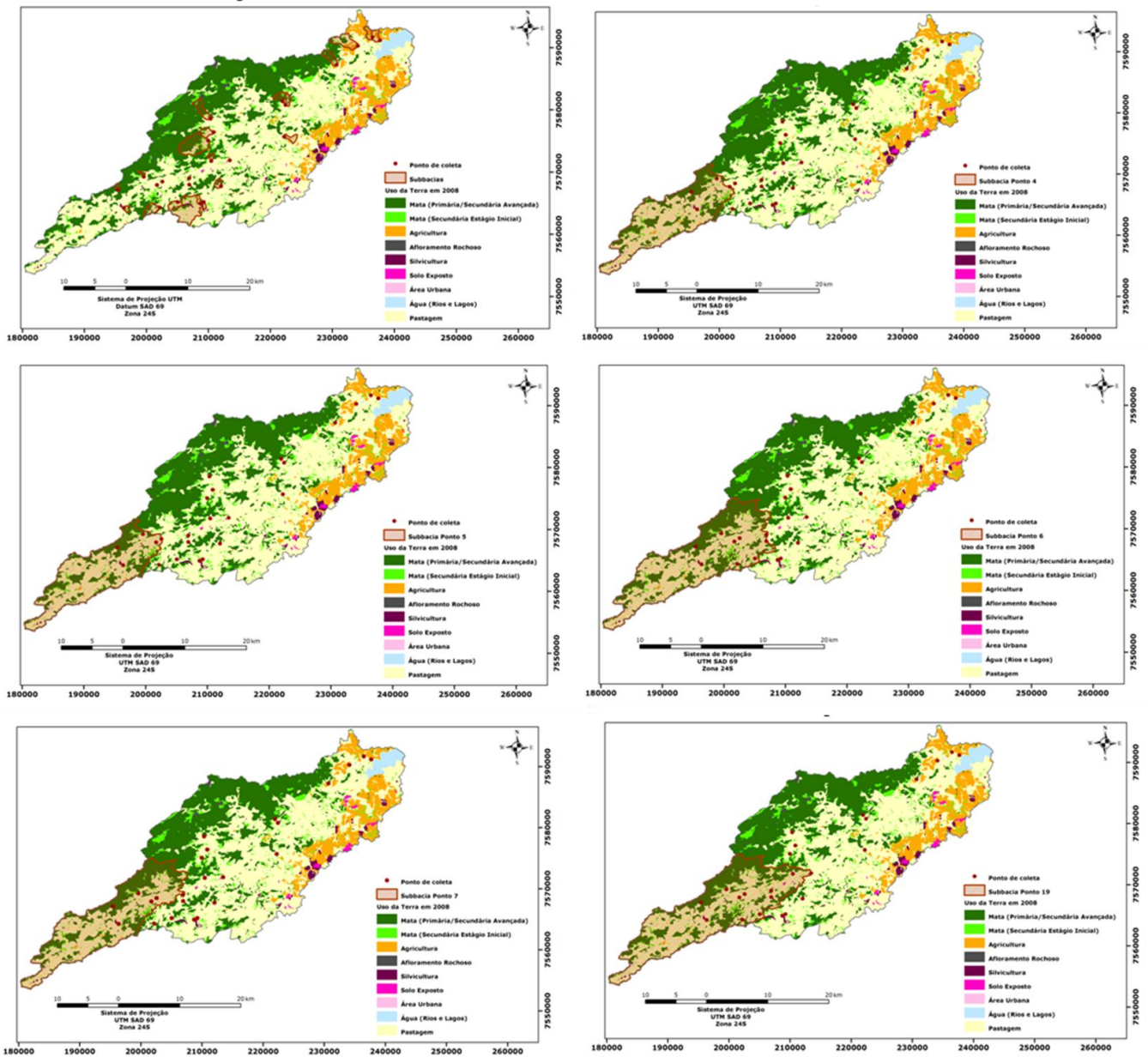
$$68 \text{ g/L} = 0,8 \text{ M}$$

$$0,068 \text{ g/L} = 0,8 \mu\text{M}$$

$$0,017 \text{ g em } 0,25\text{L} (0,8\mu\text{M})$$

$$1,7\text{g em } 0,25\text{L} (80\mu\text{M}) \rightarrow \text{Concentração proposta}$$

### 7.5. Áreas de captação (drenagem) referentes aos pontos de coleta e uso da terra na bacia de drenagem do rio Imbé, RJ.



7.6. Correlações Spearman entre as variáveis limnológicas estudadas e uso da terra para o período úmido. Sendo valores estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) em negrito.

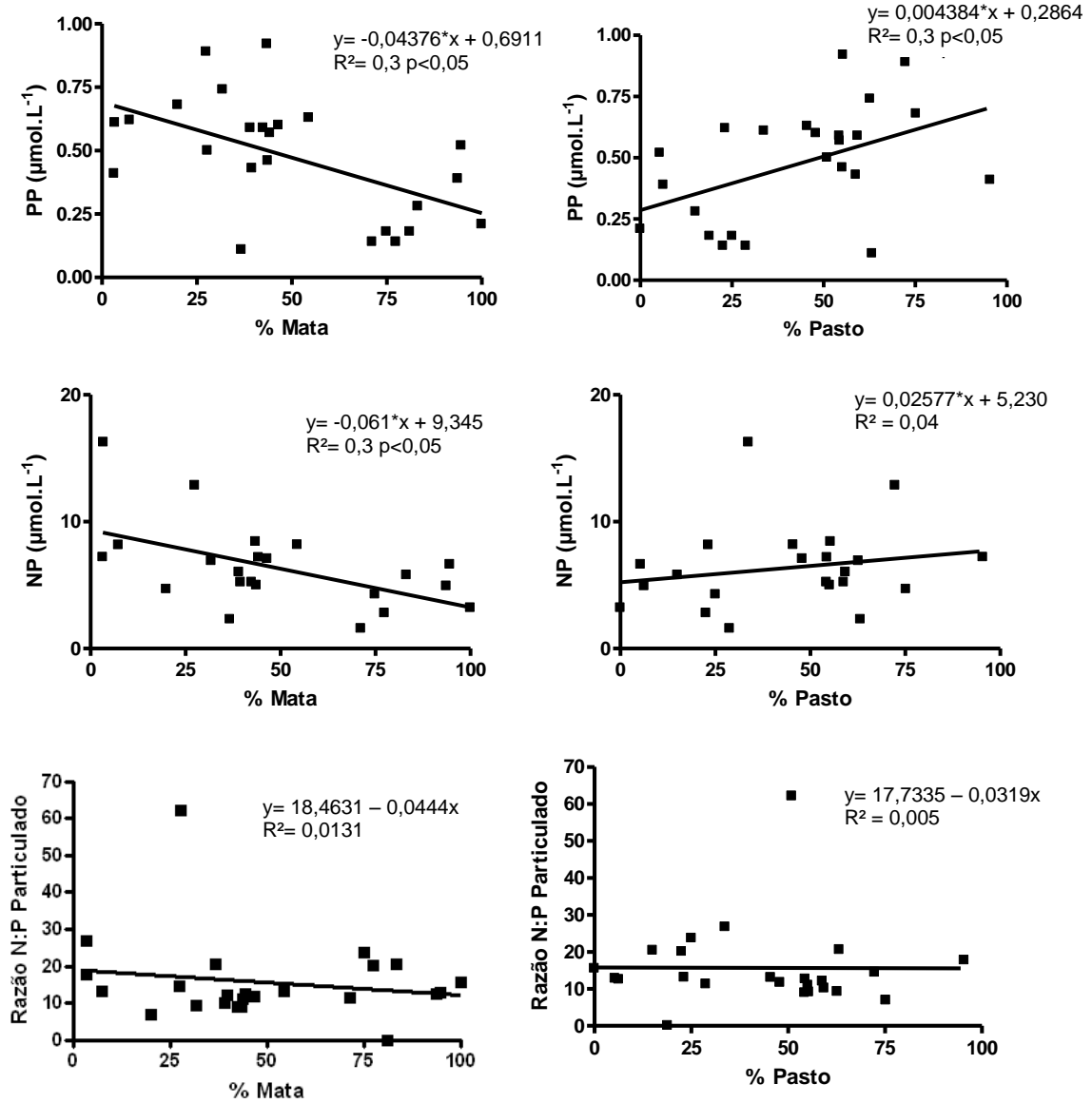
Variáveis	% Mata	% Pasto	% Agricultura	%Silvicultura	%Solo Exposto	% Área Urbana
Chl-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	<b>-0,46</b>	0,13	0,37	0,06	0,06	0,08
COD ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	-0,18	-0,18	0,02	-0,35	<b>-0,55</b>	<b>-0,54</b>
COP ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	<b>-0,63</b>	<b>0,42</b>	0,40	0,12	0,04	0,02
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	-0,21	0,23	0,26	0,22	<b>0,49</b>	<b>0,52</b>
Pp ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	<b>-0,50</b>	<b>0,41</b>	0,16	<b>0,50</b>	0,21	0,16
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	<b>0,61</b>	-0,36	0,01	0,05	0,39	0,39
Np ( $\mu\text{mol.L}^{-1}$ )	<b>-0,53</b>	0,28	<b>0,55</b>	0,13	0,15	0,11
N:P Particulado	-0,06	-0,22	0,32	<b>-0,52</b>	-0,36	-0,33
N:P Dissolvido	<b>0,63</b>	<b>-0,48</b>	-0,21	-0,31	-0,09	-0,12

7.7. Correlações Spearman entre as variáveis limnológicas estudadas e uso da terra para o período seco. Sendo valores estatisticamente diferentes ( $p < 0,05$ ) em negrito.

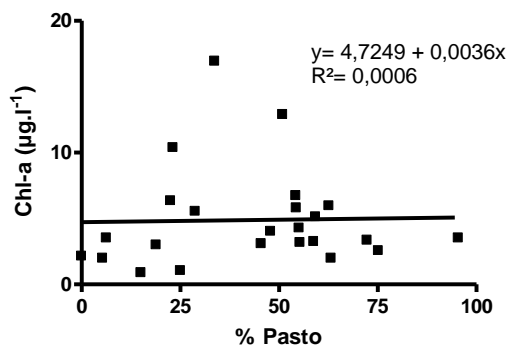
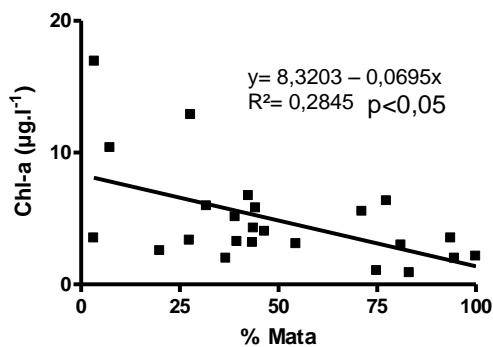
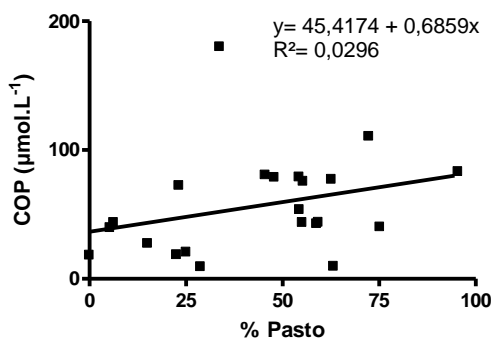
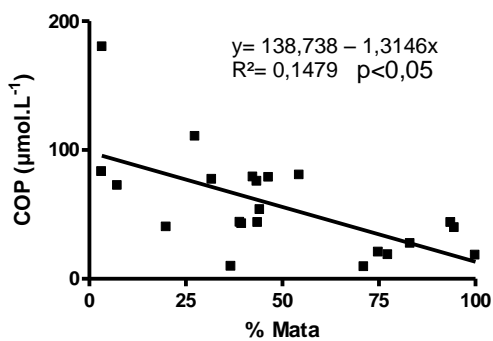
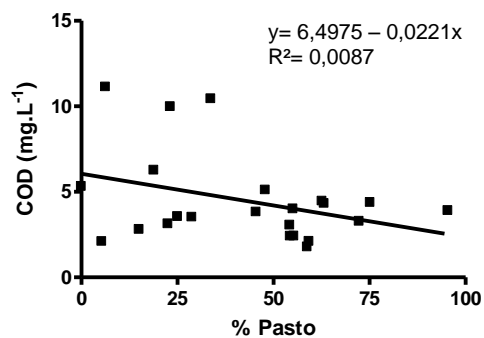
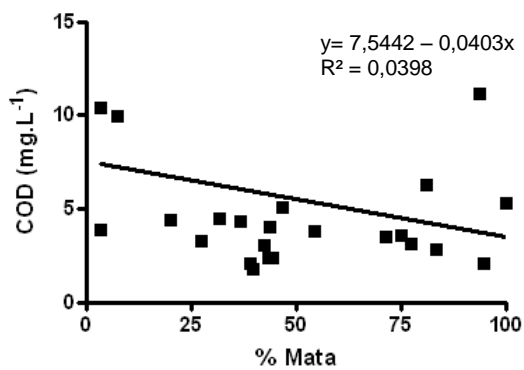
Variáveis	% Mata	% Pasto	% Agricultura	% Silvicultura	% Solo Exposto	% Área Urbana
Chl-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )	-0,31	0,19	<b>0,55</b>	0,21	<b>0,50</b>	<b>0,53</b>
COD ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-0,10	-0,26	0,20	-0,36	<b>-0,43</b>	<b>-0,46</b>
COP ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	<b>-0,59</b>	0,28	<b>0,60</b>	0,05	0,10	0,10
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	-0,02	0,11	0,16	0,14	<b>0,45</b>	<b>0,42</b>
Pp ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	-0,35	0,17	<b>0,61</b>	0,05	0,23	0,22
$\text{NO}_3^-$ ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	0,12	0,12	-0,21	0,30	<b>0,41</b>	0,40
Np ( $\mu\text{mol L}^{-1}$ )	<b>-0,58</b>	0,34	<b>0,60</b>	0,09	0,20	0,19
N:P Particulado	<b>-0,63</b>	<b>0,45</b>	0,21	0,08	-0,04	-0,01
N:P Dissolvido	0,17	0,02	-0,27	0,17	0,13	0,14



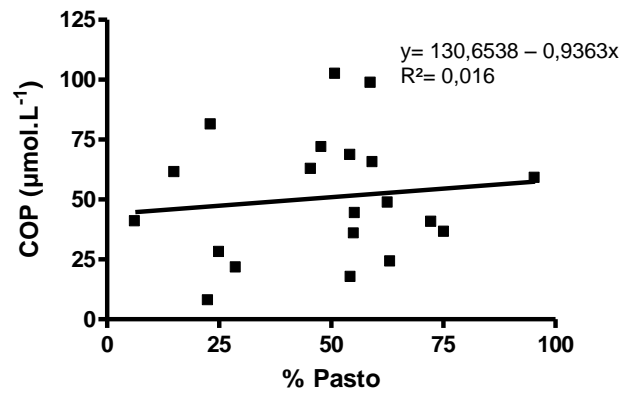
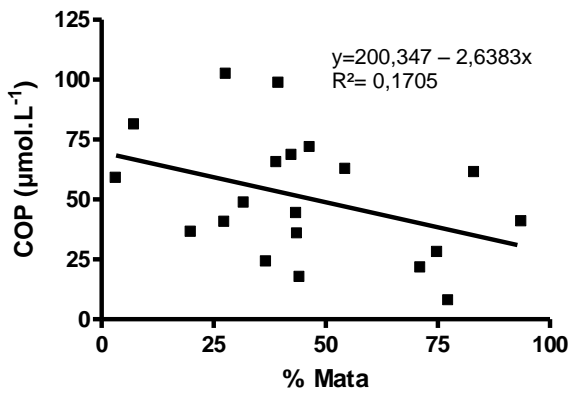
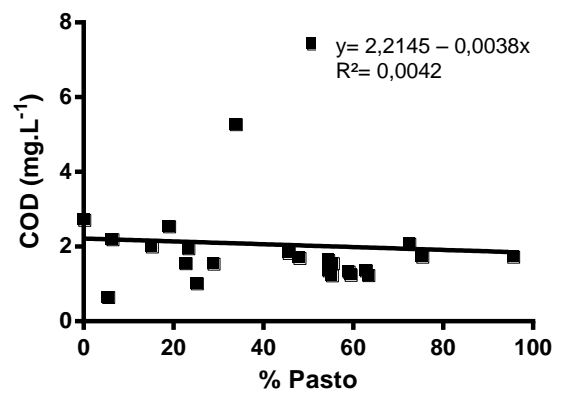
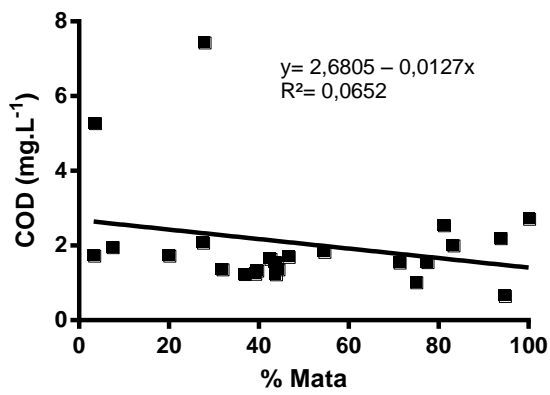
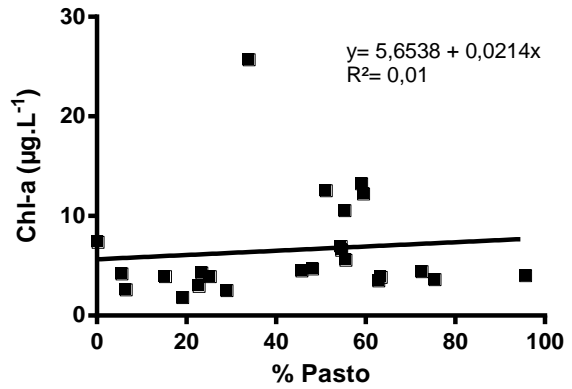
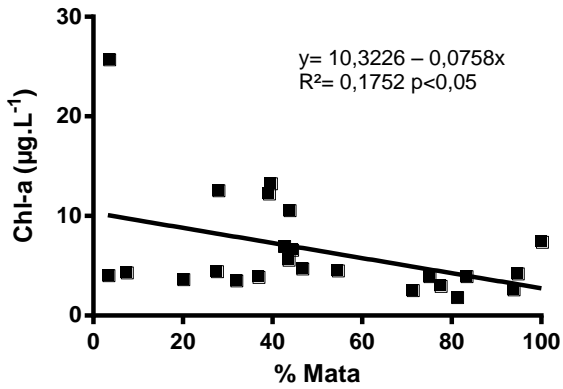
**7.8.** Comparações entre as diferentes variáveis limnológicas analisadas e áreas de mata e pastagem para o período úmido.



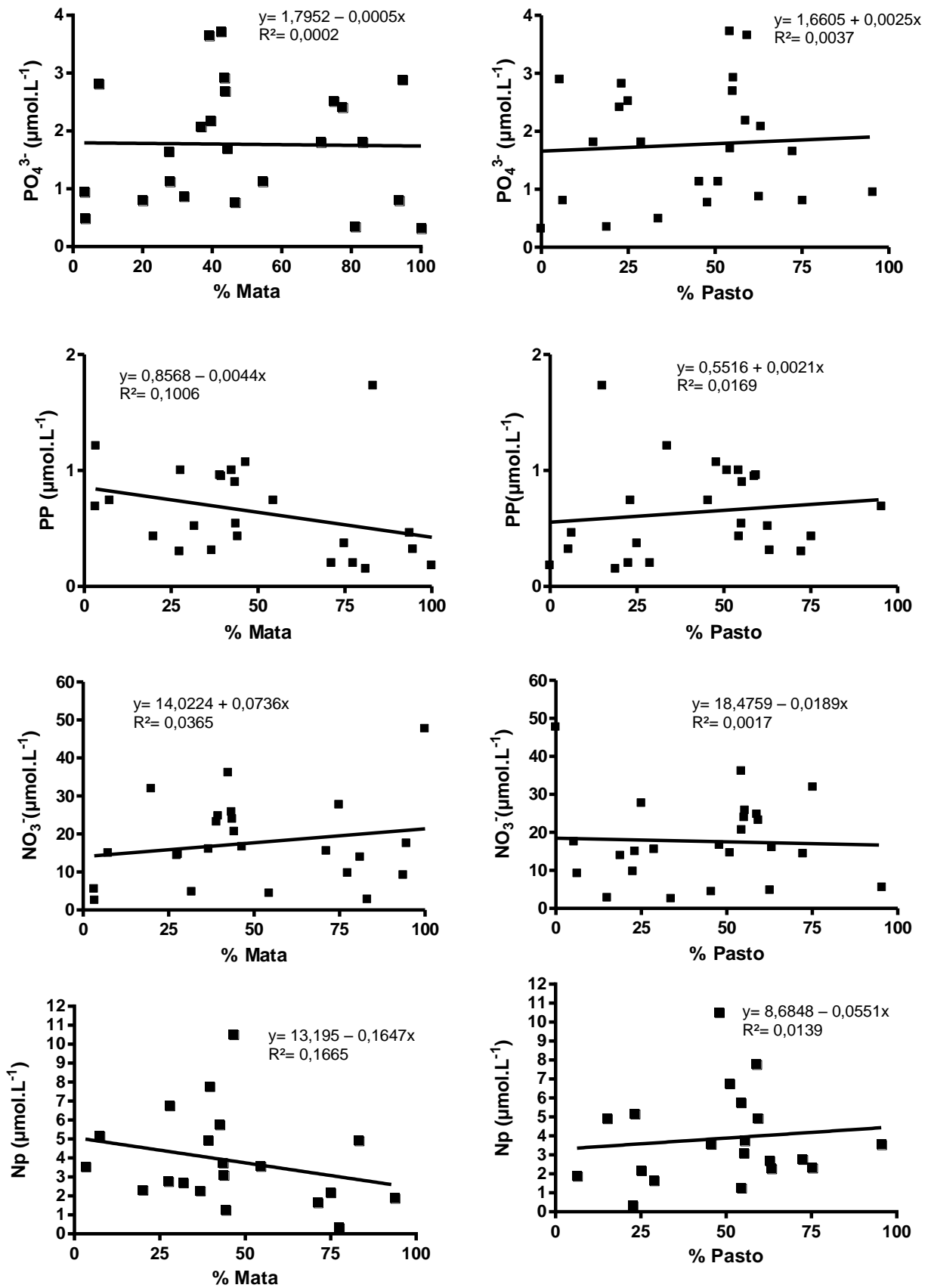
**7.8. (Continuação) Comparações entre as diferentes variáveis limnológicas analisadas e áreas de mata e pastagem para o período úmido.**



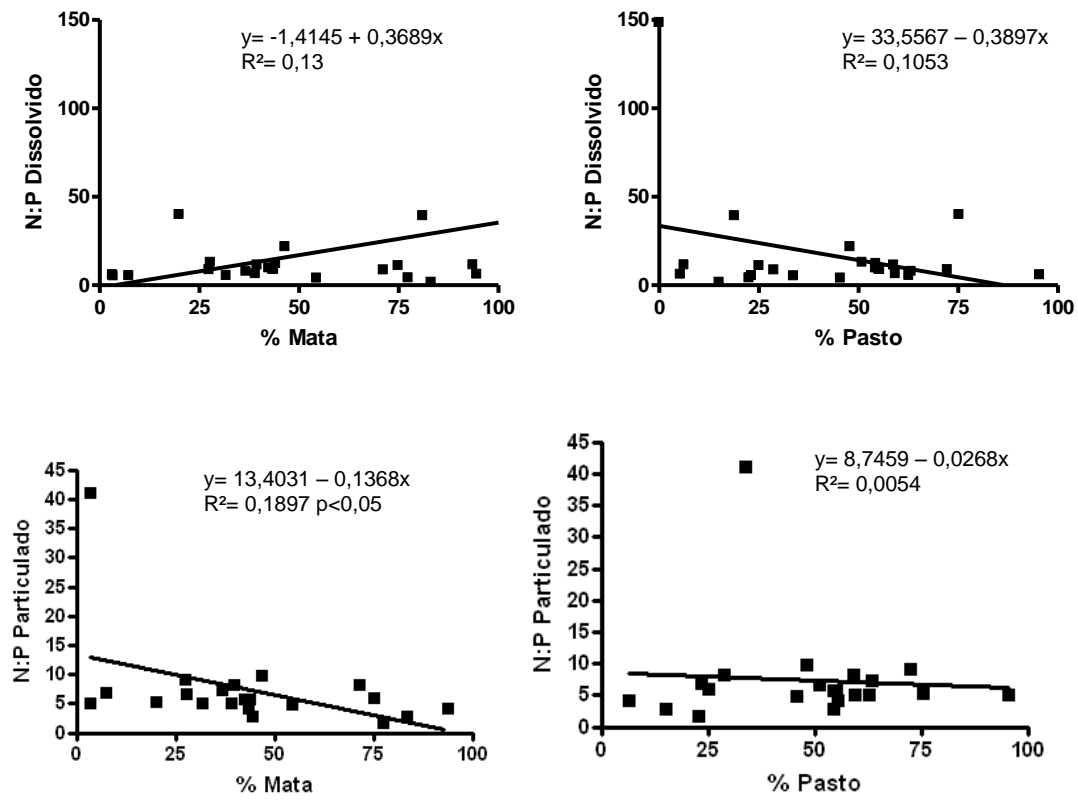
7.9. Comparações entre as diferentes variáveis limnológicas analisadas e áreas de mata e pastagem para o período seco



7.9. (Continuação) Comparações entre as diferentes variáveis limnológicas analisadas e áreas de mata e pastagem para o período seco.



7.9. (Continuação) Comparações entre as diferentes variáveis limnológicas analisadas e áreas de mata e pastagem para o período seco.



**7.10.** Regressão Linear entre as concentrações de C, N e P particulado e clorofila-a para cada condição (Ct0 – controle tempo 0; Ct10 – controle tempo 10; +N; +P; +NP). Sendo regressões significativas ( $p < 0,05$ ), positivas assinaladas +. Não houve relações negativas.

Condição	Variáveis	P. Úmido	P. Seco
Ct0	Cp	+	+
	Np	+	+
	Pp		+
Ct10	Cp	+	+
	Np	+	+
	Pp		+
N	Cp	+	+
	Np	+	+
	Pp	+	+
P	Cp	+	+
	Np	+	+
	Pp		+
NP	Cp		
	Np		
	Pp		

Legenda: Cp = Carbono particulado; Np = Nitrogênio particulado; Pp = Fósforo particulado; Ct0 = Condição controle tempo 0; Ct10 = Condição controle tempo 10; +N = Enriquecimento por  $\text{NO}_3^-$ ; +P = Enriquecimento por  $\text{PO}_4^{3-}$ ; +NP = Enriquecimento por  $\text{NO}_3^- + \text{PO}_4^{3-}$ .

**7.11.** Análise Kruskal-Wallis referentes aos bioensaios para as variáveis Chl-a, Carbono Orgânico Particulado (Cp), Nitrogênio Particulado (NP) e Fósforo Particulado (Pp). Sendo estatisticamente significativos ( $p < 0,05$ ) em vermelho.

P Úmido					P Seco						
<b>Chl-a</b>											
	Ct0	Ct10	+N	+P	+NP		Ct0	Ct10	+N	+P	+NP
<b>Ct0</b>		0,5987	<b>0,0002</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>Ct0</b>		0,2454	<b>0,0000</b>	<b>0,0385</b>	<b>0,0000</b>
<b>Ct10</b>			0,1521	<b>0,0129</b>	<b>0,0006</b>	<b>Ct10</b>			<b>0,0133</b>	1,0000	<b>0,0000</b>
<b>+N</b>				1,0000	1,0000	<b>+N</b>				0,0862	0,4548
<b>+P</b>					1,0000	<b>+P</b>					<b>0,0000</b>
<b>+NP</b>						<b>+NP</b>					
<b>COP</b>											
	Ct0	Ct10	+N	+P	+NP		Ct0	Ct10	+N	+P	+NP
<b>Ct0</b>		1,0000	1,0000	0,0975	<b>0,0000</b>	<b>Ct0</b>		<b>0,0151</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0003</b>	<b>0,0000</b>
<b>Ct10</b>			1,0000	0,9569	<b>0,0005</b>	<b>Ct10</b>			1,0000	1,0000	<b>0,0022</b>
<b>+N</b>				1,0000	<b>0,0018</b>	<b>+N</b>				1,0000	0,4020
<b>+P</b>					0,1699	<b>+P</b>					0,0630
<b>+NP</b>						<b>+NP</b>					
<b>NP</b>											
	Ct0	Ct10	+N	+P	+NP		Ct0	Ct10	+N	+P	+NP
<b>Ct0</b>		1,0000	1,0000	1,0000	<b>0,0001</b>	<b>Ct0</b>		<b>0,0266</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0014</b>	<b>0,0000</b>
<b>Ct10</b>			1,0000	1,0000	<b>0,0001</b>	<b>Ct10</b>			0,1370	1,0000	<b>0,0001</b>
<b>+N</b>				1,0000	<b>0,0066</b>	<b>+N</b>				0,9580	0,4598
<b>+P</b>					<b>0,0416</b>	<b>+P</b>					0,0023
<b>+NP</b>						<b>+NP</b>					
<b>PP</b>											
	Ct0	Ct10	+N	+P	+NP		Ct0	Ct10	+N	+P	+NP
<b>Ct0</b>		1,0000	1,0000	<b>0,0033</b>	<b>0,0003</b>	<b>Ct0</b>		<b>0,0018</b>	1,0000	<b>0,0009</b>	<b>0,0131</b>
<b>Ct10</b>			1,0000	<b>0,0036</b>	<b>0,0004</b>	<b>Ct10</b>			<b>0,0014</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>
<b>+N</b>				<b>0,0048</b>	<b>0,0006</b>	<b>+N</b>				<b>0,0011</b>	<b>0,0158</b>
<b>+P</b>					1,0000	<b>+P</b>					1,0000
<b>+NP</b>						<b>+NP</b>					