



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

DANIEL FERNANDES RODRIGUES BARROSO

**FLUXOS HIDROGEOQUÍMICOS EM ÁGUAS FLUVIAIS DE
MICROBACIAS DO NORDESTE PARAENSE E A SUA
RELAÇÃO COM O USO DA TERRA**

Belém-PA,
2011

DANIEL FERNANDES RODRIGUES BARROSO

**FLUXOS HIDROGEOQUÍMICOS EM ÁGUAS FLUVIAIS DE
MICROBACIAS DO NORDESTE PARAENSE E A SUA
RELAÇÃO COM O USO DA TERRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais- PPGCA, do Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Pará, convênio com a Embrapa Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como requisito à obtenção do título de mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmicas Sócio-Ambientais na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo

Belém-PA,
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

B277f Barroso, Daniel Fernandes Rodrigues

Fluxos hidrogeoquímicos em águas fluviais de microbacias do Nordeste paraense e a sua relação com o uso da terra / Daniel Fernandes Rodrigues Barroso; Orientador: Ricardo de Oliveira Figueiredo - 2011.

121fl.: il.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emílio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2011.

1.Hidrologia. 2. Hidrogeoquímica. 3. Microbacias. 4. Mudança de uso da terra 5. Nordeste paraense. I. Figueiredo, Ricardo de Oliveira, *orient.* II. Universidade Federal do Pará III. Título.

CDD 22° Ed 551.48098115.

DANIEL FERNANDES RODRIGUES BARROSO

**FLUXOS HIDROGEOQUÍMICOS EM ÁGUAS FLUVIAIS DE
MICROBACIAS DO NORDESTE PARAENSE E SUA
RELAÇÃO COM O USO DA TERRA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós -
Graduação em Ciências Ambientais- PPGCA, do
Instituto de Geociências, da Universidade
Federal do Pará, convênio com a Embrapa
Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio
Goeldi, como requisito à obtenção do título de
mestre em Ciências Ambientais.

Data de aprovação: ____/____/____

Conceito: _____

Banca Examinadora:

Prof. Ricardo de Oliveira Figueiredo - Orientador
Doutor em Ciências Ambientais
Embrapa Meio Ambiente

Prof. Pedro Gerhard - Membro interno
Doutor em Ecologia de Agroecossistema
Embrapa Amazônia Oriental

Prof. Edson José Paulino da Rocha - Membro interno
Doutor em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

Prof. Francisco de Assis Oliveira - Membro externo
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal Rural da Amazônia

Ao Professor Waterloo Napoleão de
Lima (*In Memoriam*)

Ofereço

A Deus, por ser fonte de inspiração e de
força incessantemente.

A minha Mãe Edileusa pelo apoio e
amor incondicional ao longo de toda
essa minha caminhada de estudante.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, em nome de seu filho Jesus Cristo, autor da minha fé, e que por meio d'Ele realizo mais este feito;

Ao meu Orientador Dr. Ricardo Figueiredo pelos ensinamentos, pela dedicação e, sobretudo pela amizade;

À UFPA, através do PPGCA pela oportunidade de estudo;

À Embrapa Amazônia Oriental, através do Projeto “ Gestabacias: Conservação de recursos naturais em mesobacias hidrográficas na Amazônia Oriental: iniciativas integradoras para promover o planejamento participativo da gestão ambiental no meio rural” e ao CNPq/CT-HIDRO através do projeto “Agricultura familiar e qualidade de água no Nordeste Paraense: Conservação de serviços agroecossistêmicos em escala de bacia hidrográfica” por todo apoio e suporte técnico, financeiro e logístico a esta pesquisa;

À Universidade Federal do Pará pela oportunidade de estudo;

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo;

À minha querida mãe Edileusa pelo apoio incondicional nesta caminhada;

Ao Dr. Steel Vasconcelos e sua esposa Lívia Vasconcelos pelo incentivo ao ingresso no mestrado;

Ao Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa pelo fornecimento dos mapas de uso da terra;

Ao Projeto Tipitamba, na pessoa do Dr. Kato, pelo apoio com a infraestrutura deste projeto;

À Camila, Fabíola, Izabela e Cristiane pela amizade e companheirismo nesta longa caminhada;

Ao Reginaldo Frazão pela amizade e pelo apoio no trabalho de campo;

Aos colegas de mestrado Gleyciano e Daniela pelos diversos momentos lazer e descontração;

À Dra. Juliana Felizzola e Kelly Fernandes pelo apoio nas análises estatísticas;

Ao Gustavo Pimentel e Rodrigo Oliveira pelo apoio na elaboração dos mapas de uso da terra;

À professora Lúcia Imbiriba, da Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão, pelo auxílio na instrumentação deste trabalho;

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos o meu muito obrigado!

RESUMO

O Nordeste Paraense é caracterizado por conter as mais antigas áreas de colonização da Amazônia, onde predomina a agricultura familiar itinerante de derruba e queima e também a pecuária bovina extensiva. A paisagem é fortemente marcada pela vegetação secundária em diversos estágios de sucessão e poucos remanescentes de floresta primária, a qual é geralmente localizada às margens de pequenos rios e igarapés. Nesse contexto, o presente estudo, conduzido em 14 microbacias no Nordeste Paraense sob diferentes usos e cobertura da terra e em quatro microbacias em áreas florestais sob baixo impacto antrópico, objetivou avaliar a hidrogeoquímica das águas fluviais para o embasamento da gestão de duas mesobacias hidrográficas nessa região. Foi detectado que a composição química das águas fluviais dos pequenos igarapés está sendo influenciada pelas práticas agrícolas adotadas em suas bacias de drenagem. Sinais hidrogeoquímicos diferenciados foram observados no caso das microbacias com presença de: sistema agrícola de derruba e queima; lavouras com irrigação e uso de agroquímicos; e pecuária bovina. Além disso, constatou-se a importância das microbacias florestadas para o aporte de nitrato, cloreto e sódio para os ecossistemas fluviais estudados. Adicionalmente verificou-se certa variação sazonal na hidrogeoquímica das águas fluviais e uma forte influência dos sistemas agropecuários, especialmente as pastagens, sobre os parâmetros físico-químicos mensurados, com redução da concentração de oxigênio dissolvido, e aumento da temperatura, do pH e da condutividade elétrica. Pelo presente estudo, pode-se inferir que a presença de mata ciliar é imprescindível para minimizar os impactos dos sistemas agrícolas nos recursos hídricos e deve ser apontada como uma ferramenta na gestão de bacias, assim como é recomendável a substituição de técnicas tradicionais que utilizam o fogo, por técnicas mais sustentáveis de produção agropecuária, como o plantio direto na capoeira. Por fim, sugere-se que dentre os parâmetros analisados, alguns podem ser recomendados, dependendo do uso da terra a ser focado, como indicadores de sustentabilidade ambiental dos sistemas agropecuários de produção para a gestão local de bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Hidrologia. Hidrogeoquímica. Microbacias. Mudança de uso da terra. Nordeste paraense.

ABSTRACT

The Northeast of Pará is characterized by the Amazonian old settlements, where the slash and burn small farming and large pastures are predominant. Its landscape is dominated by secondary vegetation at a widely succession stage and very few mature forest remnant, which are generally situated along the rivers and streams. In this context, the present study was conducted in fourteen small catchments under different land use and four other small catchments in forested areas under low anthropic impact, with the objective of evaluating the fluvial hydrogeochemistry to support two mesobasins management in the studied region. It was detected that the chemical composition of the evaluated small stream waters is being affected by the agriculture practices adopted in their drainage areas. Hydrogeochemical changing signals were observed for the small catchments where the predominant land uses are: slash-and-burn small farming; crops with irrigation and agrochemical; and cattle farming. Moreover, we observed the importance of the forested catchments for nitrate, chloride and sodium inputs to the studied stream ecosystems. In addition, it was verified a seasonal fluvial hydrogeochemistry variation and strong effects of agriculture systems, especially cattle farming, to the monitored physic-chemical parameters, as the dissolved oxygen concentration decrease, besides the increasing of temperature, pH and electric conductivity. By the results of the present research we can infer that riparian forest is indispensable to mitigate the impacts of the agriculture systems to the water resources, and should be pointed as an important tool in the watershed management, as well as the substitution of slash-and-burn for more sustainable agriculture practices as chop-and-mulching for instance. Finally, we suggest that some of the analyzed parameters can be recommended, according to the focused land use, as environment sustainable indicators of the agriculture systems along the local watershed management in the region.

Key words: Hidrology. Hidrogeochemistry. Small catchments. land use change. Northeast of Pará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Localização das mesobacias estudadas e suas respectivas numerações como alvos de pesquisa do Projeto Gestabacias. | 25 |
| Figura 2 - Mapa da mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua e localização das respectivas microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico. | 27 |
| Figura 3 - Mapa do assentamento Granja Marathon e as respectivas microbacias de referência selecionadas para o estudo hidrogeoquímico em São Francisco do Pará. | 28 |
| Figura 4 - Mapa da mesobacia do Igarapé Peripindeua e localização das respectivas microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico. | 29 |
| Figura 5 - Mapa da Fazenda São Marcos e suas respectivas microbacias de referência selecionadas para o estudo hidrogeoquímico em Capitão Poço. | 31 |
| Figura 6 - Mapas de uso e cobertura da terra das microbacias dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua em Marapanim e Igarapé-Açu e das microbacias de referência em São Francisco do Pará. | 35 |
| Figura 7 - Mapas de uso e ocupação da terra das microbacias do Igarapé Peripindeua em Mãe do Rio e Irituia e das microbacias de referência em Capitão Poço. | 39 |
| Figura 8 - Pontos de amostragem das microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico na bacia do Rio Marapanim. | 40 |
| Figura 9 - Pontos de amostragem das microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico na bacia do Rio Guamá. (Pode-se observar a ausência da mata ciliar na maioria desses igarapés.) | 41 |
| Figura 10 - Ilustração da medição da seção transversal do canal fluvial para o cálculo da vazão. | 42 |
| Figura 11 - Medição de profundidade e da velocidade da corrente em um igarapé com tubo (A) e esquema frontal de tubo com meia secção (B) para a determinação da vazão. | 43 |
| Figura 12 - Precipitação acumulada no período de 30 dias que antecedeu a medição de vazão nas mesobacias do rio Marapanim, segundo dados da Estação Pluviométrica da UFRA, e vazão nas microbacias avaliadas no período de outubro de 2009 a setembro de 2010. | 51 |
| Figura 13 - Precipitação acumulada no período de 30 dias que antecedeu a medição de vazão na mesobacia do Guamá, segundo dados da ANA, e vazão medida nas microbacias avaliadas no período de outubro de 2009 a setembro de 2010. | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 14 - Gráficos do tipo boxplot das vazões (Q) dos igarapés das microbacias de Marapanim, contendo: mediana (linha que corta a caixa), média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), e valores extremos (asterístico- outliers), n=12. | 53 |
| Figura 15 - Gráficos do tipo boxplot das vazões (Q) dos igarapés das microbacias de Guamá contendo: mediana (linha que corta a caixa), média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11). | 54 |
| Figura 16 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de pH das microbacias de Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 56 |
| Figura 17 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de pH das microbacias de Guamá , contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).... | 57 |
| Figura 18 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de CE das microbacias de Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 59 |
| Figura 19 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de CE das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).. | 60 |
| Figura 20 - Gráfico do tipo boxplot dos valores de OD das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 62 |
| Figura 21 - Presença de macrófitas no Igarapé Ubim (M6), devido a alta concentração de nutrientes como nitrogênio na forma de nitrato e fósforo na forma de fosfato. | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 22 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de OD das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).... | 64 |
| Figura 23 - Aspectos gerais dos igarapés G3 (A), G5 (B) e G6 (C), com destaque para a vegetação aquática nos pontos amostrados..... | 65 |
| Figura 24 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Temperatura (°C) das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 66 |
| Figura 25 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Temperatura (°C) das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11)..... | 67 |
| Figura 26 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Ca ²⁺ das microbacias do rio Marapanim, contendo mediana (linha contínua que corta a caixa), média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 68 |
| Figura 27 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Ca ²⁺ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).. | 70 |
| Figura 28 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Mg ²⁺ das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos -(asterístico- outliers), n=12..... | 72 |
| Figura 29 - Igarapé Ubim (M6) após sofrer uma queimada em sua margem, fato que pode ter contribuindo diretamente para aportes de cálcio, magnésio e potássio na água fluvial..... | 73 |

- Figura 30 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Mg^{2+} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11). 74
- Figura 31 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Na^{+} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... 76
- Figura 32 - Gráficos boxplot dos valores de Na^{+} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).. 77
- Figura 33 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de K^{+} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... 79
- Figura 34 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de K^{+} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e v valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11). 80
- Figura 35 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Cl^{-} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... 82
- Figura 36 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Cl^{-} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).. 83
- Figura 37 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de SO_4^{2-} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... 84

| | |
|---|----|
| Figura 38 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de SO_4^{2-} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11). | 85 |
| Figura 39 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NO_3^- das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 87 |
| Figura 40 - Microbacia M1 com sistema de lavoura irrigada consorciada de frutíferas e hortaliças (A) e embalagem de fertilizantes (B) encontrados durante as campanhas..... | 88 |
| Figura 41- Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NO_3^- das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11). | 89 |
| Figura 42 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de P-PO_4^{3-} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12..... | 90 |
| Figura 43 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de P-PO_4^{3-} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11). | 91 |
| Figura 44 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NH_4^+ das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), com n=12. | 93 |

Figura 45 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de $N_{NH_4^+}$ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).94

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| Tabela 1 - Código das microbacias, nome do igarapé, localização geográfica, área da microbacia e uso da terra predominante nas microbacias das áreas de estudadas. | 33 |
| Tabela 2 - Uso e cobertura da terra nas microbacias da bacia do Rio Marapanim: área da microbacia (ha) e percentual de área ocupada na microbacia. | 36 |
| Tabela 3 - Uso e cobertura da terra nas microbacias da Bacia do Rio Guamá: área da microbacia (ha) e percentual de área ocupada na microbacia. | 38 |
| Tabela 4 - Precipitação (P) mensal e total nas mesobacias estudadas nas bacias hidrográficas dos rios Marapanim (Buiúna-Timboteua e Inhangá) e Guamá (Peripindeua e Arauaí), onde estão localizadas as microbacias alvo deste estudo. Os dados de chuvas são de duas estações pluviométricas: uma na estação experimental localizada na latitude 01°12'S e longitude 47°36'W, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em Igarapé-Açu, e a outra na latitude -02° 25' 34'' S e longitude -47° 31' 58'' W, na Fazenda São Raimundo, em Ipixuna do Pará, da ANA. | 49 |
| Tabela 5 - Valores médios e erros-padrão da vazão e dos parâmetros físico-químicos medidos nos igarapés das microbacias avaliadas neste estudo. | 55 |
| Tabela 6 - Médias dos parâmetros físico-químicos e das concentrações de cátions e ânions nos períodos seco e chuvoso. Letras "a" e "b" representam diferenças significativa das médias para $p > 0,05$ pela análise de variância. | 58 |
| Tabela 7 - Concentração média e erro-padrão dos íons maiores: H^+ , Cálcio, Magnésio e sódio nos igarapés das microbacias avaliadas. | 71 |
| Tabela 8 - Concentração média e erro-padrão dos íons maiores - K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} nos igarapés das microbacias avaliadas. | 81 |
| Tabela 9 - Médias e erros padrão das concentrações de $N-NO_3^-$, $P-PO_4^{3-}$ e $N-NH_4^+$ nos igarapés das microbacias avaliadas. | 92 |
| Tabela 10 - Fluxo de massa anual ($kg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) dos íons maiores e menores medidos nos igarapés das microbacias avaliadas nas mesobacias do Timboteua/Buiúna e Peripindeua e das microbacias de referência. | 101 |

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| 1 INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 OBJETIVO | 23 |
| 2.1 GERAL | 23 |
| 2.2 ESPECÍFICOS | 23 |
| 3 MATERIAIS E MÉTODOS | 24 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MESOBACIAS | 24 |
| 3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROBACIAS | 32 |
| 3.3 HIDROLOGIA DAS MICROBACIAS | 42 |
| 3.4 HIDROGEOQUÍMICA DAS MICROBACIAS | 44 |
| 3.5 ESTIMATIVAS DE FLUXOS DE MASSA | 45 |
| 3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 46 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 48 |
| 4.1 HIDROLOGIA DAS MICROBACIAS | 48 |
| 4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS | 54 |
| 4.3 ÍONS INORGÂNICOS DISSOLVIDOS | 68 |
| 5 CONCLUSÕES..... | 103 |
| REFERÊNCIAS..... | 105 |
| ANEXO | 114 |
| ANEXO A - METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DA VAZÃO EM IGARAPÉ COM TUBO..... | 115 |
| APÊNDICES | 116 |
| APÊNDICE A - EQUIPAMENTOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO: (1) PHMETRO, (2) CONDUTÍVIMETRO, (3) OXÍMETRO, (4) CORRENTÔMETRO E (5) CROMATÓGRAFO..... | 117 |

| | |
|--|-----|
| APÊNDICE B - FOTOS DIVERSAS DAS CAMPANHAS: IGARAPÉ M6 (UBIM) APÓS SOFRER QUEIMADA EM SUA MARGEM (1), MEDIÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (2), PASTAGEM QUEIMADA PARA A RENOVAÇÃO (3), SISTEMA DE LAVOURA CONSORCIADA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO NO IGARAPÉ M1 (4), MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DE CORRENTE PARA A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO (5), IGARAPÉ COM VAZÃO REGULADA POR TUBO (6), COLETAS DE AMOSTRAS (7), EMBALAGEM DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS A BASE DE NPK E EMBALAGEM DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS UTILIZADOS EM LAVOURA NO IGARAPÉ M1 (8 E 9)..... | 118 |
| APÊNDICE C - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS MEDIDAS E AS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO MARAPANIM. | 119 |
| APÊNDICE D - MATRIZ DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN ENTRE AS VARIÁVEIS MEDIDAS E AS CLASSES DE USO E COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO GUAMÁ | 120 |

1 INTRODUÇÃO

O bioma amazônico é caracterizado por uma densa floresta tropical úmida que possui uma enorme biodiversidade, abundância de águas fluviais e muitas riquezas minerais no seu subsolo. Fearnside (2005) afirma que grande parte da floresta amazônica brasileira permaneceu praticamente intacta até o início da era “moderna” do desmatamento, que foi intensificado com a inauguração da rodovia Transamazônica, em 1970.

Atualmente a cobertura do solo na Amazônia é dominada por três tipos de paisagem¹: floresta primária, floresta secundária (capoeiras em diversos estágios de sucessão) e pastagem (SALIMON, 2003). Localizado na Amazônia oriental, a mesorregião denominada como Nordeste Paraense é caracterizada por atividades agropecuárias (MOREIRA, 2008), principalmente a agricultura itinerante de derruba e queima da vegetação secundária ou de pousio (localmente denominada como capoeira) e também pela formação de amplas pastagens. Watrin, Gerhard e Maciel (2009) analisaram a dinâmica do uso da terra e a configuração da paisagem em três microbacias hidrográficas no Nordeste Paraense em antigas áreas de colonização de base econômica familiar e concluíram que as áreas de floresta secundária em estágios sucessionais iniciais são mais representados em duas das três microbacias, e que as pastagens representam o padrão dominante de uso da terra em todas as três microbacias, com predominâncias da classe pasto sujo.

Estudos relatam que a destruição da floresta amazônica para a implantação de atividades agropecuárias tem alterado a ciclagem de nutrientes e de carbono na Amazônia, além de afetar a qualidade da água (DAVIDSON et al., 2004). Salimon (2003) alerta que a conversão de florestas em pastagens afeta os ciclos biogeoquímicos, fluxos de carbono para atmosfera, a biodiversidade terrestre e também a viabilidade social e econômica dos povos tradicionais das florestas. Segundo Luizão (2007), a perda da capacidade produtiva dos sistemas agropecuários da Amazônia tem levado ao abandono milhões de hectares, após poucos anos de uso do solo, e ao conseqüente desmatamento e uso de novas áreas de floresta.

É amplamente conhecido que a retirada da vegetação ripária e a mudança no uso da terra para a implantação dos sistemas agropecuários de produção pode alterar a qualidade das águas (TUNDISI; MATSUMURA-TUNDISI, 2010), pois influenciam diretamente nos processos hidrológicos e biogeoquímicos atuantes nos canais de drenagem (FIGUEIREDO,

¹ A abordagem geográfica da Ecologia da paisagem privilegia o estudo da influência antrópica sobre a paisagem e a gestão do território (MEZTGER, 2001).

2009b). A química natural das águas superficiais das bacias de drenagem tem sido de uma maneira geral bastante alterada por atividades antrópicas, quer sejam elas de caráter doméstico, agrícola (que é o foco da presente pesquisa) ou industrial (OLIVEIRA; VENDRAMINI; MORTATTI, 2009), mas o grau de impacto dessas alterações, sua amplitude geográfica e consequências para a saúde do planeta e das sociedades humanas ainda estão por ser avaliadas.

As alterações de origem antrópica na paisagem rural da Amazônia têm motivado discussões em vários segmentos da sociedade sobre a busca por estratégias sustentáveis de gerenciamento dos recursos naturais (solo, água, flora, fauna) e a recuperação de recursos degradados. Estratégias visando à gestão de recursos naturais, envolvendo tanto o uso racional dos recursos íntegros como a recuperação daqueles degradados, requer estudos de avaliação e monitoramento dos processos de ocupação da paisagem e de seus impactos ambientais e socioeconômicos. No entanto, ainda são poucos tais estudos integrados que possam subsidiar estratégias de gestão participativa de recursos naturais na Amazônia. Por sua vez, estudos conduzidos por Williams e Melack (1997) já indicavam os efeitos do desmatamento na hidroquímica de igarapés de pequenas bacias na Amazônia Central. Segundo Braga, Porto e Tucci (2006) a informação sobre a qualidade da água é necessária para que se conheça a situação dos corpos hídricos em relação as alterações humanas na bacia de drenagem e é uma ferramenta essencial para a gestão hídrica.

Recentemente, estudos ambientais e socioeconômicos no Nordeste Paraense conduzidos pela EMBRAPA e instituições parceiras, têm demonstrado impactos negativos do processo de ocupação da região sobre a sustentabilidade do uso da terra e a conservação de recursos naturais (KATO et al., 2004; LIMA et al., 2007; METZGER, 2002; ; ROSA, 2007; VIEIRA; TOLEDO; ALMEIDA, 2007; WATRIN; VENTURIERI; SAMPAIO, 1998). A incorporação de novas áreas para as atividades agropecuárias no Nordeste Paraense pressiona áreas de vegetação secundária, principalmente nos seus estágios iniciais de sucessão (METZGER, op.cit; WATRIN; VENTURIERI; SAMPAIO, op.cit). Como consequência, a introdução de atividades agropecuárias tem se expandido para áreas de florestas ripárias, resultando em redução da qualidade da água em microbacias hidrográficas nessa região (FIGUEIREDO, 2009a; FIGUEIREDO et al., 2006; ROSA, op.cit; VENTURIERI et al., 2005; WATRIN; MACIEL; THALÊS, 2007). Segundo Miller-Junior (2008) a atividade agrícola é uma importante fonte de poluição da água. Os sedimentos provenientes da erosão dos solos agrícolas e de sobrepastejo são citados por Miller-Junior (op.cit), juntamente com a contaminação por pesticidas e fertilizantes, como importante fonte de poluição hídrica. A

contribuição das atividades agropecuárias como fonte de nutrientes e poluentes para os igarapés pode ocorrer também, via escoamento superficial de água da chuva em solos de pastagens (TELES; DOMINGUES, 2006). Além da contaminação por nitrato, as atividades agrícolas são associadas a salinização da água superficial, eutrofização de corpos hídricos, contaminação por agrotóxicos nos compartimentos solo e água, e alterações dos padrões de erosão e sedimentação nas bacias (BRASIL, 2011).

A vegetação ripária influencia diretamente no processo de controle da erosão, na dinâmica de nutrientes relacionadas à interação entre ecossistemas terrestres e aquáticos, na conservação da qualidade da água e dos ecossistemas aquáticos (FIGUEIREDO, 2009a), e na produção de água para seu uso múltiplo. O desmatamento, por conseguinte, provoca uma série de alterações em processos bióticos e abióticos, como a diminuição nas taxas fotossintéticas e de evapotranspiração, esta última podendo modificar, as taxas de precipitação. Estas mudanças têm efeito direto sobre a resposta hidrológica de uma determinada bacia (FEARNSIDE, 2005), definida como a vazão normalizada pela magnitude da precipitação, correspondendo à produção de água nas bacias hidrográficas de uma determinada região (LINHARES; SOARES; BATISTA, 2005). Tais mudanças podem ocasionar também perda de produtividade do solo (LIMA, 2008), diminuição da biomassa acima e abaixo do solo (VITOUSEK, 1983) e perdas adicionais de nutrientes do solo para as águas dos igarapés e através da lixiviação para água subterrânea (VITOUSEK, op.cit; WICKEL, 2004). Entretanto, os nutrientes presentes em solução no solo (JOHNSON; COLE, 1980) podem ter diferentes destinos, sendo absorvidos tanto pela vegetação como pelos microrganismos e, dependendo do elemento, podem participar de diversas interações estritamente químicas. Buckman e Brady (1976) descrevem os processos químicos relacionados a essa dinâmica de nutrientes nos solos, tais como a capacidade de se ligarem à superfície das partículas de solo tanto pela simples atração eletrostática (troca catiônica) como por fortes reações de complexação (adsorção).

Existem, portanto, várias formas de perdas de nutrientes em solos sob diferentes formas de uso. A erosão hídrica é uma das formas em que ocorrem perdas de nutrientes, sendo necessário seu controle, pois muitas vezes, os nutrientes carregados são levados para os recursos hídricos e afetam qualidade da água fluvial (BERTOL et al., 2007; FONSECA, 2006). Segundo Santos et al. (2002), as perdas de nutrientes que estão contidos no sedimento transportado pelo escoamento superficial, além de representarem perda econômica para o produtor, são fontes de poluição ambiental. A erosão hídrica é causada por agentes erosivos, como a precipitação pluvial e o escoamento superficial, e consiste do desprendimento,

transporte e deposição de partículas do solo, e é acelerada pela ação antrópica (CASSOL, 2003; ELLISON, 1947; SCHAFER et al., 2001).

Segundo Vitousek (1983), o desmatamento provoca uma redução significativa do total de carbono e do estoque de nitrogênio em ecossistemas terrestres. Já o fósforo (P) e enxofre (S) são perdidos em menor escala. O fósforo (P) é perdido principalmente através da absorção pelos vegetais e pela erosão, e esta perda de P pela erosão em locais desmatados pode afetar negativamente os cursos d'água em trechos a jusante das áreas erodidas das bacias (VITOUSEK, op.cit). Outra forma de perda de fósforo é pelo processo do uso de fogo (DIAS-FILHO, 2011), no caso das pastagens que são queimadas para sua renovação ou no caso da queimada da vegetação para implantação de roças.

Dessa maneira, estudos conduzidos em escala de microbacias - áreas menores do que 5 km², segundo Moldan e Cerny (1994), são em geral eficazes para avaliação de impactos ambientais sobre os solos decorrentes de atividades madeireiras (RANZINI; LIMA, 2002) e de outras atividades antrópicas, como as atividades agropecuárias. Por serem sistemas contidos em geral em bacias de áreas menores que 10 km², segundo Richey et al. (1997) os igarapés (riachos amazônicos), são indicados para essas avaliações na Região Amazônica. É esperado que, como consequência das mudanças de uso da terra na região, esses cursos d'água recebam cargas adicionais de sedimentos e nutrientes transportados por meio dos diferentes caminhos hidrológicos, como o “throughfall²”, a lixiviação em solos e o escoamento superficial.

Os principais íons inorgânicos dissolvidos presentes nas águas fluviais são os íons denominados como "maiores" – cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺), sódio (Na⁺), potássio (K⁺), sulfato (SO₄²⁻), cloreto (Cl⁻) e bicarbonato (HCO₃⁻) - e os chamados "menores" - nitrato (NO₃⁻), nitrito (NO₂⁻), amônia (NH₄⁺) e fosfato (PO₄³⁻). A composição química das águas fluviais depende de fatores ambientais como a geologia, a topografia, a vegetação e o clima, e de fatores antrópicos como o desmatamento, a agropecuária, a construção de estradas e barragens, dentre outros.

Estudos conduzidos por Ranzini e Lima (2002) avaliaram a qualidade da água de precipitação e de deflúvio em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus* no Vale do Paraíba, em São Paulo. Os resultados mostraram que as concentrações médias anuais de NH₄⁺, NO₃⁻ e PO₄⁻³ na água da chuva são superiores às concentrações destes nutrientes na água do deflúvio, enquanto que as concentrações médias do K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺ nas águas dos

² Throughfall é o caminho hidrológico onde a água passa através do dossel da floresta e neste momento, a água carrega consigo nutrientes presentes nas folhas e outras partes das plantas.

deflúvios mostram-se superiores às da precipitação. Tal fato ilustra o enriquecimento dos cátions citados (exceto NH_4^+) nas águas dos rios em função das interações da água de chuva com a área terrestre da bacia estudada, neste caso uma área de reflorestamento. Estes resultados explicitam que a composição química das águas fluviais é proveniente de fatores naturais e antrópicos.

Por outro lado, medidas de variáveis físico-químicas na água fluvial como condutividade elétrica, pH e oxigênio dissolvido, também refletem os processos biogeoquímicos atuantes no ecossistema. Tratam-se de parâmetros da hidrobiogeoquímica fluvial intrinsecamente ligados aos processos hidrológicos e biogeoquímicos que ocorrem tanto no ambiente terrestre como no aquático das bacias. Markewitz et al. (2001) exemplificaram que os fluxos de nutrientes podem ser alterados devido as atividades antrópicas em ecossistemas amazônicos, seja pelo desmatamento, pela queima de florestas, ou por atividades agropecuárias. Além disso, os nutrientes que ciclam nestes ecossistemas terrestres e eventualmente alcançam os recursos hídricos, sejam subterrâneos ou superficiais, possuem grande importância para a biota aquática e para a qualidade destas águas e seu uso múltiplo (NEILL et al., 2001). Somados a isto, fatores climáticos como a precipitação, a evapotranspiração, a temperatura, dentre outros influenciam diretamente para a composição química das águas superficiais, através de processo de diluição, concentração ou aumento da solubilidade (FENZL, 1986). Dessa forma, a composição iônica das águas naturais reflete de alguma forma as condições climáticas de uma região (FENZL, op.cit).

Lopes et al. (2007) estudaram a ciclagem de nutrientes (Cl^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , N e P) em floresta de encosta na Amazônia Central. As maiores concentrações encontradas no Igarapé Bolívia na Reserva Florestal Adolfo Ducke, no município de Manaus foram os íons cloreto, sódio e magnésio, enquanto que os demais nutrientes estudados apresentaram em menor concentração. Dentre os que apresentaram as menores concentrações, o fósforo foi o apresentou a menor concentração. Nesse estudo, pelo fato de se tratar de uma área natural, os autores encontraram um funcionamento hidrológico em equilíbrio. No entanto, eles ressaltam a preocupação da expansão urbana sobre aquela área florestal.

Ao estudarem os efeitos da mudança do uso da terra nos igarapés da bacia do Rio Ji-Paraná em Rondônia, Krusche et al. (2005), classificaram os rios em três categorias de acordo com o grau de antropização e o conteúdo iônico dessas águas: rios com águas pobres em íons e baixo impacto; rios com conteúdo iônico intermediário e impacto médio; e rios com elevado conteúdo iônico e impacto antropogênico. Neste estudo foi concluído que os efeitos das mudanças no uso do solo ainda não são detectáveis na macro-escala, mas já podem ser

detectáveis na meso e micro escala. Figueiredo (2007) analisou os efeitos do uso da terra sobre os processos hidrológicos e hidrogeoquímicos em um igarapé na bacia do Cumarú, em Igarapé-Açu, Nordeste Paraense, que sofre influência de agricultura com queima, e observou que os maiores íons transferidos do solo para o igarapé foram cálcio e magnésio. Além da transferência de nutrientes e sedimentos para os igarapés, Uhl, Bezerra e Martini (1997) citam o uso do fogo para preparo de área para fins agropecuários, como uma ameaça para a biodiversidade, uma vez que o fogo pode escapar e prejudicar severamente as florestas. Neill et al. (2006), afirmam que a magnitude das alterações nos córregos provenientes do desmatamento da floresta podem estar alterando os fluxos hidrológicos e biogeoquímicos ao longo de vários quilômetros de rios de 1ª e 2ª ordem na Amazônia.

Além disso, deve-se ressaltar que os rios estão entre os ecossistemas mais dinâmicos e notáveis da terra e tem como uma de suas funções o transporte de água. Eles também são encarregados de transportar partículas advindas dos solos das bacias para o mar (RZÓSKA, 1980³ apud RICHEY, 1983). Nesse contexto, os rios são importantes para a ciclagem de elementos que extrapolam seus canais e bacias, sendo de grande importância no fluxo de elementos para, através de, e para fora desses sistemas, nas escalas local, regional e global (RICHEY, op.cit).

As alterações na hidrogeoquímica fluvial causadas pelas atividades agropecuárias no Nordeste Paraense são problemas que precisam ser monitorados e se constituem objeto do presente estudo. Nesse sentido, o problema de pesquisa consiste em responder a seguinte questão: quais as alterações na química da água fluvial decorrentes dos diferentes sistemas agropecuários adotados na região Nordeste Paraense? A principal hipótese aqui levantada é que os sistemas agrícolas praticados na região estão alterando em graus diferenciados os fluxos hidrogeoquímicos de cursos d'água de baixa ordem no Nordeste Paraense.

³ RZÓSKA, J. On the nature of Rivers: with case stories of Nile, Zaire and Amazon. The Hague: Dr. W. Junk, 1978, 67p.

2 OBJETIVO

2.1 GERAL

Caracterizar a hidrogeoquímica de águas fluviais em microbacias do Nordeste Paraense e avaliar sua relação com o uso da terra, com ênfase nos principais sistemas de produção agropecuários praticados na região, para o embasamento da gestão de duas mesobacias hidrográficas no Nordeste Paraense.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Medir in situ os parâmetros físico-químicos - pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido - nas águas fluviais das microbacias estudadas;
2. Determinar a variação da composição química das águas fluviais nas diferentes microbacias estudadas, em termos dos principais íons inorgânicos dissolvidos - Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ e PO_4^{3-} ;
3. Analisar a variação temporal dos parâmetros hidrogeoquímicos medidos nas águas fluviais das microbacias estudadas, considerando os períodos seco e chuvoso;
4. Estimar os fluxos hidrogeoquímicos dos íons dissolvidos mensurados, nas águas fluviais das microbacias estudadas.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

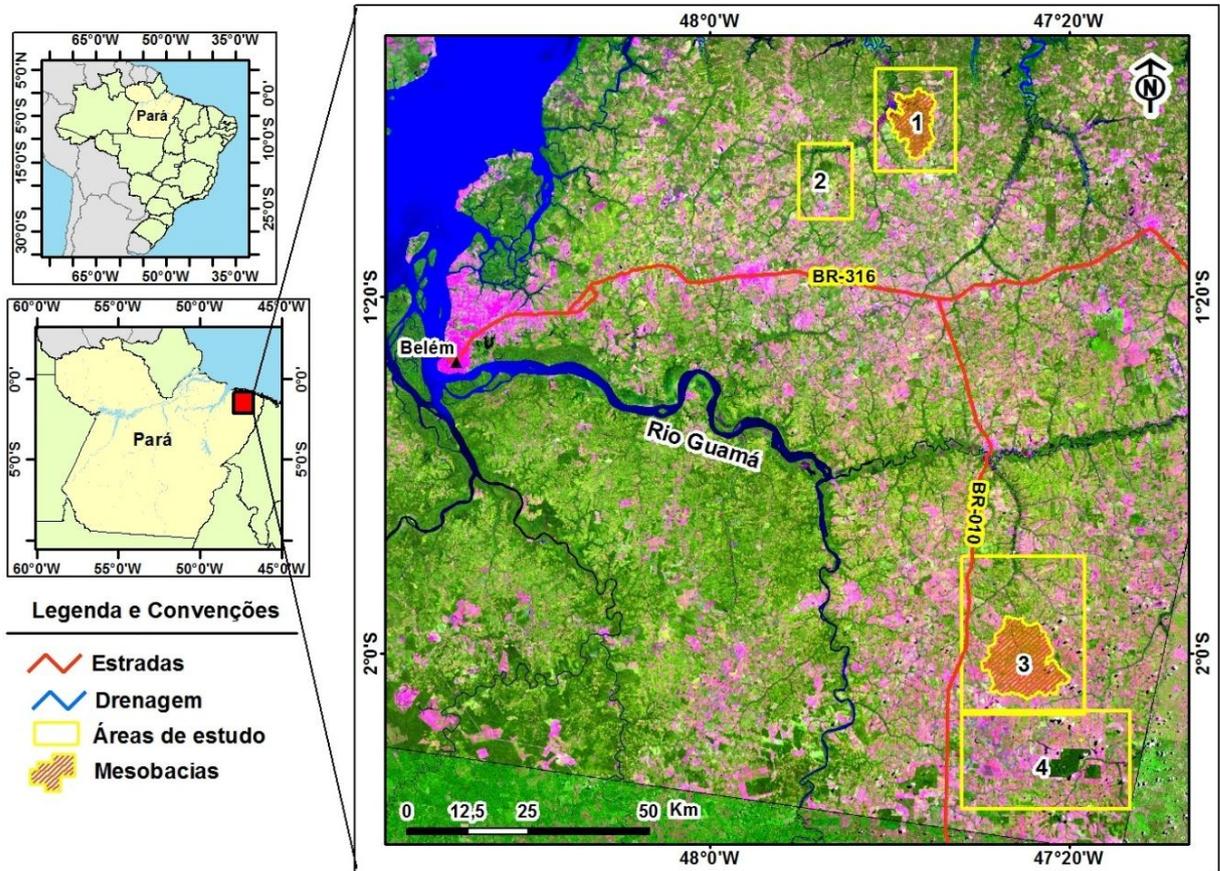
Nesse item encontra-se descrito a localização e características da área de estudo, a caracterização específica das microbacias avaliadas, os procedimentos metodológicos de campo e de laboratório adotados, a análise estatística dos dados gerados e o cálculo do fluxo de massa de componentes da hidrogeoquímica fluvial.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS MESOBACIAS

A localização da área de estudo no Nordeste Paraense pode ser observada na Figura 1. As mesobacias dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua e do Igarapé Peripindeua são o foco central das ações do Projeto Gestabacias, cujas pesquisas visam balizar a gestão dos recursos naturais nessas duas áreas. A primeira é denominada como a Área 1 deste Projeto e ocupa área dos municípios de Marapanim e Igarapé-Açú. A segunda foi denominada como Área 3 e ocupa áreas dos municípios de Irituia e Mãe do Rio. Por outro lado, como áreas de referência para comparação das alterações encontradas nas mesobacias avaliadas foram definidas as áreas 2 e 4, que apresentam florestas relativamente preservadas e localizam-se respectivamente nos municípios de São Francisco do Pará e Capitão-Poço.

O presente estudo, por sua vez, foi realizado mais especificamente em dezoito microbacias localizadas nessas quatro áreas do Projeto Gestabacias. Nove dessas microbacias situam-se na bacia do Rio Marapanim, sendo que sete localizam-se na área da mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua (Área 1), e as outras duas microbacias pertencem a mesobacia do Rio Inhaga (Área 2). As demais nove microbacias encontram-se na bacia do Rio Guamá, sendo que sete localizam-se na área da mesobacia do Igarapé Peripindeua (Área 3), enquanto que as outras duas microbacias pertencem a mesobacia do Rio Arauá (Área 4).

Figura 1 - Localização⁴ das mesobacias estudadas e suas respectivas numerações como alvos de pesquisa do Projeto Gestabacias.



As mesobacias dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua (Área 2), tributários da margem esquerda do rio Marapanim, localizam-se ao sul do município de Marapanim e se constituem em uma pequena parcela do território do município de Igarapé-Açu. O município de Marapanim integra a Microrregião do Salgado e, assim como o município de Igarapé-Açu, que pertence a Microrregião Bragantina, são antigas áreas de colonização da Amazônia (SÁ et al., 2007; KATO et al., 2004).

A bacia hidrográfica do Rio Marapanim é bastante ampla, se estende ao norte com o Oceano Atlântico, ao sul com os municípios de São Francisco do Pará e Igarapé-Açu, a leste com os de Maracanã e Magalhães Barata e a oeste com os de Curuçá e Terra Alta (PARÁ, 2011a), tomando a direção Sul-Norte, vertendo suas águas para a Baía de Marapanim. A bacia do Rio Marapanim recebe, dentre outras, a contribuição hídrica das bacias dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua, que formam uma das mesobacias objeto deste estudo.

A porção continental é recoberta, em sua generalidade, pelos sedimentos definidos como do Terciário da Formação Barreiras (arenitos, argilitos, silto-ferrosos), e por sedimentos

⁴ Ilustração elaborada pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

apontados como recentes, que se constituem das amplas várzeas da bacia do Rio Marapanim (PARÁ, 2011a)

As principais classes de solos identificadas nesta mesobacia foram: o Gleissolo Háptico Tb alumínico, com textura argilosa/muito argilosa; o Latossolo Amarelo Distrófico típico, com textura média; e o Argissolo Amarelo Distrófico típico, com textura arenosa/argilosa (SILVA, et al, 2010).

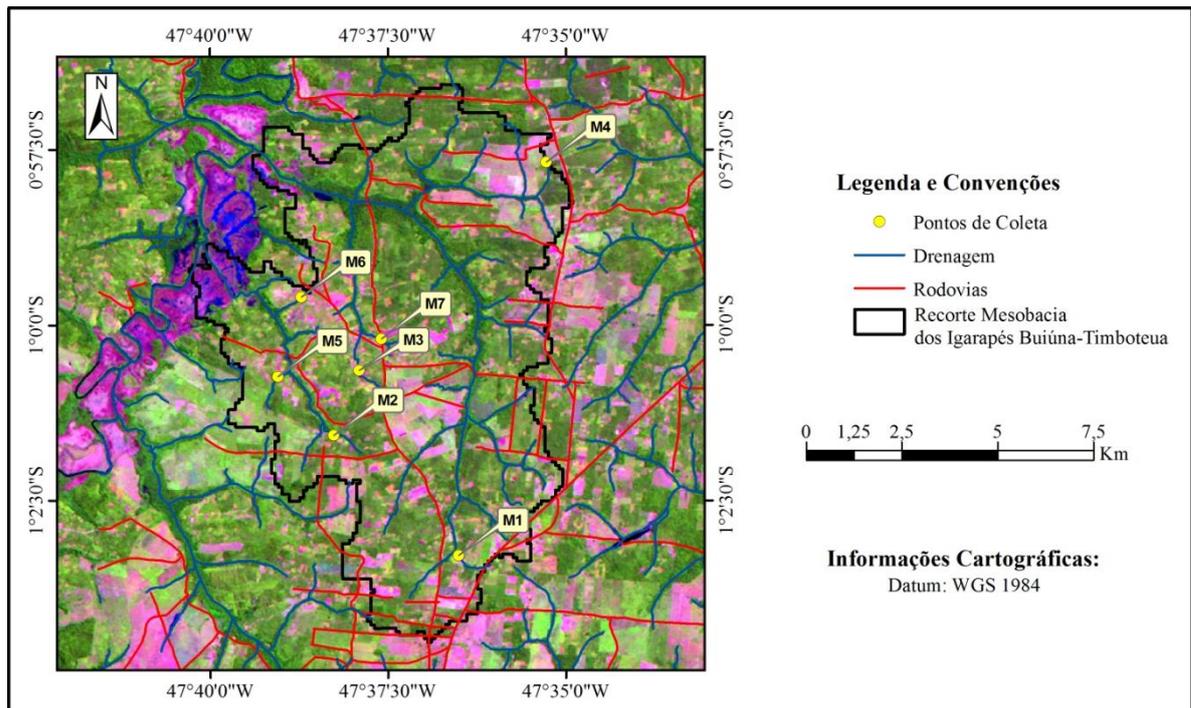
O clima do Município inclui-se no equatorial Afi, da classificação de Köppen, com temperatura média anual de 27°C, sendo dezembro o mês mais quente. A precipitação anual é relativamente elevada, com cerca de 2.700 mm (PARÁ, 2011a).

A sua vegetação é caracterizada pelos remanescentes da Mata Latifoliada, geralmente localizada nas margens rios e igarapés, Capoeiras e Manguezais nas porções com interpenetração de água salgada (PARÁ, 2011a).

Em termos agrícolas, segundo o relatório “Estatística Municipal” (PARÁ, 2011a), o município produzia em 1997 vários cultivos agrícolas temporários como arroz, feijão, mandioca, melancia e milho numa área de 3.342 ha. Já em 2009, essas mesmas culturas eram cultivadas em 2.120 ha. No mesmo período, as culturas permanentes como coco, banana, laranja, maracujá e pimenta-do-reino, que em 1997 eram cultivadas em uma área total de 595 ha, tiveram em 2009 essa área reduzida para 400 ha. Por sua vez, o total de rebanho bovino, suíno e bubalino em 1997 era de 4.858 cabeças, e foi contabilizado em 2009 como de 4.138 cabeças.

Com área aproximada de 8.756,00 ha, a mesobacia dos igarapés Buiúna e Timboteua no ano de 2008 encontrava-se distribuída, segundo OLIVEIRA *et al.* (2010), em classes de uso e cobertura da terra da seguinte maneira: floresta antropizada com 605,45 ha (6,2%); capoeira em vários estágios de sucessão com 5.105,67 ha (58,37 %); Campos Aluviais com 191,90 ha (2,19%); solo sob preparo com 136,24 (1,56%); Pasto limpo com 1.259,21 ha (14,4%); Pasto sujo com 1.357,8 ha (15,52%); cultura agrícola com 41,41 ha (0,47%); e corpos d’água com 58,61 ha (0,57%). O mapa da mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua, assim como a localização de suas sete microbacias avaliadas neste estudo, encontra-se na Figura 2.

Figura 2 - Mapa⁵ da mesobacia dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua e localização das respectivas microbacias selecionadas para o estudo hidrogeológico.

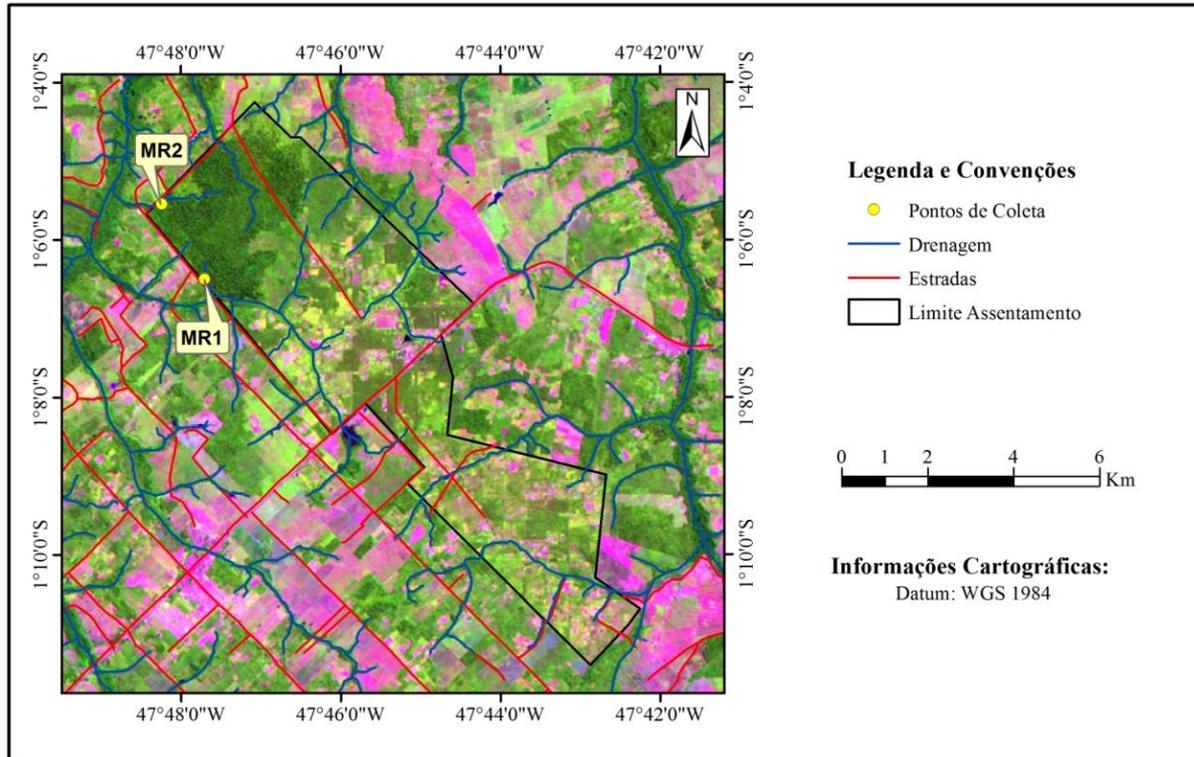


Fonte: LSR- Embrapa Amazônia Oriental (2011).

As duas microbacias de referência da bacia do Marapanim, pertencem a mesobacia do Inhanga, localizam-se no município de São Francisco do Pará, e cortam uma área de assentamento de agricultores familiares chamada Granja Marathon (figura 3). O principal acidente hidrográfico do município de São Francisco do Pará é o tributário direito do Rio Marapanim (PARÁ, 2011b). Este recebe como afluente direito o Rio Inhanga. De modo similar à Marapanim, a estrutura geológica do município é formada por sedimentos terciários representados pela formação Barreiras.

⁵ Mapa elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

Figura 3 - Mapa⁶ do assentamento Granja Marathon e as respectivas microbacias de referência selecionadas para o estudo hidrogeoquímico em São Francisco do Pará.



O município de São Francisco do Pará segue as características de toda a microrregião Bragantina. Suas cotas topográficas atingem, em média, variações entre 20 a 35 metros, constituindo uma extensa superfície (PARÁ, 2011b).

Os solos da região, denominada como Microrregião Bragantina, são representados predominantemente por Latossolos Amarelo textura média, Hidromórficos Indiscriminados e Solos Aluviais (PARÁ, 2011b).

Por estar próxima à Área 1, o clima do Município apresenta as características similares, sendo do tipo Am, da classificação de Köppen. Divide-se em duas estações, uma chuvosa no período de dezembro e maio e a outra, menos chuvosa, que vai de junho e novembro. A precipitação média está em torno dos 2.200 mm anuais; a temperatura do ar varia entre 29°C e 31°C, sendo a média anual em torno de 26°C; a umidade relativa do ar encontra-se por volta de 78% a 93% (PARÁ, 2011b).

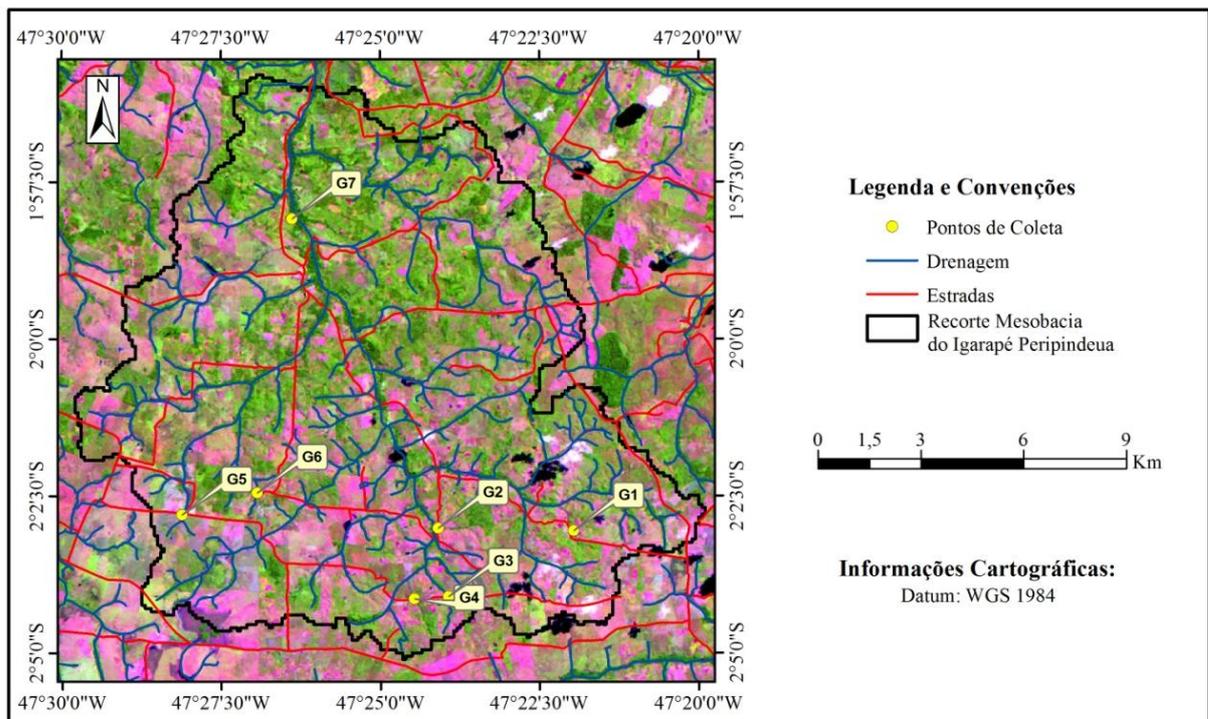
A cobertura vegetal predominante é de Floresta Secundária, que substituiu a antiga cobertura original de Floresta Densa do baixo platô, da qual restam poucos e esparsos remanescentes, devido ao intenso processo de desmatamento, ocorrido no Município para o

⁶ Mapa elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

plântio de espécies agrícolas de subsistência (milho, arroz, feijão e mandioca). Ao longo dos cursos d'água encontram-se, ainda, algumas matas ciliares preservadas (PARÁ, 2011b).

Por outro lado, a mesobacia do Igarapé Peripindeua (figura 4), Área 3 do Projeto Gestabacias, situa-se nos municípios de Mãe do Rio e Irituia, e pertence à chamada Microrregião Guamá. Os acidentes hidrográficos mais importantes destes municípios são os rios Mãe do Rio e Irituia, afluentes da margem esquerda do Rio Guamá. A mesobacia do Igarapé Peripindeua, alvo do presente estudo, refere-se a área drenada por tributário da margem direita do Rio Irituia.

Figura 4 - Mapa⁷ da mesobacia do Igarapé Peripindeua e localização das respectivas microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico.



A geologia do Município é representada por sedimentos Terciários da Formação Barreiras (arenitos, argilitos, coalinicos e siltitos) e do Quaternário Subatual e Recente (areias, siltos, argilas e cascalhos) (PARÁ, 2011d).

A cota topográfica do município de Mãe do Rio é bastante variável, sendo 110 m a cota mais elevada ao norte do município e 25 m a menor cota na sede municipal. Em Irituia, segundo a SEPOF-PA (PARÁ, 2011d), a topografia apresenta-se moderadamente plana, embora um pouco mais elevada do que a verificada na maioria dos seus municípios limítrofes.

⁷ Mapa elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

Na área do município, há referência de cota de 120 metros, a sudeste da sede Municipal, onde tem 40 metros.

As principais classes de solos identificadas na mesobacia do Igarapé Peripindeua foram o Latossolo Amarelo Distrófico típico, com textura média e o Argissolo Amarelo Distrófico típico, com textura arenosa/ argilosa (SILVA *et al.*, 2010). Segundo Oliveira *et al* (2011), a classe Latossolo Amarelo cobre cerca de 75% da área total da bacia.

Os climas dos municípios de Mãe do Rio e Irituia inserem-se na categoria de megatérmico e úmido. A temperatura média anual é elevada, em torno de 25°C. Seu regime pluviométrico fica geralmente entre 2.250 mm/ano e 2.500 mm/ano. As chuvas não se distribuem igualmente durante o ano, sendo de janeiro a junho sua maior concentração (cerca de 80% de chuva anual), implicando grandes excedentes hídricos e, conseqüentemente, grandes escoamentos superficiais e cheias dos rios no primeiro semestre. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (PARÁ, 2011c).

A vegetação predominante nesses municípios é a Floresta Equatorial Latifoliada, representada pelos subtipos Floresta Densa dos platôs, Densa dos terraços e Floresta Aluvial. A quase totalidade das matas primárias foi substituída devido à ação do desmatamento para a formação de pastos e subsequente surgimento de Florestas Secundárias, as chamadas capoeiras (PARÁ, 2011c).

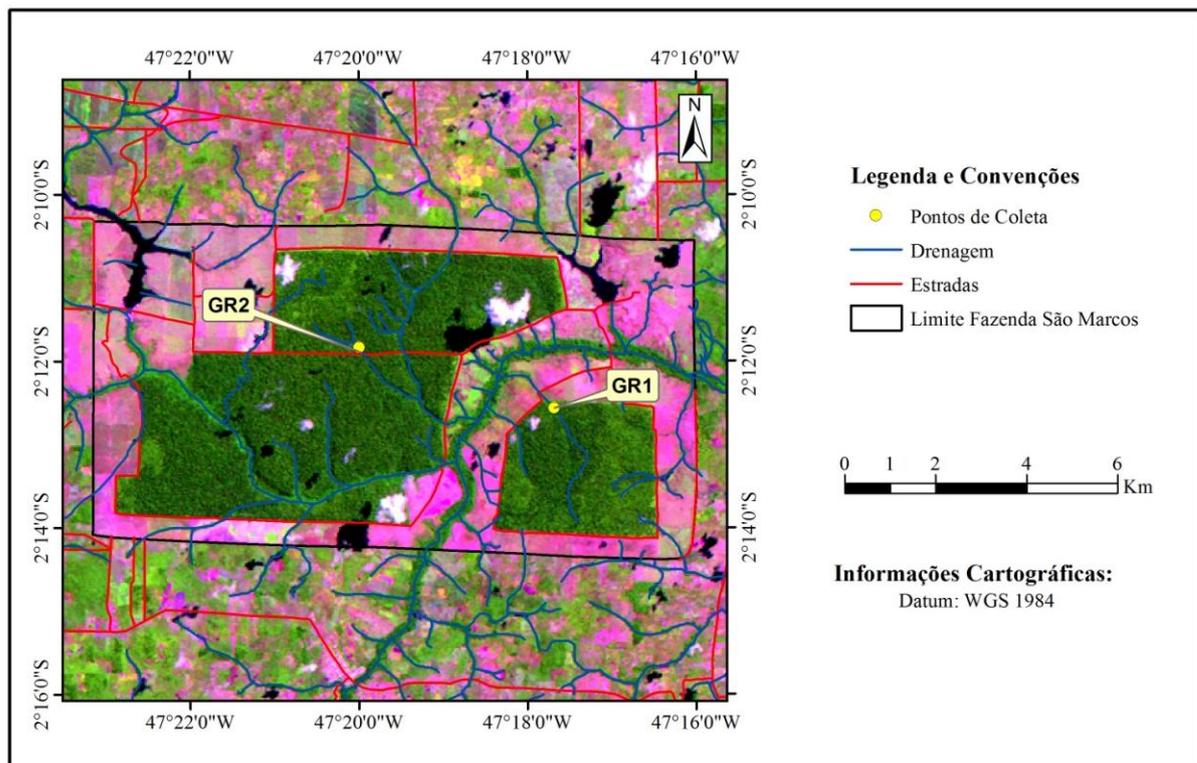
Em termos agropecuários, o município de Mãe do Rio destaca-se como produtor de lavouras temporárias (arroz, feijão, malva, melancia, mandioca e milho) em uma área de 4.640 ha e culturas permanentes (banana, coco, laranja, mamão, maracujá e pimenta-do-reino) em uma área de 275 ha, segundo dados do ano de 2009. Na pecuária, destaca-se a criação de gado bovino, que em 1997 era de 26.500 cabeças e no ano de 2009 saltou para 67.120 cabeças (PARÁ, 2011c), um aumento de mais 150% em pouco mais de 10 anos. Em 1997, o município de Irituia produzia as seguintes culturas temporárias: arroz, feijão, malva, mandioca, melancia e milho numa área de 6.879 ha. Mas em 2009 essas mesmas culturas, somando-se ao cultivo de abacaxi, eram cultivadas em apenas 1.022 ha. As culturas permanentes eram em 1997: banana, café, coco, laranja, maracujá e pimenta-do-reino em 290 ha. Mas em 2009 essas mesmas culturas, além de cacau, limão e mamão, eram produzidas em apenas 248 ha. Em termos de pecuária, o município destaca-se principalmente como criador de bovinos, que em 1997 eram 40.440 cabeças e saltou para 71.801 cabeças em 2009 (PARÁ, 2011d).

Com aproximadamente 15.000 hectares (GERHARD; CONDE, 2011), os usos e cobertura da terra na mesobacia do Igarapé Peripindeua, no ano de 2008, estavam divididos,

de acordo com Oliveira et al. (2010) em: 464,09 ha (2,4%) de floresta antropizada; 7.113,26 ha (36,65 %) de floresta secundária (capoeira em vários estágios de sucessão); solo sob preparo com 486,41ha (2,52%); 32,99 ha (0,17%) de pasto limpo; 2.977,89 ha (15,41%) de pasto sujo; cultura agrícola com 8.075,86 ha (41,8%); 25,30 ha (0,13%) de corpos d'água. O mapa da mesobacia do Igarapé Peripindeua, assim como a localização de suas sete microbacias avaliadas neste estudo, encontra-se na figura 4.

Para o Rio Guamá, converge toda a trama de pequenos rios e igarapés que se inserem no município de Capitão Poço. Na direção sudoeste/nordeste, há a mesobacia do Igarapé Arauaí que tem como afluentes os igarapés de duas microbacias de referências estudadas neste trabalho (no tocante à Bacia do Guamá) e localizadas em dois fragmentos florestais em bom estado de conservação na Fazenda São Marcos (Figura 5).

Figura 5 - Mapa⁸ da Fazenda São Marcos e suas respectivas microbacias de referência selecionadas para o estudo hidrogeológico em Capitão Poço.



A área do município de Capitão Poço é constituída, geologicamente, por sedimentos definidos como do Terciário Barreira e do Quaternário. Possui, ainda, áreas com rochas cristalinas do Grupo Gurupi na curva do rio Guamá, no limite com o Município de Ourém. Também ocorrem restos de sedimentos considerados como do Cretáceo. A topografia,

⁸ Mapa elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

embora modesta, apresenta na sede municipal cerca de 40 metros de altitude, devido às formas de relevo existentes (PARA, 2011e).

O município de Capitão Poço apresenta o clima mesotérmico e úmido. A precipitação pluviométrica fica, geralmente, próximo a 2.250 mm anuais e temperatura média anual em torno de 25°C. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (PARA, 2011e).

Na sua extensão, existe a predominância de solos com horizontes B Latossólicos, caracterizados pelos seguintes tipos: Latossolo Amarelo, textura média; Latossolo Amarelo Cascalhento, textura média; solos Concrecionários Lateríticos; Areias Quartzosas; e Latossolos Amarelo, textura argilosa (PARÁ, 2011e).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS MICROBACIAS

Para a análise das características ambientais das áreas estudadas, as duas mesobacias correspondentes às áreas 1 e 3 foram segmentadas em microbacias pela equipe do Projeto Gestabacias, com a utilização da ferramenta SWAT2000 (DI LUZIO et al., 2002), tendo como base a hidrografia digitalizada de cartas topográficas em escala 1:100.000. Esta delimitação foi baseada em um Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDT) determinado a partir de dados da Shuttle Radar Topography Mission - SRTM (EROS/USGS, 2008). As análises foram feitas de modo a produzir microbacias com áreas entre dezenas e poucas centenas de hectares (entre 20-350 hectares). O predomínio de uma classe de uso da terra foi determinado a partir da inspeção visual de limite das microbacias sobreposto a composições coloridas (baseadas em imagens de Satélite Landsat, sensor TM, RGB345) sobre as áreas das mesobacias, além da checagem de campo.

A seleção das microbacias para avaliação pelo presente estudo ocorreu no período de junho a agosto de 2009 (COSTA, 2010). Durante as campanhas de campo para realização desta seleção de microbacias, os seguintes aspectos foram observados: o acesso para facilitar a logística dos trabalhos de campo e características físicas do ambiente como a área de drenagem de cada microbacia, os usos da terra predominante em cada uma delas e a análise preliminar de parâmetros físico-químicos (temperatura, pH, Oxigênio dissolvido e condutividade elétrica) nas águas desses riachos para avaliar as respostas dos igarapés às mudanças de uso da terra.

Baseados nos critérios descritos acima foram selecionadas 14 microbacias nas áreas 1 e 3 com diversos usos agropecuários e mais quatro microbacias nas áreas 2 e 4. As

microbacias pertencentes à Marapanim (áreas 1 e 2) receberam os códigos de M1 a M7 (na mesobacia dos igarapés Buiúna e Timboteua) e as referências foram codificadas como MR1 e MR2 (na Granja Marathon). Já as microbacias do Guamá (áreas 3 e 4) foram codificadas de G1 a G7 (na mesobacia do Igarapé Peripindeua) e as referências receberam os códigos GR1 e GR2 (na Fazenda São Marcos). A localização, área e outras características destas microbacias selecionadas para o presente estudo podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Código das microbacias, nome do igarapé, localização geográfica, área da microbacia e uso da terra predominante nas microbacias das áreas de estudadas.

| Código das microbacias | Igarapé | Latitude | Longitude | Área (ha) | Uso da terra predominante |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------------------------|
| M1 | Sem nome | 01°03'16.19"S | 47°36'30.86"W | 37,55 | Agropecuária |
| M2 | Buiúna | 01°01'30.20"S | 47°38'22.95"W | 42,49 | Agropecuária |
| M3 | Pachibá | 01°00'24.20"S | 47°37'58.08"W | 63,79 | Agropecuária |
| M4 | Pirapema | 00°57'40.61"S | 47°35'15.86"W | 48,67 | Agropecuária |
| M5 | Breu | 01°00'44.32"S | 47°39'01.82"W | 113,80 | Agropecuária |
| M6 | Ubim | 00°59'36.08"S | 47°38'42.59"W | 29,61 | Agropecuária |
| M7 | Passagem | 01°00'11.79"S | 47°37'35.23"W | 140,72 | Agropecuária |
| MR1 | Sem nome | 01°06'31,12"S | 47°47'43,33"W | 21,76 | Floresta |
| MR2 | Sem nome | 01°05'34,48"S | 47°48'20,57"W | 105,75 | Floresta |
| G1 | Seringa | 02°03'03,62"S | 47°21'57,11"W | 59,42 | Agropecuária |
| G2 | Tributário do Areia | 02°03'00,76"S | 47°24'04,97"W | 113,81 | Agropecuária |
| G3 | Divisa | 02°04'06,25"S | 47°23'55,30"W | 63,79 | Agropecuária |
| G4 | Areia | 02°04'08,41"S | 47°24'27,55"W | 114,15 | Agropecuária |
| G5 | Muquém | 02°02'48,15"S | 47°28'06,62"W | 149,16 | Agropecuária |
| G6 | Chico Lopes | 02°02'26,98"S | 47°26'55,56"W | 33,78 | Agropecuária |
| G7 | Puraquê | 01°58'05,47"S | 47°26'22,83"W | 29,79 | Agropecuária |
| GR1 | Golpe | 02°12'33,77"S | 47°17'40,81"W | 334,47 | Floresta |
| GR2 | Água Fria | 02°11'53,66"S | 47°19'57,29"W | 229,35 | Floresta |

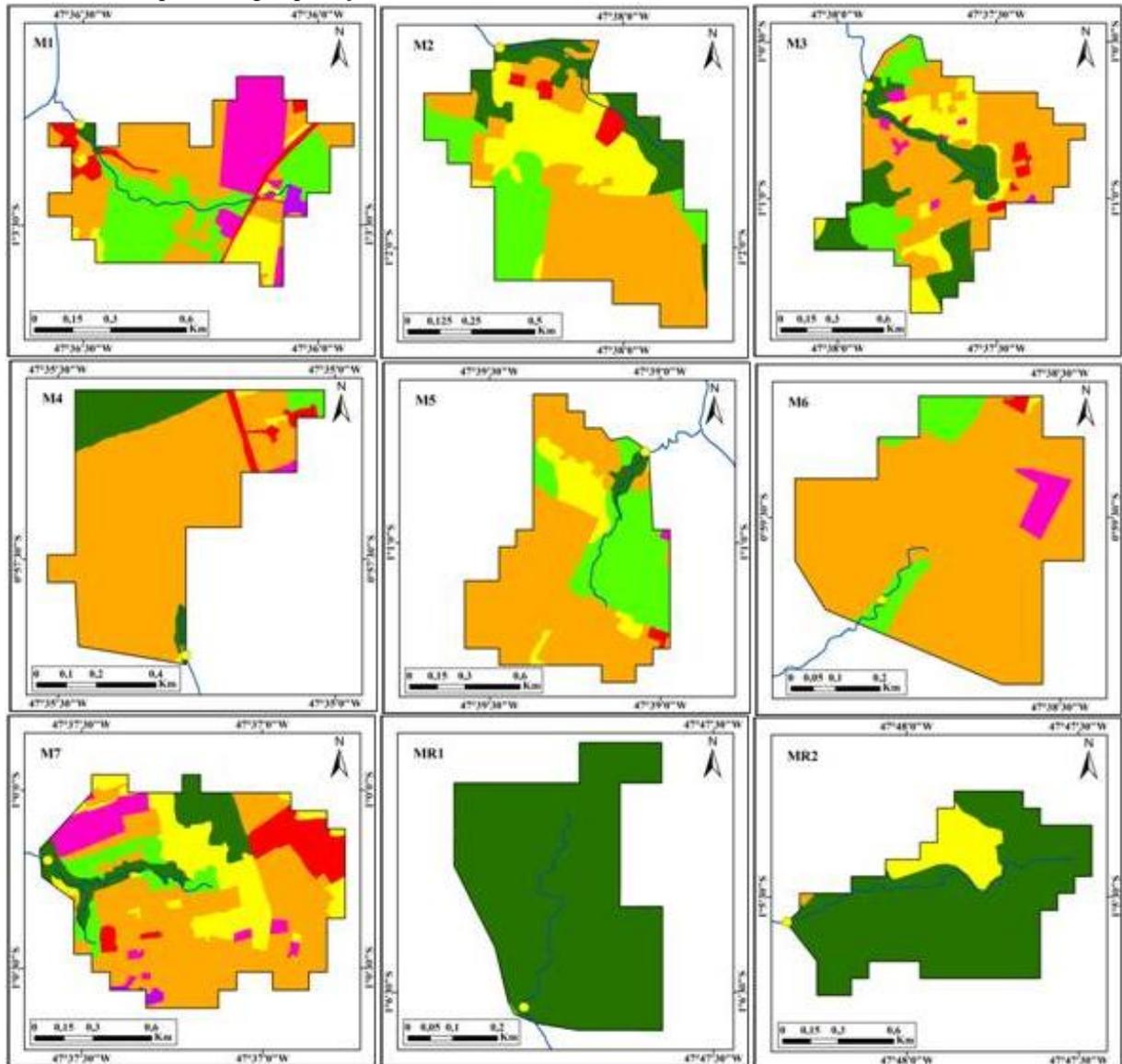
Fonte: Do autor.

A elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra das microbacias, assim como a quantificação das áreas ocupadas por cada classe de uso, foi realizada por uma equipe do Laboratório de Sensoriamento Remoto da EMBRAPA Amazônia Oriental. Esses mapas foram feitos a partir de imagens de satélite SPOT de 5,0 m (alta resolução), exceto para as duas microbacias de referência GR1 e GR2, onde foram utilizadas imagens do Satélite ALOS com resolução de 2,5 metros.

As microbacias pertencentes ao rio Marapanim foram categorizadas nas seguintes classes de uso e cobertura: floresta; pastagem, capoeira alta; capoeira baixa, cultura agrícola, solo exposto e habitações (tabela 2). A figura 6 mostra os mapas temáticos, de uso e ocupação do solo de cada microbacia. Vale ressaltar que a classificação dessas microbacias foi baseada em imagens do ano de 2008 e que este estudo iniciou em outubro de 2009 e, portanto, a paisagem pode ter sofrido pequenas mudanças neste intervalo de tempo.

Com quase 38 ha, a M1 caracteriza-se por ser ocupada predominantemente por pastagem, com 35,9 % da área da microbacia, enquanto que capoeira alta e capoeira baixa somam 36,84%, cultura agrícola corresponde a 19,06%, e floresta apenas a 1,01%. A microbacia M2 possui 76,75 ha e é ocupada principalmente por pastagem (com 44,64% ou 34,26 ha), seguida por 21,76% de capoeira baixa, 17,21% de capoeira alta e 13,99% de floresta. Com uma área de 127,57 ha, a M3 é também principalmente ocupada por pastagem, com 49,99% da área da microbacia, seguida de 21,54% de floresta, 24,60% de capoeira alta e capoeira baixa e apenas 1,73% de área agrícola. A M4 é uma microbacia ocupada primordialmente por pastagem, a qual está presente em mais de 81% de sua área, enquanto que a floresta corresponde a 12,76%. A M5 tem uma área total de 113,80 ha e é ocupada por pastagem (60,59%), capoeira alta (26,50%), capoeira baixa (9,51%), floresta (2,55%) e cultura agrícola (0,23%). A M6 possui 29,61 ha e sua área é ocupada principalmente por pastagem (88,3 %), capoeira alta (7,59%) e cultura agrícola (3,39%). Na M7, assim como nas demais microbacias, a pastagem predomina e ocupa 47,42% da área total da bacia, também ocupada por floresta (11,84%) e capoeira alta (6,89%). O uso e ocupação do solo nessas microbacias seguem a mesma tendência de outras microbacias já estudadas na mesma região, onde predominam áreas de pasto em detrimento das áreas de floresta, conforme demonstraram Watrin, Gerhard e Maciel (2010). Por sua vez, nas microbacias de referência predomina floresta: 99,98% na MR1 e 86,62% na MR2, a qual possui 13,04% de capoeira baixa.

Figura 6 - Mapas⁹ de uso e cobertura da terra das microbacias dos igarapés contíguos Buiúna e Timboteua em Marapanim e Igarapé-Açu e das microbacias de referência em São Francisco do Pará.



Legenda

| | | |
|--|--|---|
|  Capoeira Alta |  Floresta Antropizada |  Pastagem |
|  Capoeira Baixa |  Habitacoes |  Solo Exposto |
|  Cultura Agricola |  Nuvem |  Vegetacao de Várzea |

Convenções Cartográficas

| |
|--|
|  Pontos de Coleta |
|  Drenagem |

⁹ Mapa de uso e cobertura da terra das microbacias avaliadas na bacia do rio Marapanim elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

Tabela 2 - Uso e cobertura da terra nas microbacias da bacia do Rio Marapanim: área da microbacia (ha) e percentual de área ocupada na microbacia.

| Categoria | MICROBACIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------|------------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|
| | M1 | | M2 | | M3 | | M4 | | M5 | | M6 | | M7 | | MR1 | | MR2 | |
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Floresta | 0,59 | 1,01 | 10,74 | 13,99 | 27,48 | 21,54 | 6,21 | 12,76 | 2,90 | 2,55 | 0,00 | 0,00 | 16,67 | 11,84 | 21,74 | 99,89 | 91,78 | 86,62 |
| Pastagem | 21,03 | 35,90 | 34,26 | 44,64 | 63,78 | 49,99 | 39,7 | 81,58 | 68,95 | 60,59 | 26,14 | 88,3 | 66,73 | 47,42 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 |
| Capoeira alta | 16,73 | 28,56 | 13,21 | 17,21 | 12,21 | 9,57 | 0,86 | 1,76 | 30,15 | 26,50 | 2,25 | 7,59 | 9,69 | 6,89 | 0,02 | 0,10 | 0,00 | 0,00 |
| Capoeira baixa | 4,85 | 8,28 | 16,7 | 21,76 | 19,18 | 15,03 | 0,33 | 0,69 | 10,83 | 9,51 | 0,06 | 0,22 | 24,92 | 17,71 | 0,00 | 0,00 | 13,82 | 13,04 |
| Cultura agrícola | 11,17 | 19,06 | 0,00 | 0,00 | 2,2 | 1,73 | 0,23 | 0,46 | 0,26 | 0,23 | 1,01 | 3,39 | 9,93 | 7,06 | 0,00 | 0,00 | 0,34 | 0,32 |
| Solo exposto | 3,38 | 5,76 | 1,85 | 2,40 | 2,50 | 1,95 | 1,34 | 2,74 | 0,71 | 0,62 | 0,15 | 0,49 | 11,98 | 8,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Habitações | 0,84 | 1,42 | 0,00 | 0,00 | 0,23 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,80 | 0,56 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 37,55 | 100,00 | 42,49 | 100,00 | 63,79 | 100,00 | 48,67 | 100,00 | 113,80 | 100,00 | 29,61 | 100,00 | 140,72 | 100,00 | 21,76 | 100,00 | 105,75 | 100,00 |

Fonte: Do autor

Por sua vez, as microbacias do Guamá Marapanim foram categorizadas nas seguintes classes de uso e cobertura: floresta, pastagem, capoeira alta, capoeira baixa, vegetação de várzea, cultura agrícola, solo exposto e habitações (tabela 3). A figura 7 mostra o uso e ocupação da terra nessas microbacias, ressaltando que as imagens utilizadas são de 2008, ano anterior ao início deste estudo, portanto, a paisagem pode ter sofrido pequenas mudanças neste intervalo de tempo.

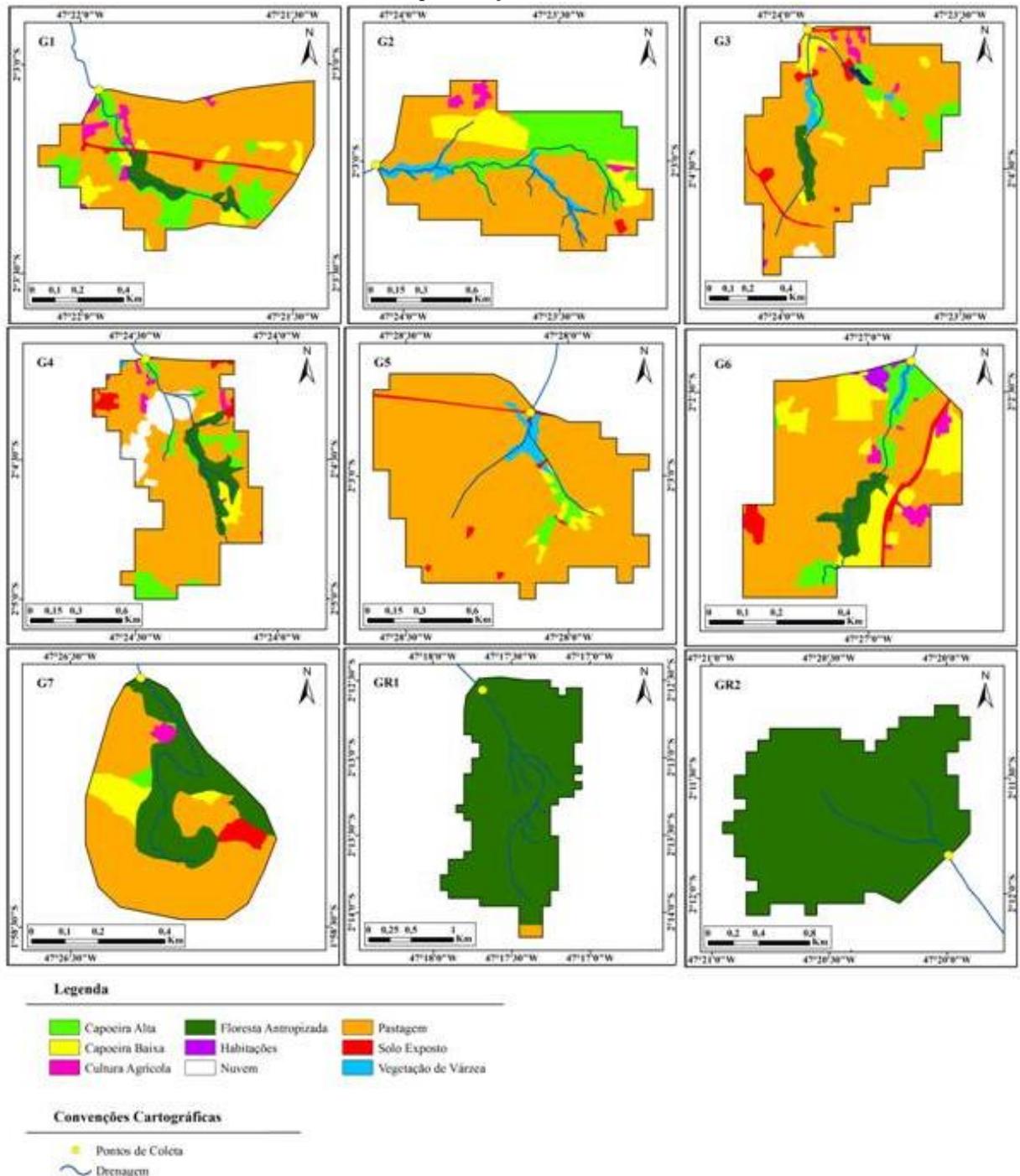
A microbacia G1 possui uma área de 59,42 ha e a pastagem predomina como cobertura da terra com 69% de sua área total, seguida pela capoeira alta (14,59%), capoeira baixa (12,28%) e cultura agrícola (2,82%). A G2 possui uma área de 113,81 ha que está ocupada por pastagem com 61,25%, capoeira alta com 21,04% e capoeira baixa com 10,79%. Na G3, há predominância de pastagem em mais de 81% de sua área, enquanto capoeiras alta e baixa somam 8,35% nessa microbacia. Na G4, a porcentagem de pastagem chega a pouco mais de 68%, capoeira alta 8,07%, e floresta 8,05%. A G5 caracteriza-se por conter 92,56% de pastagem. A G6 é ocupada por pastagem em 61,71% de sua área, por capoeiras alta e baixa em 24,34%, e por floresta em 5,38%. Já a G7 é ocupada por pastagem em 56,49% e por floresta em 32,15%. As microbacias de referência, por outro lado, tem 98,78% e 100,00% de floresta em GR1 e GR2, respectivamente.

Tabela 3 - Uso e cobertura da terra nas microbacias da Bacia do Rio Guamá: área da microbacia (ha) e percentual de área ocupada na microbacia.

| Categoria | MICROBACIA | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | G1 | | G2 | | G3 | | G4 | | G5 | | G6 | | G7 | | GR1 | | GR2 | |
| | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Floresta | 2,89 | 4,87 | 0,00 | 0,00 | 2,38 | 2,67 | 9,18 | 8,05 | 0,00 | 0,00 | 1,84 | 5,38 | 9,16 | 32,15 | 330,4 | 98,78 | 229,35 | 100,00 |
| Pastagem | 41,53 | 69,00 | 69,71 | 61,25 | 73,01 | 81,84 | 77,72 | 68,08 | 138,06 | 92,56 | 21,12 | 61,71 | 16,1 | 56,49 | 4,07 | 1,22 | 0,00 | 0,00 |
| Capoeira alta | 8,67 | 14,59 | 23,95 | 21,04 | 4,13 | 4,62 | 9,20 | 8,07 | 3,16 | 2,12 | 2,62 | 7,66 | 0,32 | 1,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Capoeira baixa | 3,30 | 5,55 | 12,28 | 10,79 | 3,33 | 3,73 | 2,72 | 2,39 | 2,70 | 1,81 | 5,71 | 16,68 | 1,81 | 6,34 | 0,00 | 0,000 | 0,00 | 0,00 |
| Cultura agrícola Solo exposto | 1,67 | 2,82 | 2,23 | 1,96 | 1,34 | 1,50 | 1,73 | 1,51 | 0,00 | 0,00 | 0,88 | 2,57 | 0,32 | 1,14 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Mata de várzea | 0,0 | 0,0 | 5,17 | 4,55 | 1,3 | 1,46 | 0,15 | 0,13 | 3,16 | 2,12 | 0,33 | 0,98 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Habitacões | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,08 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,44 | 1,29 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Água | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,42 | 0,48 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Nuvens | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,79 | 0,89 | 10,64 | 9,33 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 59,42 | 100,00 | 113,81 | 100 | 89,21 | 100,00 | 114,15 | 100,00 | 149,16 | 100,00 | 33,78 | 100,00 | 29,79 | 100,00 | 334,47 | 100,00 | 229,35 | 100,00 |

Fonte: Do autor

Figura 7 - Mapas¹⁰ de uso e ocupação da terra das microbacias do Igarapé Peripindeua em Mãe do Rio e Irituia e das microbacias de referência em Capitão Poço.



Os aspectos gerais dos pontos de amostragem de águas fluviais nas microbacias selecionadas são ilustrados nas figuras 8 e 9. Pode-se observar que nos igarapés das microbacias relativas à mesobacia Buiúna-Timboteua (figura 8), apesar do predomínio do uso

¹⁰ Mapas de uso e cobertura da terra das microbacias avaliadas na bacia do rio Guamá elaborado pelo Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

agrícola familiar como observado em campo, ainda apresentam floresta ripária em muitos de seus trechos. Por outro lado, os igarapés das microbacias da mesobacia do Peripindeua (figura 9), onde no campo observou-se predomínio de amplas pastagens, apresentam em geral ausência de floresta ripária.

Vale salientar, por fim, duas coisas: 1) Nenhuma dessas microbacias sofre efeito de maré; 2) A rede fluvial nessa região estudada apresenta fragmentação decorrente de uma malha viária sem planejamento, que provoca alagados, conforme reportado por Gerhard e Conde (2011). Aliás, tais alagados podem afetar de maneira significativa a biota aquática (GERHARD; CONDE, 2011) e a hidrogeoquímica fluvial (FIGUEIREDO *et al.*, 2010).

Figura 8 - Pontos de amostragem das microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico na bacia do Rio Marapanim.



Fonte: Do autor.

Figura 9 - Pontos de amostragem das microbacias selecionadas para o estudo hidrogeoquímico na bacia do Rio Guamá. (Pode-se observar a ausência da mata ciliar na maioria desses igarapés.)



Fonte: Do autor

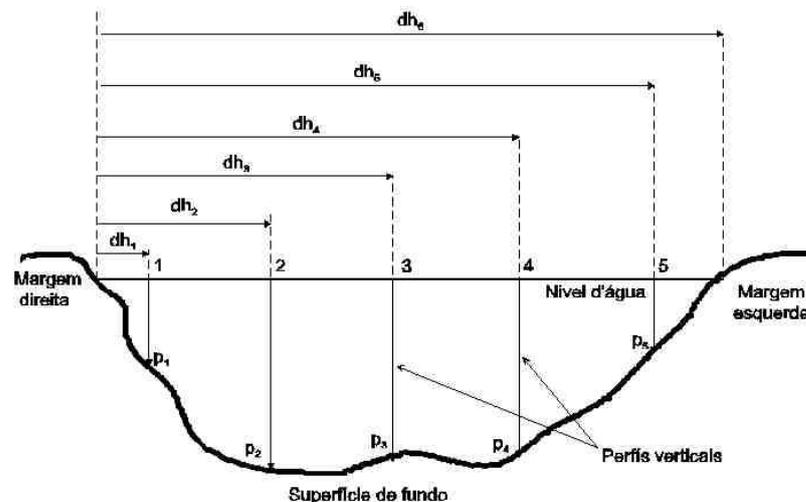
Os dados de precipitação apresentados no presente trabalho são oriundos de duas estações meteorológicas. A primeira estação fica localizada no município de Igarapé-Açu, no Campus Experimental da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA (latitude $01^{\circ}12'S$, longitude $47^{\circ}36'W$). Os dados pluviométricos dessa estação foram utilizados para as avaliações das nove microbacias pertencentes à bacia do Rio Marapanim. A segunda estação meteorológica fica localizada na fazenda São Raimundo, em Nova Ipixuna (Latitude: $02^{\circ} 25' 34'' S$ e Longitude: $47^{\circ} 31' 58'' W$), e pertencem a Agência Nacional de Águas- ANA, sendo que seus dados pluviométricos foram utilizados para as avaliações das microbacias pertencentes à bacia do Rio Guamá.

3.3 HIDROLOGIA DAS MICROBACIAS

- **Vazão**

As medidas hidrológicas para cálculo de vazão foram realizadas mensalmente a cada campanha de campo. A medida da velocidade da corrente foi realizada utilizando um correntômetro digital da marca Global Water, modelo FP201. Dois métodos distintos foram usados para estimativa da vazão dos igarapés, dependendo das seguintes características relacionadas ao represamento de sua corrente, a saber: 1) canal fluvial livre; 2) canal fluvial represado com vazão regulada por tubo. O método em canal livre consiste na divisão do canal em subsecções para medição da profundidade, largura e a velocidade em cada uma delas (BAPTISTA; SPERLING, 2007), conforme ilustrado na figura 10. A batimetria dos igarapés para a medida de profundidade foi tomada a cada 50 cm, desde uma a outra margem do canal fluvial. Em cada subsecção foi calculada a área da seção molhada e a vazão. A vazão total em cada secção foi tomada pela somatória das subsecções. Os perfis verticais de cada igarapé foram desenhados em papel milimetrado tamanho A2 para facilitar o cálculo de área de cada subsecção do perímetro molhado. O cálculo da vazão foi realizado através da equação $Q=A*V*1000$, Onde: Q é a vazão em $L\ s^{-1}$; A é a área da secção transversal em m^2 ; e V é a velocidade da corrente em $m\ s^{-1}$, conforme Correa (2008).

Figura 10 - Ilustração da medição da seção transversal do canal fluvial para o cálculo da vazão.



Fonte: Correa (2008).

O método para canal com vazão regulada por tubo consiste em calcular a vazão em meia seção de um tubo, conforme o manual do correntômetro Global Water disponível no item 1.3 (GLOBAL WATER, 2004). Utilizam-se as variáveis: diâmetro do tubo (D) e altura da lâmina d'água (H). A razão entre a altura da lâmina d'água (H) e o diâmetro do tubo (D) é igual a B (coluna B), conforme equação I. O Valor de B é igual ao um valor qualquer de C (Coluna C). O valor de C é multiplicado pelo quadrado do diâmetro para encontrar a área do perímetro molhado, conforme equação II. De posse da área, multiplica-se pela velocidade da corrente ($m s^{-1}$) para encontrar a vazão em $L s^{-1}$ (equação III).

$$I- H/D=B \rightarrow C$$

$$II- A=C*D^2$$

$$III- Q= A*V*1000$$

onde:

H- altura da lâmina d'água (m);

D- diâmetro do tubo (m);

A- área da seção molhada (m^2);

V- velocidade da corrente ($m s^{-1}$);

Q- vazão ($L s^{-1}$);

B e C- são valores tabelados, descritos no manual do correntômetro (AnexoA) (GLOBAL WATER, 2004) .

1000 é o fator de conversão de unidade de $m^3 s^{-1}$ para $L s^{-1}$.

Figura 11 - Medição de profundidade e da velocidade da corrente em um igarapé com tubo (A) e esquema frontal de tubo com meia seção (B) para a determinação da vazão.



Fonte: (A) Do autor e (B) ROSA (2007).

3.4 HIDROGEOQUÍMICA DAS MICROBACIAS

- **Procedimentos de campo**

As campanhas de campo foram realizadas mensalmente no período de outubro de 2009 a setembro de 2010, perfazendo doze medições de parâmetros físico-químicos e doze coletas de amostras de água fluvial em cada ponto de amostragem relativos aos dezoito igarapés das microbacias avaliadas.

A medição do pH foi realizada in situ através do método potenciométrico, usando-se aparelho digital (eletrodo combinado de vidro e calomelano, com correção de temperatura para 25°C, da marca ORION, modelo 290 A plus). A calibração foi realizada previamente imergindo o eletrodo de vidro em soluções-tampão de pH 4, 5 e 7, conforme CETESB (1978).

O método aplicado para a verificação da condutividade elétrica (CE) foi o condutivimétrico (CETESB, op.cit), com o medidor de condutividade VWR® (modelo 2052), o qual realiza compensação de temperatura automaticamente.

Para a medição de OD foi utilizado o oxímetro YSI® 55, que por meio de uma sonda polarográfica de compensação automática de temperatura, permite a quantificação da concentração de oxigênio dissolvido com elevada precisão. Com o mesmo equipamento a temperatura foi medida na profundidade de 20-25 cm, a mesma profundidade adotada para a imersão dos sensores dos demais medidores de parâmetros físico-químicos (pH, CE e OD).

As coletas de água fluvial para análise dos cátions - cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), sódio (Na^+), potássio (K^+) e amônia (NH_4^+) - e dos ânions - cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) e fosfato (PO_4^{-3}) - foram realizadas por meio da imersão, a 20-25 cm da coluna d'água, de frascos de polipropileno de boca larga (capacidade de 250 mL), previamente lavados com solução ácida (HCl 10%) e água deionizada ultra-pura (Milli-Q). Estes frascos foram totalmente preenchidos com amostras de água dos igarapés visando minimizar a presença de ar no interior da garrafa e, em seguida, conservados sob refrigeração até o momento das análises laboratoriais (CETESB, op.cit).

- **Procedimentos de Laboratório**

Após cada coleta, as amostras eram trazidas ao Laboratório de Ecofisiologia da EMBRAPA Amazônia Oriental, em Belém (PA) onde eram filtradas através de membranas de policarbonato (diâmetro do poro = 0,4 µm; diâmetro da membrana = 47 mm; marca Millipore) em kit de filtração de polipropileno (Sterifil Aseptic System, da Millipore), utilizando uma bomba a vácuo livre de óleo lubrificante (marca Gast), sendo estocadas a 4°C em refrigerador até as análises no cromatógrafo iônico (Dionex DX-120, acoplado ao amostrador automático Dionex AS-40). Neste equipamento, as espécies químicas após interação com coluna analítica específica (Ion Pac AS 22, para ânions, e Ion Pac CS 12, para cátions) foram medidas por um detector de condutividade.

3.5 ESTIMATIVAS DE FLUXOS DE MASSA

O cálculo dos fluxos hidrogeoquímicos de cada microbacia estudada foi realizado a partir dos dados de concentração de íons dissolvidos e de vazão obtidos. Considerou-se a vazão e a concentração constantes para cada campanha desde o período de 15 dias que a antecedeu até a campanha seguinte, totalizando cerca 30 dias de mesma concentração para fins desta estimativa. Os fluxos de massa mensais foram então calculados segundo a equação IV, abaixo.

$$F_m = (C * Q * 86.400 * T) / 10^6 \quad (IV)$$

Onde:

F_m = é fluxo de massa em kg mês⁻¹;

C = Concentração em mg L⁻¹;

Q = vazão em L s⁻¹;

T = tempo em dias.

86.400 é o fator de conversão de unidades de segundo para dia

10⁶ é o fator de conversão de unidades (mg mês⁻¹ para kg mês⁻¹)

O fluxo de massa anual em kg ha⁻¹ ano¹ foi extrapolado para um ano, somando-se os fluxos hidrogeoquímicos mensais e, normalizado por área de um hectare, dividindo-se pela área total da microbacia.

3.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados coletados foram analisados estatisticamente, obtendo-se os diversos componentes da estatística descritiva (média, desvio-padrão, erro-padrão, mediana, máximos, mínimos e etc.), utilizando o programa computacional Systat 11. Este mesmo programa estatístico foi utilizado para aplicação do teste de normalidade. Foi aplicado o teste de Shapiro-Wilk ($\rho > 0,05$). O teste de normalidade foi aplicado com os dados agrupados por cada bacia (Guamá e Marapanim). Os dados que apresentaram distribuição não normal foram transformados para logaritmo natural e novamente foram submetidos ao teste de normalidade.

Os dados hidrológicos e hidrogeoquímicos também foram agrupados por microbacia e realizado o teste de normalidade. As variáveis com distribuição normal foram submetidas a correlação de Pearson e as demais com distribuição não normal foram submetidas a correlação de Spearman, para verificar a correlação entre as variáveis em cada microbacia. Dessa maneira, para os dados de precipitação e a vazão foi aplicada a correlação de Spearman ($p \leq 0,05$). A análise foi feita separadamente para cada microbacia e foram testadas várias situações para verificar qual a que tinha maior correlação entre essas duas variáveis.

A vazão foi testada em relação a sua correlação com a precipitação acumulada em diferentes períodos: dois meses, um mês, duas semanas, uma semana, 48 horas e 24 horas antes da medida de vazão, mas os gráficos de correlação entre precipitação e vazão foram feitas para a precipitação acumulada de 30 dias antes da medição da vazão para as duas bacias (Marapanim e Guamá).

Para a composição dos gráficos foram utilizados o programa Microsoft Excel 2007 para os gráficos de correlação entre vazão e precipitação, e o programa Minitab 14 para os gráficos tipo boxplot.

Os parâmetros físico-químicos e a concentração de íons dissolvidos foram também analisados temporalmente para cada bacia (Marapanim e Guamá), considerando os dois períodos sazonais: seco e chuvoso. Para verificar a significância das diferenças das médias dos dois períodos sazonais foi aplicado o teste de variância Kruskal Wallis para dados não-paramétricos. Foram considerados significantes $\rho < 0,05$ pelo teste Mann-Whitney, utilizando o programa Systat 11.

Por fim, para verificação da relação entre a hidrogeoquímica fluvial e o uso e cobertura da terra nas microbacias foi aplicada correlação de Spearman, onde as variáveis

hidrogeoquímicas foram correlacionadas com os percentuais de uso e cobertura da terra nas microbacias de drenagens. Além disso, todas as variáveis mensuradas neste estudo foram igualmente correlacionadas em nível de microbacia para verificar a interferência entre elas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados coletados por meio das medidas de campo e dos procedimentos laboratoriais, e posterior análise estatística, são apresentados a seguir os resultados obtidos e discutidas as implicações dos mesmos em relação aos objetivos desta pesquisa.

4.1 HIDROLOGIA DAS MICROBACIAS

- **Precipitação e Vazão**

A tabela 4 mostra o total de chuva mensal e anual durante o período de estudo nas mesobacias abordadas neste estudo pertencentes às bacias dos rios Marapanim e Guamá. Nas mesobacias do Marapanim (Buiúna-Timboteua e Inhanga), a precipitação ao longo de todo o estudo realizado foi de 2051,20 mm, sendo que no mês mais chuvoso (abril de 2010) a precipitação foi de 400,40 mm, enquanto que no mês de novembro de 2009 não houve precipitação. Esses valores são comparáveis aos medidos na mesma estação meteorológica no período de 1995 a 2009, cuja precipitação média anual registrada foi de 2.500 mm (CORDEIRO et al., 2010).

Nas mesobacias do Guamá (Peripindeua e Arauaí) a precipitação ao longo de todo o estudo realizado foi bem menor, somando apenas 1092,50 mm (Tabela 4), com pico de precipitação de 535,90 mm, no mês de janeiro de 2010, e precipitação mensal mínima de 4,20 mm, em outubro de 2009. A precipitação desse período estudado foi muito abaixo da média nessa região, que segundo o relatório Estatística Municipal da Sepof- PA (PARÁ, 2011c,e), registra chuva anual na faixa de 2.250 mm a 2.500 mm para a região de Mãe do Rio e Capitão Poço.

Tabela 4 - Precipitação (P) mensal e total nas mesobacias estudadas nas bacias hidrográficas dos rios Marapanim (Buiúna-Timboteua e Inhangá) e Guamá (Peripindeua e Arauaí), onde estão localizadas as microbacias alvo deste estudo. Os dados de chuvas são de duas estações pluviométricas: uma na estação experimental localizada na latitude 01°12'S e longitude 47°36'W, na Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em Igarapé-Açu, e a outra na latitude -02° 25' 34'' S e longitude -47° 31' 58'' W, na Fazenda São Raimundo, em Ipixuna do Pará, da ANA.

| | Marapanim | Guamá |
|---------------|------------------|---------------|
| Mês | P (mm) | P (mm) |
| Out/09 | 22,00 | 4,20 |
| Nov/09 | 0,00 | 5,50 |
| Dez/09 | 154,30 | 36,20 |
| Jan/10 | 214,50 | 535,90 |
| Fev/10 | 178,50 | 142,90 |
| Mar/10 | 276,00 | 10,70 |
| Abr/10 | 400,40 | 139,10 |
| Mai/10 | 195,40 | 64,60 |
| Jun/10 | 265,10 | 11,70 |
| Jul/10 | 142,20 | 40,80 |
| Ago/10 | 160,40 | 93,20 |
| Set/10 | 42,40 | 7,70 |
| Total | 2.051,20 | 1.092,50 |

Fonte: Do autor.

Observou-se para a mesobacia do Guamá uma distribuição de chuvas muito irregular ao longo do ano hidrológico, sendo que apenas no mês de janeiro de 2010 choveu aproximadamente a metade de toda chuva que precipitou durante todo o período de estudo. Já nas mesobacias do Marapanim, o regime pluviométrico foi bem menos heterogêneo, apresentando distribuição mensal de chuva de acordo com o observado historicamente na região. Diante disso, pode-se dizer que nas microbacias M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, MR1 e MR2, componentes das mesobacias do Marapanim (Buiúna-Timboteua e Inhangá), o presente estudo contemplou comportamento hidrológico típico, enquanto que nas microbacias G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7, GR1 e GR2, componentes das mesobacias do Guamá (Peripindeua e Arauaí), isto não ocorreu, tratando-se ali de um ano hidrológico atipicamente mais seco.

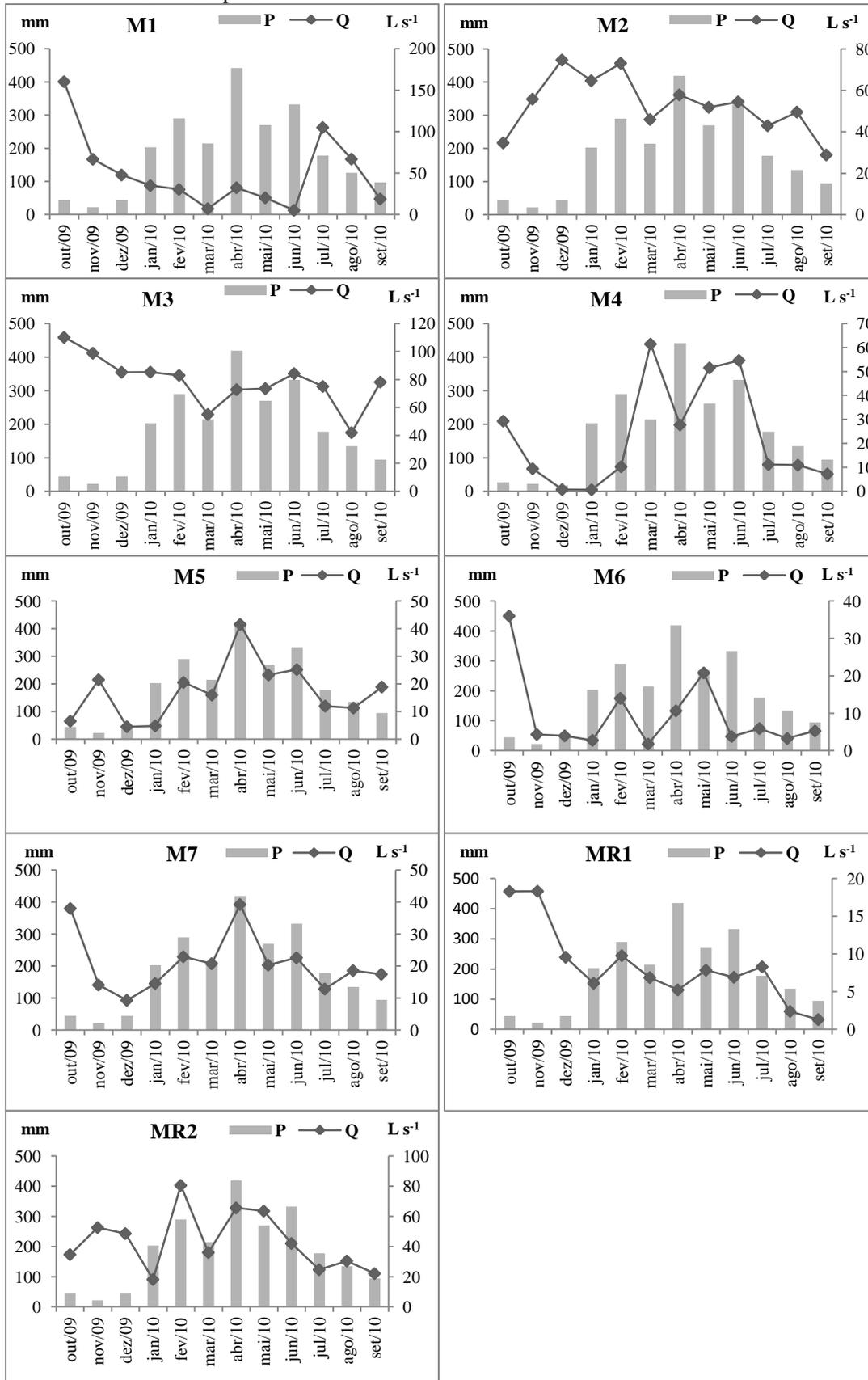
Levando-se em consideração o comportamento climático das áreas avaliadas ao longo do período deste estudo, observou-se que a primeira campanha de campo no período chuvoso se deu nos dias 19 a 21 de janeiro de 2010, pois a campanha realizada em dezembro de 2009 (dias 14 a 16) ocorreu antes da quase totalidade da precipitação daquele mês. Por sua vez, o período chuvoso estendeu-se até o mês de agosto, sendo contemplado pela campanha

de campo ocorrida naquele mês (dias 17 a 19). Dessa maneira considerou-se, para fins de caracterização hidrogeoquímica das águas fluviais, o período chuvoso como aquele compreendido de janeiro a agosto de 2010, e conseqüentemente o período seco (ou menos chuvoso) como o período entre outubro e dezembro de 2009, e também o mês de setembro de 2010, quando ocorreu a última campanha (dias 20 a 22) e as chuvas já haviam diminuído consideravelmente. Por fim, vale ressaltar que na mesobacia do Guamá, onde o ano hidrológico foi atipicamente mais seco, ocorreu queda expressiva na precipitação mensal durante o período chuvoso em março e junho, com valores de 10,70 e 11,70 mm respectivamente.

Os gráficos das figuras 12 e 13, a seguir, mostram a variação da vazão medida a cada mês em relação a precipitação acumulada ao longo do período de 30 dias que antecederam a medida de vazão. Como se pode observar, na maioria dos igarapés a resposta da vazão em relação à esta precipitação acumulada não correspondeu ao esperado. A expectativa era de que com o aumento da precipitação mensal na mesobacia fosse medido um aumento da vazão nos igarapés. Algumas coincidências, no entanto, puderam ser observadas, como se vê, por exemplo, na figura 12, onde na M5 e na M7, o pico de vazão coincidiu com o pico de precipitação no mês de abril.

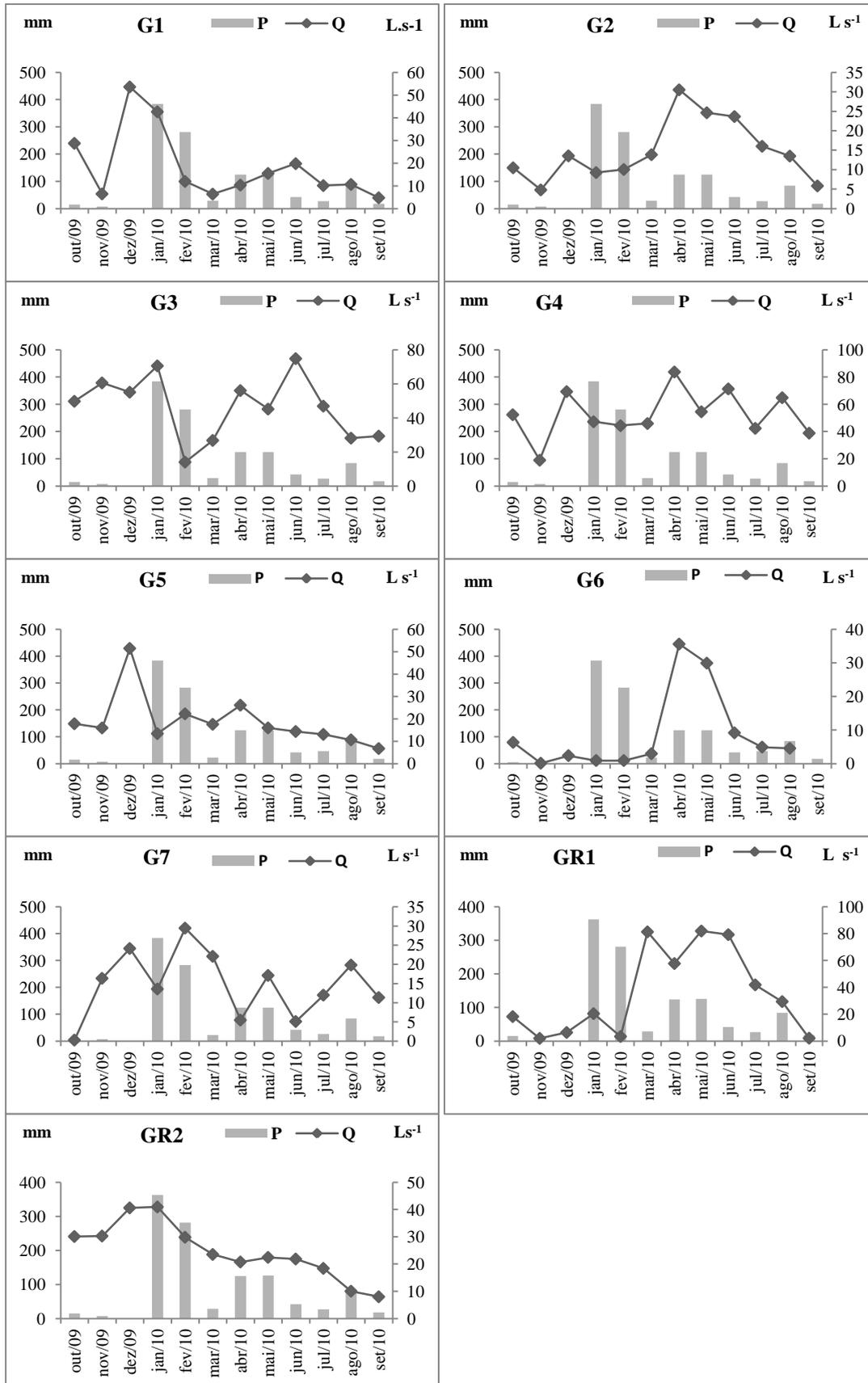
Entretanto, a correlação entre a precipitação mensal e a vazão medida no respectivo mês não foi significativa na maioria das microbacias. Porém, cabe destacar-se que, na M4 e na M7 o coeficiente de correlação (r_s), considerando-se a precipitação acumulada da semana anterior à medição da vazão, foi bem significativo, com r_s igual a 0,839 ($\rho=0,006$) e 0,756 ($\rho=0,004$), respectivamente. Na M5 e na M3, considerando-se a precipitação acumulada de dois meses e 48 horas antes da medição da vazão, as correlações foram significativas ($r_s=0,734$ e $\rho= 0,006$; $r_s= 0,669$ e $\rho=0,017$), respectivamente. Nas demais microbacias não houve correlação entre essas duas variáveis. Essa ausência quase generalizada de correlação entre a precipitação e a vazão nas microbacias pode ser justificada devido à característica de que a resposta da vazão à precipitação em microbacias é muito imediata e pouco prolongada. Estudos revelaram aumentos da vazão em pequenos córregos durante fortes eventos de precipitação, após poucas horas do término das chuvas, reduzem-se drasticamente (MOLDAN; CERNY, 1994).

Figura 12 - Precipitação acumulada no período de 30 dias que antecedeu a medição de vazão nas mesobacias do rio Marapanim, segundo dados da Estação Pluviométrica da UFRA, e vazão nas microbacias avaliadas no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.



Fonte: Do autor

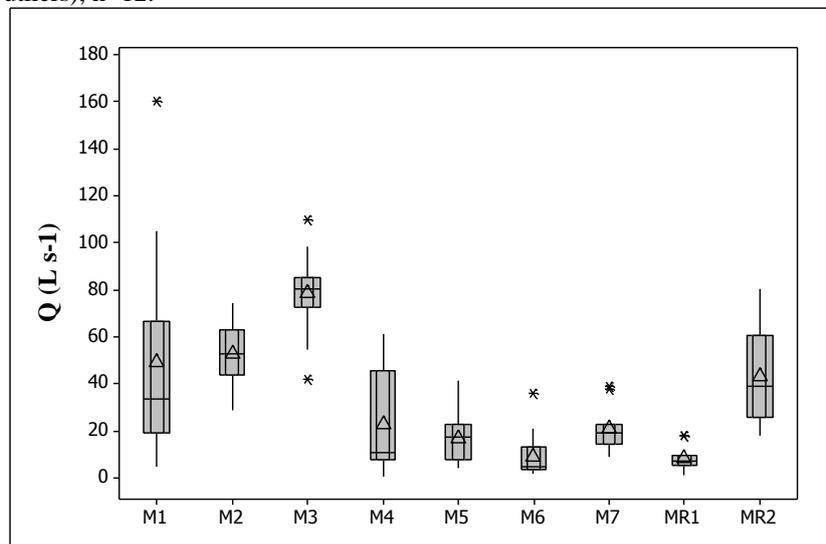
Figura 13 - Precipitação acumulada no período de 30 dias que antecedeu a medição de vazão na mesobacia do Guamá, segundo dados da ANA, e vazão medida nas microbacias avaliadas no período de outubro de 2009 a setembro de 2010.



Fonte: Do autor

Os gráficos apresentados nas figuras 14 e 15 mostram os valores médios das vazões medidas neste estudo nas microbacias do rio Marapanim e do rio Guamá. Como se pode observar na tabela 5 e figura 14, nas microbacias do Marapanim a maior vazão média ocorreu em M3 ($78,60 \pm 5,16 \text{ L s}^{-1}$) e a menor em M6 ($9,36 \pm 2,91 \text{ L s}^{-1}$). As microbacias de referência tiveram vazões médias de $43,23 (\pm 5,59) \text{ L s}^{-1}$ na MR2 e $8,41 (\pm 1,52) \text{ L s}^{-1}$ na MR1 e ficaram na mesma faixa de valores máximos e mínimos observados nas microbacias no Buiúna-Timboteua.

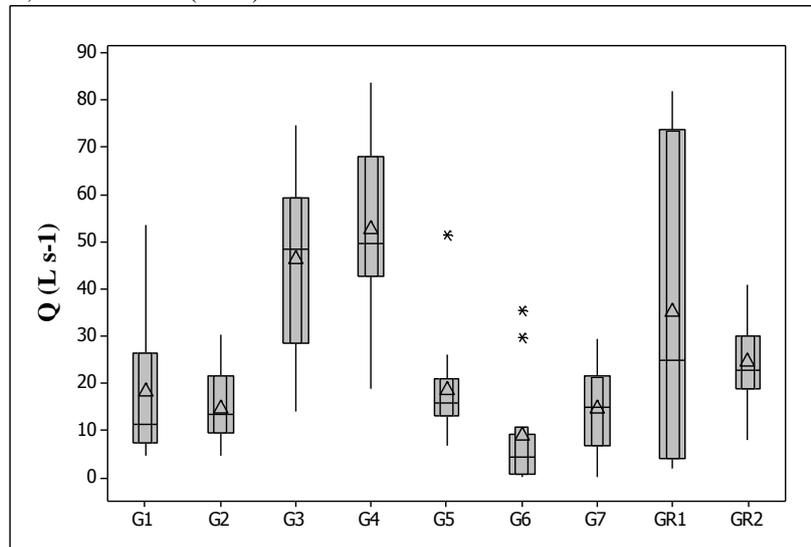
Figura 14 - Gráficos do tipo boxplot das vazões (Q) dos igarapés das microbacias de Marapanim, contendo: mediana (linha que corta a caixa), média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), e valores extremos (asterístico-outliers), n=12.



Fonte: Do autor

As vazões nas microbacias do Rio Guamá nas mesobacias do Igarapé Peripindeua e Arauai são apresentadas na tabela 5 e figura 15. Observa-se que a maior vazão ocorreu na G4 com $52,84 (\pm 5,02) \text{ L s}^{-1}$, enquanto que na G6 (a menor vazão registrada) foi $8,88 (\pm 3,67) \text{ L s}^{-1}$. Nas microbacias de referência as vazões médias foram $35,33 (\pm 9,29) \text{ L s}^{-1}$ em GR1 e $24,73 (\pm 2,98) \text{ L s}^{-1}$ em GR2.

Figura 15 - Gráficos do tipo boxplot das vazões (Q) dos igarapés das microbacias de Guamá contendo: mediana (linha que corta a caixa), média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).



Fonte: Do autor

4.2 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

- **Potencial Hidrogeniônico**

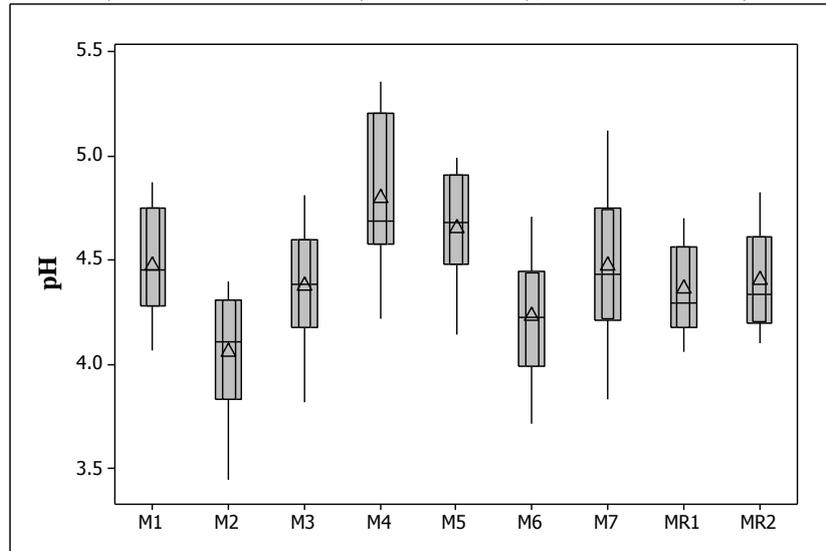
Os valores máximos e mínimos de pH nos igarapés as microbacias avaliadas na bacia do rio Marapanim variaram entre 5,356 na M4 no mês de abril de 2010 e 3,446 na M2 no mês de agosto de 2010 (tabela 5). O gráfico boxplot mostrado na figura 16 apresenta a variação dos valores de pH para cada microbacia avaliada. Na M4, o valor médio do pH de 4,79 ($\pm 0,10$) foi o mais alto dentre as microbacias do rio Marapanim, sendo esta microbacia a que mais divergiu do pH medido nas microbacias de referência MR1 e MR2, as quais apresentaram, respectivamente, pH médio de 4,36 ($\pm 0,06$) e 4,40 ($\pm 0,07$) (figura 16).

Tabela 5 - Valores médios e erros-padrão da vazão e dos parâmetros físico-químicos medidos nos igarapés das microbacias avaliadas neste estudo.

| MICROBACIA | PARÂMETROS | | | | |
|------------|------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | Q (L s ⁻¹) | pH | T (°C) | OD (%) | CE (µS) |
| M1 | 49,60 (±13,00) | 4,47 (±0,07) | 26,75 (±0,11) | 58,59 (±0,93) | 23,37 (±0,33) |
| M2 | 52,82 (±4,01) | 4,06 (±0,08) | 26,58 (±0,09) | 57,93 (±1,71) | 26,54 (±0,69) |
| M3 | 78,60 (±5,16) | 4,38 (±0,08) | 26,52 (±0,07) | 62,79 (±0,88) | 20,84 (±0,27) |
| M4 | 22,91 (±6,30) | 4,80 (±0,10) | 27,72 (±0,25) | 45,01 (±4,71) | 22,91 (±0,89) |
| M5 | 17,15 (±3,04) | 4,66 (±0,08) | 25,92 (±0,04) | 71,12 (±1,02) | 19,34 (±0,36) |
| M6 | 9,36 (± 2,91) | 4,23 (±0,08) | 27,60 (±0,10) | 24,64 (±1,04) | 26,52 (±0,45) |
| M7 | 20,89 (±2,67) | 4,48 (±0,10) | 26,07 (±0,13) | 29,92 (±1,23) | 20,21 (±0,47) |
| MR1 | 8,41 (±1,52) | 4,36 (±0,06) | 25,17 (±0,12) | 62,08 (±0,89) | 29,23 (±0,51) |
| MR2 | 43,23 (±5,59) | 4,41 (±0,07) | 25,22 (±0,14) | 80,91 (±0,54) | 24,31 (±0,39) |
| G1 | 18,42 (±4,48) | 4,63 (±0,08) | 26,33 (±0,12) | 26,83 (±1,48) | 23,06 (±0,76) |
| G2 | 14,69 (±2,27) | 4,69 (±0,08) | 28,64 (±0,39) | 43,43 (±2,15) | 22,45(±1,38) |
| G3 | 46,48 (±5,39) | 4,44 (±0,10) | 27,50 (±0,16) | 24,72 (±1,87) | 22,43 (±1,47) |
| G4 | 52,84 (±5,02) | 4,35 (±0,10) | 26,09 (±0,15) | 39,72 (±1,05) | 21,13 (±1,05) |
| G5 | 18,76 (±3,31) | 5,41 (±0,11) | 26,00 (±0,25) | 8,43 (±1,02) | 54,52 (±4,09) |
| G6 | 8,88 (±3,67) | 5,01 (±0,09) | 27,04 (±0,28) | 28,25 (±1,64) | 25,10 (±0,76) |
| G7 | 14,72 (±2,46) | 4,99 (±0,06) | 25,55 (±0,16) | 43,40 (±1,69) | 24,31 (±1,82) |
| GR1 | 35,33 (±9,29) | 4,66 (±0,11) | 25,32 (±0,15) | 63,72 (±3,45) | 23,76 (±0,57) |
| GR2 | 24,73 (±2,98) | 4,50 (±0,07) | 25,74 (±0,22) | 64,42 (±1,45) | 24,10 (±0,52) |

Fonte: Do autor

Figura 16 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de pH das microbacias de Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12.



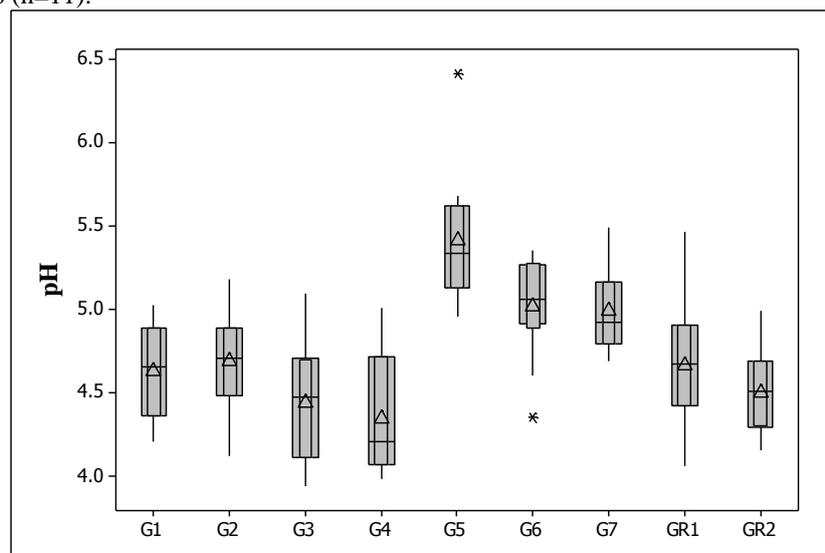
Fonte: Do autor.

A média de pH, portanto, foi maior na microbacia, cujo percentual de área ocupada por pastagem é maior do que 80%, a M4. Na outra microbacia com percentual de pastagem acima de 80%, a M6, no entanto, não se observou valores de pH maiores que aos das microbacias de referência. Isso pode ser explicado, pelo fato de que no trecho amostrado do igarapé da M4 a mata ripária está praticamente ausente, enquanto que na M6, observa-se ainda uma importante presença desta vegetação ciliar. Sabe-se que as áreas de pastagem quando preparadas com uso do fogo promovem entradas adicionais de cálcio, magnésio e potássio nos seus solos, os quais exportam estes nutrientes via escoamento superficial e sub-superficial até as drenagens de suas bacias (WICKEL, 2004), o que poderá redundar em tamponamento da acidez das águas pela elevação do pH. A análise estatística mostrou uma correlação significativa e direta entre o pH e as concentrações de cálcio na M4 com $r_s=0,622$ ($p=0,030$), o que concorda com essa relação entre uso de fogo e pH nas águas fluviais. Além disso, a ausência de mata ripária resulta em menor produção de ácidos orgânicos, responsáveis por acidificar o meio, que seriam provenientes de degradação da matéria orgânica oriunda dessa vegetação. Silva et al. (2007) e Figueiredo et al. (2010) observaram, também no Nordeste Paraense, que o pH de áreas de nascentes, ocupadas por vegetação ripária densa, são menores e tendem a aumentar a jusante do canal principal da microbacia.

Já nas microbacias do Rio Guamá, como observado na tabela 5 e na figura 17, os valores de pH tenderam a ser maiores do que em Marapanim. Os igarapés de referência apresentaram valores médios de 4,66 ($\pm 0,11$) em GR1 e 4,50 ($\pm 0,07$) em GR2. Esses valores de

pH são comparáveis a uma média anual de 4,38 registrada por Figueiredo et al. (2010) no mesmo fragmento florestal, em estudo sobre o efeito do uso da terra sobre os atributos químicos em igarapés de baixa ordem na Amazônia oriental. Houve uma fraca correlação inversa entre o percentual de área de floresta e o pH na bacia do rio Guamá ($r_s = -0,233$ e $\rho = 0,015$). Observando-se a distribuição dos dados das microbacias de Guamá, na Figura 17, constata-se que G5 é a microbacia de uso agropecuário com pH mais discrepante em relação as microbacias de referência GR1 e GR2. A área da microbacia ocupada por pastagem em G5 chega a 92,5%, sendo a bacia com maior percentual desta classe de uso. Também em Guamá tem-se uma indicação de que pastagem pode ocasionar aumento de pH nas águas fluviais, como visto para Marapanim.

Figura 17 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de pH das microbacias de Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor.

Sardinha (2006) encontrou predomínio de águas com pH entre 5 e 6, e até acima de 7, em poços instalados em pastagem e mata ciliar em Paragominas (a cerca de 100 km das microbacias do Guamá aqui estudadas), e esta autora relacionou este fato com a aplicação de calcário para a correção do pH do solo e pelas cinzas resultantes das queimadas nas pastagens. Na região amazônica, rica em solos orgânicos, a tendência é que seus pequenos riachos e as águas subterrâneas retratem a influência dos ácidos orgânicos, apresentando assim baixo pH. Dessa maneira, atividades agropecuárias podem interferir nessa dinâmica da matéria orgânica com consequências sobre os valores de pH das águas, elevando-os a patamares acima

daqueles encontrados em áreas de florestas, devido a processo de preparo de áreas ou ainda devido a entradas adicionais de materiais provocadas pela presença frequente de bovinos nas águas dessas microbacias.

A tabela 6 mostra as médias dos valores de pH para o período chuvoso e para o período seco na bacia dos rios Marapanim e Guamá. Na bacia do rio Marapanim, o pH apresentou valor médio no período chuvoso com 4,458 e no período foi 4,368, mas a análise de variância não demonstrou diferença significativa entre as médias. Já na bacia do rio Guamá, as médias dos valores do pH foi de 4,872 para o período seco e 4,618 no chuvoso e esta diferença nas médias foi significativa pela análise variância ($p=0,002$). Também na escala de mesobacia, não houve correlação entre a vazão e o pH em nenhuma das bacias avaliadas.

Tabela 6 - Médias dos parâmetros físico-químicos e das concentrações de cátions e ânions nos períodos seco e chuvoso. Letras "a" e "b" representam diferenças significativa das médias para $p>0,05$ pela análise de variância.

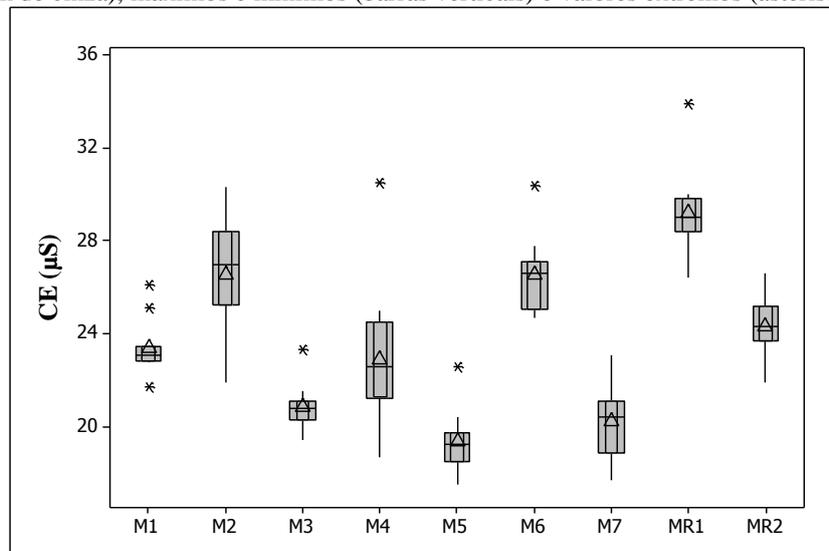
| PARÂMETRO | Bacia | | | |
|--|-------------|----------------|-------------|----------------|
| | Marapanim | | Guamá | |
| | Seco (n=36) | Chuvoso (n=72) | Seco (n=53) | Chuvoso (n=54) |
| pH | 4,368a | 4,458a | 4,872a | 4,618b |
| CE(μS) | 24,017a | 23,543a | 27,849a | 25,730a |
| OD (%) | 54,139a | 55,094a | 37,438a | 38,931a |
| T (°C) | 26,353a | 26,422a | 26,391a | 26,552a |
| Ca²⁺ (μE L⁻¹) | 22,46a | 22,502a | 67,174a | 62,059a |
| Mg²⁺ (μE L⁻¹) | 30,533a | 32,351a | 37,487a | 36,302a |
| Na⁺ (μE L⁻¹) | 74,856a | 76,340a | 101,000a | 100,086a |
| K⁺ (μE L⁻¹) | 7,968a | 7,778a | 13,786a | 11,570b |
| SO₄³⁻ (μE L⁻¹) | 15,575a | 15,128a | 14,353 | 12,186 |
| Cl⁻ (μE L⁻¹) | 88,322a | 87,484a | 100,756a | 91,706a |
| N-NO₃⁻ (μE L⁻¹) | 8,918a | 7,373a | 2,677a | 2,612a |
| P-PO₄²⁻ (μE L⁻¹) | 0,097a | 0,068a | 0,079a | 0,214a |
| N-NH₄⁺ (μE L⁻¹) | 2,135a | 3,138b | 1,768a | 2,704a |

Fonte: Do autor.

- **Condutividade Elétrica**

A tabela 5 mostra os valores médios obtidos neste estudo para a condutividade elétrica (CE). Conforme mostra o gráfico da figura 18, os maiores valores médios de CE nas microbacias da bacia do rio Marapanim ocorreram na MR1 com $29,23 \pm 0,51 \mu\text{S}$, seguido pela M2 com $26,54 \pm 0,69 \mu\text{S}$ e pela M6 com $26,52 \pm 0,45 \mu\text{S}$. Os altos valores de CE em M2 e nas microbacias de referência podem ser explicados pela presença de íons H^+ nessas águas que, segundo Esteves (1998), é o principal preditor da CE em águas ácidas com pH abaixo de 5,00. A análise estatística na escala de bacia demonstrou uma correlação (fraca) e direta entre o percentual de floresta e a CE ($r_s=0,242$ e $p=0,008$) e de certa forma está coerente com estes resultados e pode explicar os altos valores de CE nas microbacias de referência, que detém mais de 85% de suas áreas de floresta.

Figura 18 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de CE das microbacias de Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$.

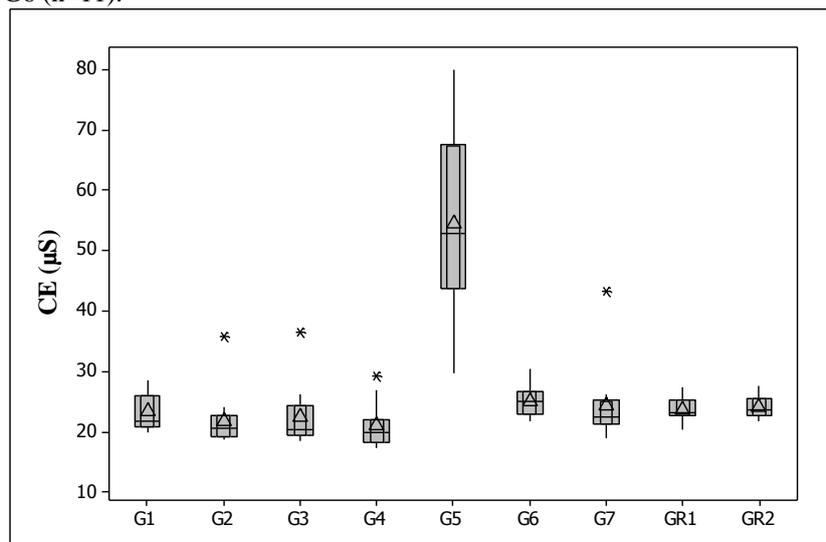


Fonte: Do autor

A tabela 5 e a figura 19 mostram os valores médios e erro-padrão de CE para os igarapés das microbacias da bacia do rio Guamá. Dentre essas microbacias destaca-se a G5 com o maior valor de CE ($54,52 \pm 4,09 \mu\text{S}$). Este valor foi duas vezes mais alto quando comparados aos valores das duas microbacias de referência (GR1 e GR2) que apresentaram valores respectivos de $23,76 \pm 0,57 \mu\text{S}$ e de $24,10 \pm 0,52 \mu\text{S}$. Os valores encontrados em G5 (que detém mais de 90% de sua área ocupada por pastagem) são comparáveis com o valor de $44 \mu\text{S}$ encontrado por Figueiredo et al. (2010) em igarapé com predomínio de pastagem em

área com características não muito diferentes de solo, vegetação e uso da terra, em estudo sobre a composição química de águas fluviais na Amazônia oriental. Da mesma forma, os valores encontrados nas referências são bem próximos de 21,30 μS , condutividade medida no mesmo trabalho de Figueiredo et al. (2010) em igarapé de referência, também situado no mesmo remanescente de ecossistema florestal do presente estudo. Esta tendência de aumento da CE em área de pastagem também foi confirmada nos estudos de Ballester et al. (2003), que encontraram forte correlação entre o percentual de cobertura de pastagem e alta condutividade na água de igarapé sob influência de pasto na bacia do Rio Ji-Paraná, em Rondônia. Figueiredo et al. (op.cit) testaram modelos estatísticos de efeito de mistura para verificar os efeitos de uso da terra na química da água e constataram que a conversão de floresta para pastagem contribui para o aumento da condutividade na águas desses igarapés. As principais causas de alta CE no igarapé Muquém (G5) devem ser as altas concentrações de magnésio e nitrogênio na forma de amônio, conforme indicam os coeficientes de correlação altamente significativos, com $r_s=0,811$ ($p=0,001$) para magnésio e $r_s=0,580$ ($p=0,047$) para o amônio. Além disso, é possível que as altas concentrações de cálcio nesse igarapé podem contribuir para maiores valores de CE, embora a análise de correlação não tenha dado resultado significativo.

Figura 19 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de CE das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor.

As áreas de pastagens parecem ter sido determinantes para a elevação dos valores de CE em microbacias ocupadas por áreas maiores de pastagem. Isto significa que nessas águas há maiores teores de íons dissolvidos, provavelmente originados de maiores entradas de nutrientes dos solos, tanto como material dissolvido quanto como material particulado, via escoamento superficial, cuja magnitude pode ser evidenciada pelos sinais de erosão dos solos, observados nos pastos das microbacias estudadas. Outro fator que pode ter ocasionado esse aumento de condutividade verificado refere-se aos bovinos que costumam visitar as águas dos igarapés, e assim promovem aportes de nutrientes por meio de fezes e urinas.

Além disso, a compactação do solo em área de pasto ocorre devido ao pisoteio do gado nas pastagens, que gera mais escoamento superficial (GERMER, et al., 2010), conforme constatou Costa (2011) que verificou a geração de escoamento de 34,79 mm no período de janeiro a junho de 2011 em pastagem. Esse volume de água escoada foi sete vezes maior do que em uma capoeira e 14 vezes maior do que em uma roça queimada com cultivo de mandioca. Moraes et al. (2006) analisaram o estoque de água e geração de escoamento em duas microbacias na Amazônia oriental, uma florestada e outra ocupada por pastagem e concluíram que a substituição de floresta por pastagem causa a redução dos macroporos e reduz a condutividade hidráulica do solo para valores que promovem grandes volumes de escoamento superficial nas áreas de pastagem que corresponderam em termos anuais a 19% do total de chuva. Dessa maneira, entradas maiores de escoamento superficial quando carreando grandes quantidades de sedimentos e nutrientes podem ocasionar elevação dos valores de condutividade da água fluvial de pequenos cursos d'água, como os igarapés da região (MARKEWITZ et al., 2001).

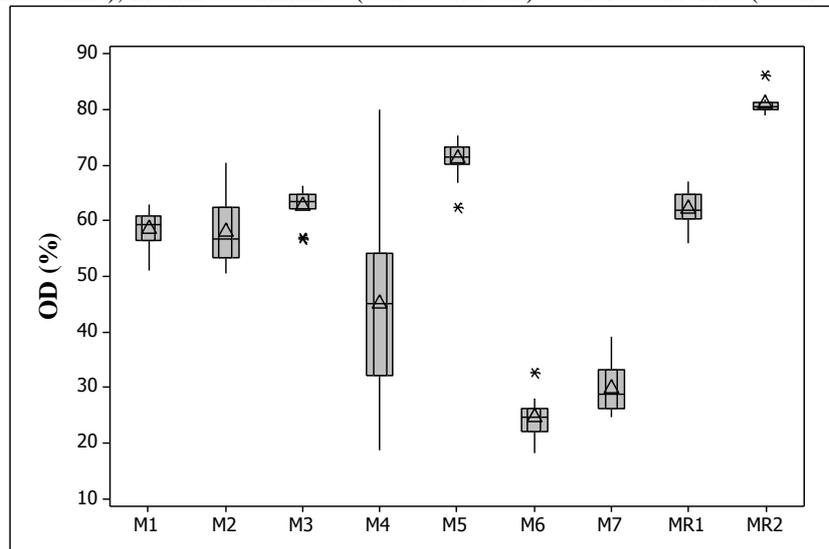
No entanto, houve correlação (fraca) e inversa entre a vazão e a CE nas duas bacias avaliadas (Marapanim e Guamá) com coeficientes de correlação de $r_s = -0,234$ ($p=0,014$) para Marapanim e $r_s = -0,223$ ($p=0,020$) para Guamá. Estas análises estão coerentes com os resultados obtidos nessas bacias, em que ambas apresentaram maior CE no período seco com valor médio de 24,017 e 27,849 μS (tabela 6) para Marapanim e Guamá, respectivamente, apesar de não haver diferença significativa entre as médias dos períodos sazonais nas duas bacias. Este mesmo comportamento sazonal da CE foi observado por Gouveia-Neto et al. (2003). De fato, pode ocorrer maior transporte de íons para os igarapés via escoamento superficial durante as chuvas (CONCEIÇÃO; MONTEIRO; LUIZÃO, 2007), conforme demonstram os valores extremos (outliers), nas figuras 18 e 19, e o pico de CE em G5 (registrado em 80 μS no mês de março de 2010).

O que se observa, entretanto, na maioria dos monitoramentos de águas fluviais são as altas vazões ocasionando maior diluição de solutos (COSTA; LIMA; DIAS, 2009), e conseqüentemente menor CE, enquanto que nas baixas vazões os solutos apresentam-se mais concentrados, contribuindo dessa maneira para o aumento da CE no período seco (GONÇALVES, 2007; GOUVEIA-NETO et al., 2003).

- **Oxigênio Dissolvido**

O gráfico da figura 20 mostra a variação do oxigênio dissolvido nas águas fluviais das microbacias avaliadas na bacia do rio Marapanim. Observa-se que os menores percentuais de saturação ocorreram na microbacia M6 com $24,64 \pm 1,02$ % e na M7 com $29,92 \pm 1,23$ %. Esses valores estão bem abaixo dos valores das microbacias de referência que foram de $62,07 \pm 0,89$ % e $80,90 \pm 0,54$ %, em MR1 e MR2, respectivamente. A microbacia M4, influenciada por pastagem, apresentou média de $45,01 \pm 4,71$ %, enquanto as demais apresentaram valores médios de OD abaixo das médias das microbacias de referência (MR1 e MR2), mas bem mais próximos destas.

Figura 20 - Gráfico do tipo boxplot dos valores de OD das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12.



Fonte: Do autor.

Dentre as microbacias de Marapanim, a do igarapé Ubim (M6) como já indicado, apresentou o menor percentual de saturação de OD em suas águas, o que pode estar relacionado ao fato de se tratar de nascente que naturalmente tendem a apresentar baixas

concentrações de OD, ou devido ao consumo de OD através da respiração de macrófitas aquáticas presentes nessa nascente (figura 23), ou pelo consumo de OD como consequência do processo de nitrificação (FIORUCCI e BENEDETTI-FILHO, 2005), uma vez que este igarapé apresentou altas concentrações de nitrogênio na forma de nitrato, conforme é apresentado mais adiante. A análise de correlação entre OD e o percentual de floresta na bacia de Marapanim, foi positiva e significativa ($r_s = 0,507$ e $\rho = 0,000$), mas foi inversa com o percentual de pastagem ($r_s = - 0,470$ e $\rho = 0,000$), percentual cultura agrícola ($r_s = - 0,383$ e $\rho = 0,000$) e solo exposto ($r_s = - 0,475$ e $\rho = 0,000$). Estes resultados estatísticos denotam que a conversão de florestas para a implantação de atividades agropecuárias pode interferir na concentração de OD nas águas dos igarapés.

Figura 21 - Presença de macrófitas no Igarapé Ubim (M6), devido a alta concentração de nutrientes como nitrogênio na forma de nitrato e fósforo na forma de fosfato.

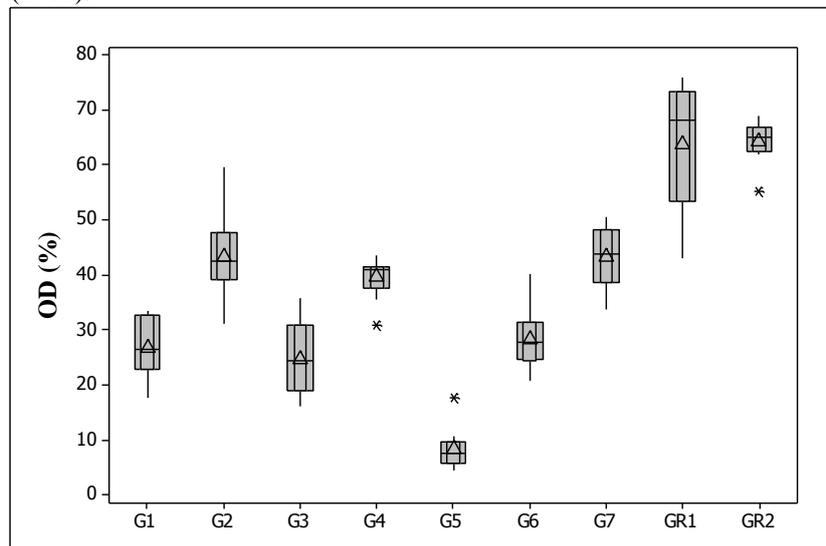


Fonte: Do autor.

Para os igarapés da bacia do Guamá, destaca-se o percentual de saturação de OD bem menor em G5, além de baixo OD em G3, G1 e G6 (figura 22). Com mais de 90% de sua área coberta por pastagem, a G5 foi dentre as microbacias deste estudo a que apresentou níveis mais críticos de percentual de OD com média de $8,43 \pm 1,02$ %. Este valor é mais de 8 vezes menor quando comparado as microbacias de referência (GR1 e GR2) que apresentaram valores de $63,72 \pm 3,45$ % e $64,42 \pm 1,45$ %. Além da G5, merecem destaque também os igarapés Divisa (G3) com percentual de OD de $24,72 \pm 1,87$ %, o Seringa (G1) com $26,83 \pm 1,48$ % e o Chico Lopes (G6) com $28,25 \pm 1,64$ %, que estão com valores médios abaixo das médias das microbacias de referência.

Vários fatores podem contribuir para este baixo percentual de saturação de OD como a presença de vegetação aquática (G3, G5 e na G6) a montante do ponto de medição (figura 22), e no caso específico do igarapé da microbacia G5 a presença frequente de gado em suas águas, promovendo o aporte de material orgânico por meio de fezes e urinas, que são decompostos e assim reduzem a nível crítico as concentrações de OD. Neill et al (2001), associou a conversão de floresta em pastagem à redução do OD nas águas de igarapés, medindo nos igarapés em floresta valores de percentual de OD próximo à saturação, enquanto que nos igarapés de pastagens o valor médio foi menor do que 20%.

Figura 22 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de OD das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).



Fonte: Do autor.

Na bacia do rio Guamá, o percentual de pastagem e bem como o percentual de floresta foram fortemente correlacionados com o OD, sendo que com a pastagem houve uma correlação inversa ($r_s = -0,885$ e $\rho = 0,000$), com solo exposto ($r_s = -0,533$ e $\rho = 0,000$) e com várzea ($r_s = -0,505$ e $\rho = 0,000$), mas com a floresta foi direta ($r_s = 0,724$ e $\rho = 0,000$). Essa relação estatística é consistente com os resultados encontrados neste estudo, onde as microbacias florestadas apresentaram os maiores concentrações de OD, enquanto que as pastagens apresentaram os processos inversos.

Figura 23 - Aspectos gerais dos igarapés G3 (A), G5 (B) e G6 (C), com destaque para a vegetação aquática nos pontos amostrados.



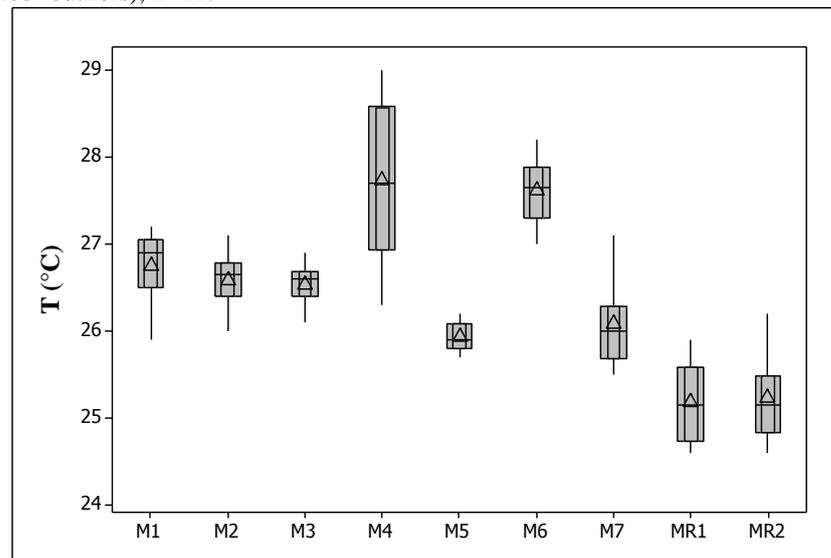
Fonte: Do autor.

As médias dos dois períodos analisados (seco e chuvoso) é apresentada na tabela 6. Tanto na bacia de Marapanim como na bacia do Guamá, o OD apresentou menor concentração no período seco com valores respectivos de 54,139 e 37,438 %. Esta diferença das médias dos dois períodos sazonais não foram estatisticamente significativa pela análise de variância. Este resultado é coerente em Marapanim, cuja a correlação entre o OD e vazão apresentou correlação (fraca) e direta ($r_s = 0,301$ e $\rho = 0,001$), o que indica que com o aumento da vazão ocorre aumento do OD. A análise de correlação entre o OD e vazão na escala de microbacia se mostrou coerente com a variação temporal observada na M5, na G2 e na GR1, onde o OD apresentou as maiores concentrações nos meses mais chuvoso, comportamento também indicado pela correlação forte e direta com a vazão na M5 ($r_s = 0,823$ e $\rho = 0,00$), na G2 ($r_s = 0,825$ e $\rho = 0,000$) e na GR1 ($r_s = 0,596$ e $\rho = 0,040$), enquanto que na G6, que teve maiores concentrações nos meses mais secos, observou-se uma correlação inversa ($r_s = -0,690$ e $\rho = 0,018$).

- **Temperatura**

O gráfico da figura 24 mostra os valores de temperatura nas microbacias da bacia do rio Marapanim. As maiores temperaturas ocorreram nas águas dos igarapés das microbacias M4 e M7. As duas microbacias de referências (MR1 e MR2) apresentaram as menores temperaturas com valores respectivos de $25,17 \pm 0,12$ °C e $25,22 \pm 0,14$ °C.

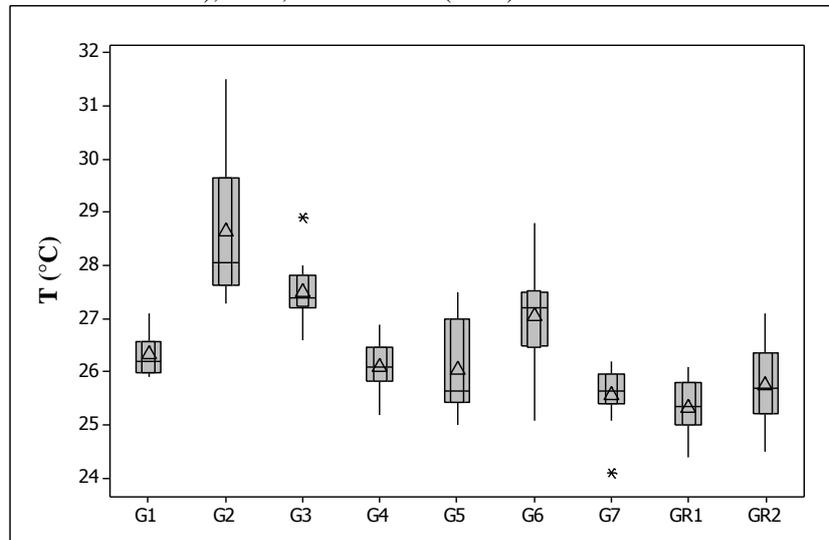
Figura 24 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Temperatura (°C) das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12.



Fonte: Do autor.

Da mesma forma que em Marapanim, na bacia do rio Guamá destaca-se a tendência de menores temperaturas nas microbacias de referência, que a apresentaram $25,32 \pm 0,15$ °C e $25,74 \pm 0,22$ °C, em GR1 e GR2 respectivamente (figura 25). Há de se ressaltar que uma conclusão mais contundente sobre as diferenças entre as temperaturas medidas nos diferentes igarapés fica comprometida em função dessas medições terem sido realizadas em horários diferentes, pois sabe-se que medidas feitas em horário de pleno sol serão naturalmente mais elevadas.

Figura 25 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Temperatura (°C) das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).



Fonte: Do autor.

No entanto, é fato que as maiores temperaturas que ocorrem em igarapés ocupados por maiores áreas de pastagem podem estar sendo determinadas pela maior exposição ao sol do leito dos igarapés ao cruzarem pastos desprovidos de floresta ripária. Além disso, a vegetação de áreas referências ou da G7 com sua mata de igapó, promove a redução da incidência de radiação solar sobre as águas fluviais, e assim contribuem para manutenção de temperaturas amenas. Swank e Johnson (1994) citam alguns estudos em microbacias experimentais no leste dos Estados Unidos, onde a remoção da copa de floresta adjacente aos cursos d'água aumentou a incidência de radiação solar na superfície da água e consequentemente houve aumento de temperatura.

Em geral, os igarapés de Marapanim (M1 a M7) apresentaram menores temperaturas quando comparadas aos igarapés da bacia do rio Guamá (G1 a G7), o que pode está relacionada ao predomino de um fragmento de mata ciliar ainda preservada nestes igarapés de Marapanim, o que não ocorre nos igarapés do Guamá, com exceção da G7.

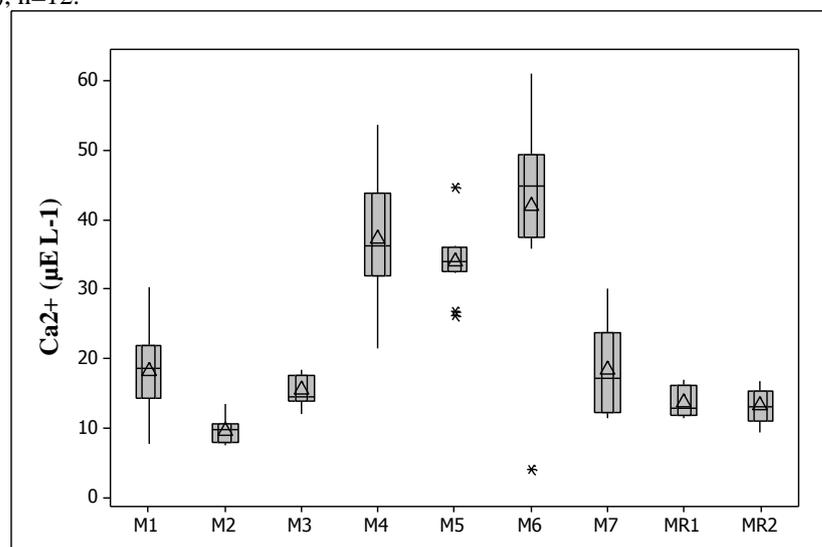
A variação temporal da temperatura da água mostrada na Tabela 6 demonstrou tendência de ser maior no período chuvoso em ambas bacias, embora a análise de variância não tenha demonstrado diferença significativa. Porém, vale destacar que em todas as microbacias florestadas (MR1, MR2, GR1 e GR2), a temperatura foi mais alta no período seco.

4.3 ÍONS INORGÂNICOS DISSOLVIDOS

- **Cálcio**

A concentração de cálcio (Ca^{2+}) nas microbacias avaliadas na bacia do rio Marapanim é apresentado no gráfico da figura 26 e na tabela 7. Pode-se observar que as maiores concentrações médias desse íon ocorreram nos igarapés das microbacias M6, M4 e M5. Na M6 e na M5 (ambas com influência da agricultura de derruba e queima), as concentrações médias (\pm erro padrão) foram respectivamente de $41,92 (\pm 3,97) \mu\text{E L}^{-1}$ e $33,92 (\pm 1,36) \mu\text{E L}^{-1}$. Na M4 (com ampla área de pastagem) a concentração de Ca^{2+} foi de $37,27 (\pm 2,38) \mu\text{E L}^{-1}$. Essas concentrações estão acima das concentrações encontradas nas referências (MR1 e MR2) que apresentaram valores de $13,82 (\pm 0,61) \mu\text{E L}^{-1}$ e $13,29 (\pm 0,67) \mu\text{E L}^{-1}$.

Figura 26 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Ca^{2+} das microbacias do rio Marapanim, contendo mediana (linha contínua que corta a caixa), média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico-outliers), n=12.



Fonte: Do autor.

As maiores concentrações de Ca^{2+} em M6 ocorreram provavelmente devido à queima de uma área para o plantio de mandioca, durante o mês de novembro de 2009. Durante o processo de queima, o fogo se espalhou e queimou parte da vegetação ripária dessa microbacia, conforme mostrado na figura 29. Da mesma forma que a M6, as altas concentrações em M5 pode ter sido influenciada pela mesma prática agrícola. Já na M4, a concentração elevada de cálcio também pode ter sido oriunda da queimada que comumente se

faz para o preparo e renovação de pastagens, ou ainda pela imobilização de Ca^{2+} pelos compostos orgânicos do esterco do gado, como constatou Freitas; Araújo e Silva (2007). O aporte de cálcio nas águas de igarapé devido à agricultura de derruba e queima foi atribuído por Wickel (2004) às cinzas da vegetação queima, que são ricas nesse soluto e alcançam as águas fluviais via escoamento superficial, conforme também constatou Silva et al. (2005) em seu trabalho sobre transferências de nutrientes por escoamento superficial para igarapés em áreas agrícolas sob diferentes sistemas de preparo de área para plantio no Nordeste Paraense.

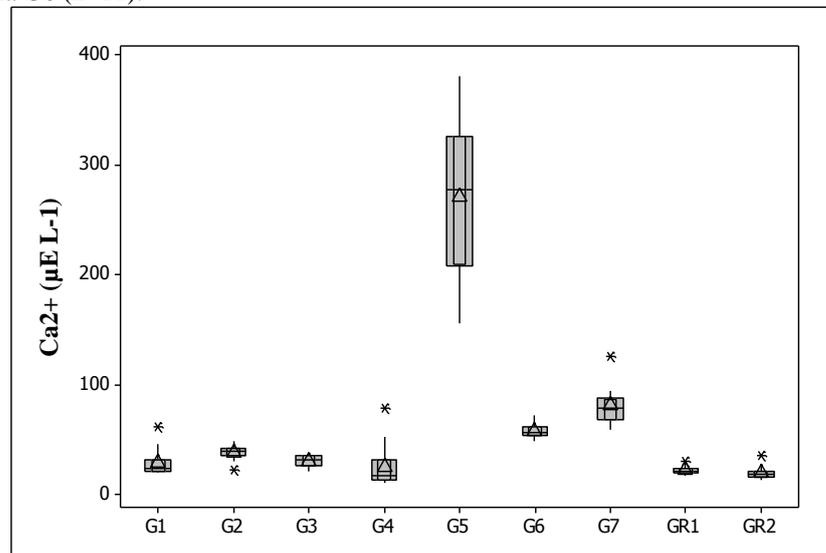
O teste de correlação entre as classes de uso da terra e a concentração de cálcio na bacia do rio Marapanim indicou uma correlação direta com o percentual de pastagem ($r_s=0,683$ e $\rho=0,000$), com o percentual de cultura agrícola ($r_s=0,424$ e $\rho=0,000$) e correlação inversa com o percentual de floresta ($r_s=-0,551$ e $\rho=0,000$) e com o percentual de capoeira baixa ($r_s=-0,457$ e $\rho=0,000$). A análise estatística está coerente com resultados obtidos neste estudo e indica que as atividades agropecuárias são fontes importantes de cálcio para os igarapés nessa região. É notável também a ocorrência de menores concentrações de Ca^{2+} nas bacias florestadas em relação às bacias cujas terras são ocupadas por cultivos agrícolas e pastagem.

A figura 27 mostra o gráfico das concentrações de Ca^{2+} nas águas dos igarapés das microbacias avaliadas na bacia do rio Guamá. Destaca-se a concentração (média \pm erro padrão) bem mais elevada no igarapé Muquém (G5), com valores de $272,00 (\pm 19,50) \mu\text{E L}^{-1}$. Esse nível de concentração de Ca^{2+} está muito acima das concentrações medidas nas microbacias de referência, que foram $22,69 (\pm 1,22) \mu\text{E L}^{-1}$ e $20,51 (\pm 1,79) \mu\text{E L}^{-1}$ em GR1 e GR2, respectivamente. Mesmo a microbacia agrícola G7, que apresentou a segunda maior concentração média de cálcio ($82,03 \pm 4,95 \mu\text{E L}^{-1}$), ficou em um patamar três vezes menor que o de G5.

Provavelmente a principal fonte natural desse íon para a água fluvial de G5 é o solo originado da dissociação de rochas carbonatadas. Todas as demais microbacias apresentaram maiores teores de cálcio, quando comparadas com as referências. É comum nesses igarapés da região, a queima de pasto durante a estação seca para a sua renovação durante o período chuvoso, e isso foi constatado em campo e pode também influenciar às altas concentrações na G5. Em estradas não pavimentadas (é o caso da G5 e da G2) com solos ricos em cálcio e potássio, o movimento de veículos ocasionam a ressuspensão para o ar de partículas de solos ricas nesses elementos, que conseqüentemente atingem os corpos d'água conforme afirma Campos (2010). A análise de correlação entre classes de uso da terra e a concentração de cálcio na bacia do rio Guamá mostrou uma correlação fraca e direta com

pastagem ($r_s=0,349$ e $\rho=0,000$), capoeira baixa ($r_s=0,419$ e $\rho=0,000$), solo exposto ($r_s=0,349$ e $\rho=0,000$) e mata de várzea ($r_s=0,379$ e $\rho=0,000$), e uma correlação inversa com floresta ($r_s=-0,459$ e $\rho=0,000$). Apesar de não ser forte, as correlações demonstram que a mudança de uso da terra para a implantação de atividade agropecuárias podem provocar maiores entradas de cálcio para os igarapés do Guamá, da mesma forma como observado para a bacia do rio Marapanim.

Figura 27 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Ca^{2+} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor.

A tabela 6 mostra as médias das concentrações de cálcio nos períodos seco e chuvoso nas diferentes bacias (Marapanim e Guamá). Conforme se observa na tabela 6, no período chuvoso, portanto, em período de maiores vazões, ocorreu maior concentração média desse cátion ($22,502 \mu\text{E L}^{-1}$). Isto pode indicar as entradas de cálcio nos igarapés em decorrência de processos hidrológicos como o throughfall e o escoamento superficial e sub-superficial, ou mesmo a própria precipitação diretamente, entretanto a análise de variância não mostrou diferença significativa entre as concentrações dos dois períodos sazonais nessa bacia. Por outro lado, na bacia do rio Guamá, as maiores concentrações ocorreram na estação seca, o que pode indicar importante contribuição das águas subterrâneas com esse soluto, ou ainda ao efeito diluidor de maiores vazões durante a estação chuvosa. Markewitz et al. (2011) analisaram a relação entre a vazão e a concentração de cálcio em 28 microbacias na Amazônia e no cerrado brasileiro e constataram que em 11 dessas microbacias a concentração aumentou

com a redução da vazão dos igarapés. A análise de variância, assim como, ocorreu para a bacia de Marapanim, não apresentou variação significativa nas médias dos dois períodos sazonais.

Tabela 7 - Concentração média e erro-padrão dos íons maiores: H⁺, Cálcio, Magnésio e sódio nos igarapés das microbacias avaliadas.

| MICROBACIA | PARÂMETROS | | | |
|------------|---------------------|--|--|---------------------------------------|
| | H ⁺ (µM) | Ca ²⁺ (µE L ⁻¹) | Mg ²⁺ (µE L ⁻¹) | Na ⁺ (µE L ⁻¹) |
| M1 | 39,76 (±6,79) | 18,20 (±1,66) | 29,93 (±2,09) | 71,63 (±2,68) |
| M2 | 112,2 (±27,50) | 9,69 (±0,50) | 19,32 (±0,36) | 73,10 (±0,82) |
| M3 | 51,30 (±11,00) | 15,64 (±0,60) | 26,92 (±0,38) | 78,17 (±0,99) |
| M4 | 27,51(±5,42) | 37,37 (±2,38) | 37,96 (±1,74) | 68,63 (±2,28) |
| M5 | 68,1(±15,40) | 33,92 (±1,36) | 35,88 (±0,91) | 69,15 (±1,15) |
| M6 | 46,70 (±11,60) | 41,92 (±3,97) | 54,23 (±0,89) | 64,82 (±1,19) |
| M7 | 23,44 (±4,94) | 18,52 (±1,95) | 27,98 (±1,07) | 78,85 (±0,85) |
| MR1 | 48,37 (±6,52) | 13,83 (±0,61) | 29,95 (±0,45) | 95,32 (±1,45) |
| MR2 | 44,50 (±6,07) | 13,29 (±0,67) | 23,52 (±0,72) | 82,93 (±2,56) |
| G1 | 28,42 (±5,41) | 29,92 (±3,56) | 36,84 (±1,12) | 132,20 (±12,60) |
| G2 | 24,76(±5,29) | 38,75 (±2,04) | 36,73 (±2,10) | 129,70 (±13,20) |
| G3 | 49,00(±10,40) | 30,77 (±1,53) | 34,87 (±1,62) | 89,67 (±3,06) |
| G4 | 56,43(±9,37) | 25,55 (±6,01) | 31,72 (±2,13) | 105,4 (±13,00) |
| G5 | 5,02(±0,90) | 272,00(±19,50) | 43,07 (±3,35) | 67,46 (±4,45) |
| G6 | 12,51(±3,54) | 58,59 (±1,95) | 37,51 (±1,94) | 109,98 (±5,88) |
| G7 | 11,47(±1,50) | 82,03(±4,95) | 34,52(±2,28) | 85,87 (±3,19) |
| GR1 | 30,36(±7,86) | 22,69(±1,22) | 37,99(±1,37) | 109,61 (±3,82) |
| GR2 | 36,20(±5,41) | 20,51(±1,79) | 38,81(±1,33) | 112,10 (±11,00) |

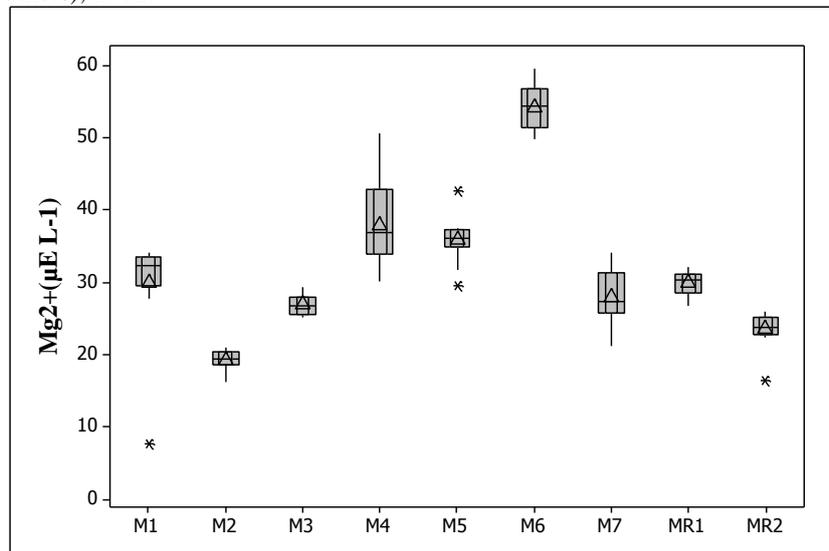
Fonte: Do autor.

- **Magnésio**

O gráfico da figura 28 mostra as concentrações de magnésio (Mg²⁺) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. Semelhantemente ao Ca²⁺, as maiores concentrações de Mg²⁺ foram na M6, M4 e M5, respectivamente. Na M6, a concentração média (± erro padrão) foi de 54,23 (±0,89) µE L⁻¹, enquanto que na M4 foi de 37,96 (±1,74) µE L⁻¹ e na M5 foi de 35,88 (±0,91) µE L⁻¹. As áreas de referências apresentaram valores médios de 29,95 (±0,45) e 23,52 (±0,72) µE L⁻¹ em MR1 e MR2, respectivamente. As altas concentrações de magnésio em M5, da mesma forma que M6, está sob influência de agricultura de derruba e

queima, a qual pode ser o principal fator de elevação das concentrações de Mg^{2+} . Em M4, no entanto, onde o percentual de área ocupada por pastagem é maior, um outro fator importante pode ser o esterco de gado, que é rico nesse nutriente, o qual pode chegar pela via hídrica até o igarapé (BUSCHBACHER¹¹, 1987; HUMPHREYS¹², 1991 apud GERMER, et al., 2009). Outra razão que pode explicar as altas concentrações de magnésio e de cálcio nas águas fluviais dos igarapés sob influência de pastagem de gado bovino (M4 e G5) é a imobilização desses elementos no solo. Freitas, Araújo e Silva (2007) relatam que o esterco bovino provoca a imobilização desses nutrientes nas camadas mais superficiais do solo, o que os tornam mais suscetíveis a maiores perdas pelos diferentes caminhos hidrológicos.

Figura 28 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Mg^{2+} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos -(asterístico-outliers), n=12.



Fonte: Do autor.

A figura 29 mostra o igarapé Ubim (M6) em dezembro de 2009 após sua vegetação ripária ser queimada durante o preparo de área para cultivo agrícola nas suas proximidades. O risco de incêndio da vegetação durante as queimadas para preparo de área já havia sido reportado por Uhl, Bezerra e Martini (1997). A queima da vegetação ripária desse microbacia pode ter sido determinante para aumentar as concentrações de cálcio e magnésio (e mesmo potássio) nesse igarapé. Durante o mês de dezembro, com a incidência das

¹¹ BUSCHBACHER, R.J. 1987. Cattle productivity and nutrient fluxes on an Amazon pasture. *Biotropica* 19 (3), p. 200-207, 1987.

¹² HUMPHREYS, L.R. 1991. *Tropical Pasture Utilization*. Cambridge University Press, Cambridge, 206 p. 1991.

primeiras chuvas, ocorreu aumento nas concentrações de cálcio e magnésio nas águas fluviais dessa microbacia. A roça queimada, preparada a montante do ponto de coleta, influencia determinantemente na dinâmica desses nutrientes, pois situa-se em cota topográfica superior ao ponto de coleta no igarapé. Wickel (2004) estudou as entradas de nutrientes em uma microbacia sob influência de roça com queima e constatou a entrada de cálcio e magnésio num igarapé de uma microbacia onde o sistema agrícola adota o uso do fogo. Figueiredo (2007) também analisou aspectos hidrológicos e hidroquímicos em uma microbacia com presença de agricultura de derruba e queima no Nordeste Paraense e observou que os principais íons transferidos do solo para a água do igarapé foram justamente o cálcio e o magnésio. As altas concentrações de magnésio, juntamente com as de o cálcio, podem ser decisivas para aumentar a condutividade elétrica nesse igarapé, embora a análise de correlação não demonstre essa tendência.

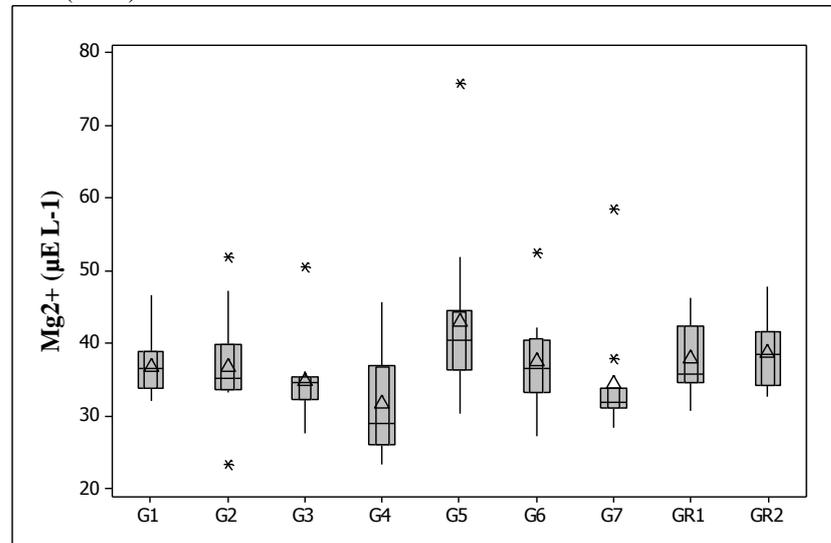
Figura 29 - Igarapé Ubim (M6) após sofrer uma queimada em sua margem, fato que pode ter contribuído diretamente para aportes de cálcio, magnésio e potássio na água fluvial.



Fonte: Do autor

Em relação às microbacias do Guamá observa-se no gráfico da figura 30 uma maior concentração de Mg^{2+} na microbacia G5 (primordialmente ocupada por pastagem) com média (\pm erro padrão) igual a $43,07 (\pm 1,94) \mu E L^{-1}$, enquanto que nos igarapés de referência as concentrações de Mg^{2+} variaram entre $37,99 (\pm 1,37) \mu E L^{-1}$ em GR1 e $38,81 (\pm 1,33) \mu E L^{-1}$ em GR2.

Figura 30 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Mg²⁺ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).



Fonte:Do autor.

A análise de correlação na escala de mesobacia mostrou que cálcio e magnésio são fortemente correlacionados ($r_s=0,875$ e $\rho=0,000$) na bacia do rio Marapanim, enquanto que na bacia do rio Guamá a correlação foi fraca ($r_s=0,306$ e $\rho=0,001$). Já na escala de microbacia essas variáveis mostraram-se também diretamente correlacionadas em cinco das nove microbacias de Marapanim: na M1 ($r_s=0,833$ e $\rho=0,000$), na M5 ($r_s=0,664$ e $\rho=0,018$), na M7 ($r_s=0,699$ e $\rho=0,011$), na MR1 ($r_s=0,888$ e $\rho=0,000$) e na MR2 ($r_s=0,615$ e $\rho=0,033$). Enquanto que nas microbacias do Guamá esses dois cátions foram fortemente correlacionados em todas as microbacias, com exceção da G5: na G1 ($r_s=0,804$ e $\rho=0,001$), na G2 ($r_s=0,746$ e $\rho=0,005$), na G3 ($r_s=0,790$ e $\rho=0,002$), na G4 ($r_s=0,811$ e $\rho=0,001$), na G6 ($r_s=0,709$ e $\rho=0,014$), na G7 ($r_s=0,839$ e $\rho=0,000$), na GR1 ($r_s=0,748$ e $\rho=0,005$) e na GR2 ($r_s=0,867$ e $\rho=0,000$).

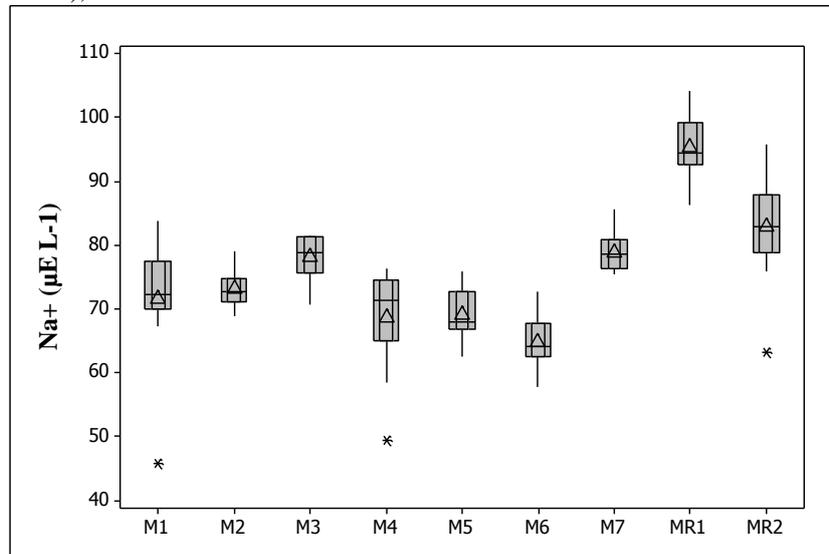
Além disso, as concentrações de magnésio apresentaram correlação significativa e direta na bacia de Marapanim com o percentual de pastagem ($r_s=0,615$ e $\rho=0,000$) e com o percentual de cultura agrícola ($r_s=0,410$ e $\rho=0,000$), e correlação inversa com o percentual de floresta ($r_s=-0,593$ e $\rho=0,000$) e com o percentual de capoeira baixa ($r_s=0,677$ e $\rho=0,000$). Na bacia do Guamá, não houve correlação significativa entre as concentrações de magnésio com as classes de uso e cobertura da terra. Esses resultados estatísticos encontrados na bacia do rio Marapanim explicam os maiores valores encontrados na M4 (pastagem) e na M6 (cultura de mandioca e preparo de área com uso de fogo) e menores nas bacias florestadas.

Com relação a variação temporal, as concentrações de magnésio na bacia do Marapanim apresentaram maior média no período chuvoso (tabela 6), enquanto que na bacia do rio Guamá o período seco foi o que apresentou maior média, repetindo-se de certa maneira o observado para Ca. Este resultado está coerente com a correlação inversa de magnésio com a vazão observada na bacia do Guamá ($r_s = -0,345$ e $p = 0,000$). No entanto, essas variações das médias não foram estatisticamente significativas pela análise de variância. No caso do igarapé Ubim, cuja microbacia (M6) sofreu queimada no final do período seco, houve aumento nas concentrações de cálcio e magnésio no mês de dezembro quando ocorreram as primeiras precipitações da estação chuvosa.

- **Sódio**

O gráfico da figura 31 apresenta as concentrações de sódio (Na^+) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. A maior concentração média (\pm erro padrão) ocorreu na M7 com $78,85 (\pm 0,99) \mu\text{E L}^{-1}$, enquanto que M6 apresentou a menor concentração com $64,82 (\pm 1,19) \mu\text{E L}^{-1}$, conforme mostra a tabela 7. Essas concentrações de Na^+ são menores que as das microbacias de referência que apresentaram valores de $95,32 (\pm 1,45) \mu\text{E L}^{-1}$ e $82,93 (\pm 2,56) \mu\text{E L}^{-1}$ em MR1 e MR2, respectivamente. Isso indica que os ecossistemas florestais são importantes fontes desse nutriente para os rios e que com a mudança de uso da terra para a implantação de atividades agropecuárias esse elemento é transferido em menores taxas para os rios. As florestas parecem ser, portanto, determinantes para as concentrações de sódio nas águas fluviais da região. Tal fato decorre da lavagem da parte aérea das árvores pela água da chuva, que assim contribuem decisivamente para o conteúdo de sódio na composição química das águas de igarapés. Melo e Sá (2002) estudaram a variação temporal na água do "throughfall" em floresta primária no Nordeste Paraense e concluíram que o sódio foi o segundo elemento em termos de contribuição para a química da chuva após interagir com o dossel. Isto porque a deposição seca concentra este elemento no dossel da floresta e a água da chuva, ao passar pelo dossel florestal é enriquecida com este elemento. Wickel (2004), estudando a química de água de chuva na bacia do igarapé Cumarú, no município de Igarapé-Açu (PA), verificou que o sódio é o cátion mais abundante na chuva, o que indica que a principal fonte de sódio nas águas dos igarapés pode decorrer da interação da água da precipitação com o dossel florestal.

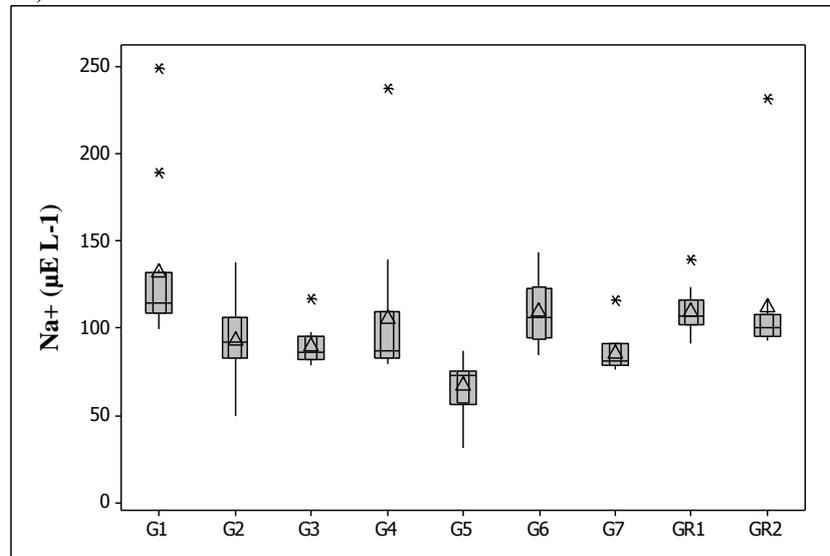
Figura 31 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Na^+ das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico-outliers), n=12.



Fonte: Do autor.

Para os igarapés das microbacias do Guamá (figura 32), destaca-se G1 que apresentou a concentração de Na^+ com média (\pm erro padrão) de $132,20 (\pm 12,60) \mu\text{E L}^{-1}$. Essa concentração é maior do que os valores observados em GR1 e GR2 (microbacias de referência) que foram respectivamente $109,61 (\pm 3,82) \mu\text{E L}^{-1}$ e $112,10 (\pm 11,00) \mu\text{E L}^{-1}$. Esses valores são comparáveis ao encontrados por Figueiredo et al. (2010) em três microbacias em Paragominas (PA) com características semelhantes em termos solo, vegetação e de uso da terra. Neste estudo foram observadas concentrações médias de Na^+ de $90,7 \mu\text{E L}^{-1}$, $117,9 \mu\text{E L}^{-1}$ e $148,4 \mu\text{E L}^{-1}$ nos igarapés 54, do Sete e Pajeú, respectivamente, enquanto que em igarapés de microbacias florestadas foi encontrada concentração média de $86,7 \mu\text{E L}^{-1}$, a qual é menor que as concentrações médias nas duas microbacias de referência do presente estudo.

Figura 32 - Gráficos boxplot dos valores de Na^+ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor

A análise estatística de correlação entre o uso da terra e a concentração de sódio na bacia de Marapanim, mostrou-se coerente com os resultados obtidos nas microbacias, pois apresentou correlação significativa e direta com o percentual de floresta ($r_s = 0,697$ e $\rho=0,000$) e correlação negativa para as classes pastagem ($r_s = -0,678$ e $\rho=0,000$), capoeira alta ($r_s = -0,462$ e $\rho=0,000$) e cultura agrícola ($r_s = -0,354$ e $\rho=0,000$). Tal fato confirma a hipótese de que as florestas são determinantes para as concentrações de sódio nas águas fluviais da região.

Por sua vez, na bacia do Guamá, a correlação entre as classes de uso e cobertura da terra com a concentração de sódio mostrou correlação fraca e inversa com pastagem ($r_s = -0,324$ e $\rho=0,000$) e fracas correlações diretas com floresta ($r_s=0,339$ e $\rho=0,000$) e cultura agrícola ($r_s=0,302$ e $\rho=0,001$). Essas correlações, apesar de fracas, também são coerentes com a conclusão de que maiores concentrações de sódio tendem a ocorrer nas microbacias florestadas e as menores em microbacias com pastagem.

Com relação a variação temporal, as concentrações de sódio apresentaram uma maior média no período chuvoso em Marapanim, enquanto que, por outro lado, no Guamá (tabela 6) o período seco foi o que apresentou maior concentração média de Na^+ , repetindo-se o observado para Ca^{2+} e Mg^{2+} . Este comportamento na variação sazonal desses cátions também foi observado por Gouveia-Neto (2003). No entanto, essas variações das médias não foram estatisticamente significativas pela análise de variância.

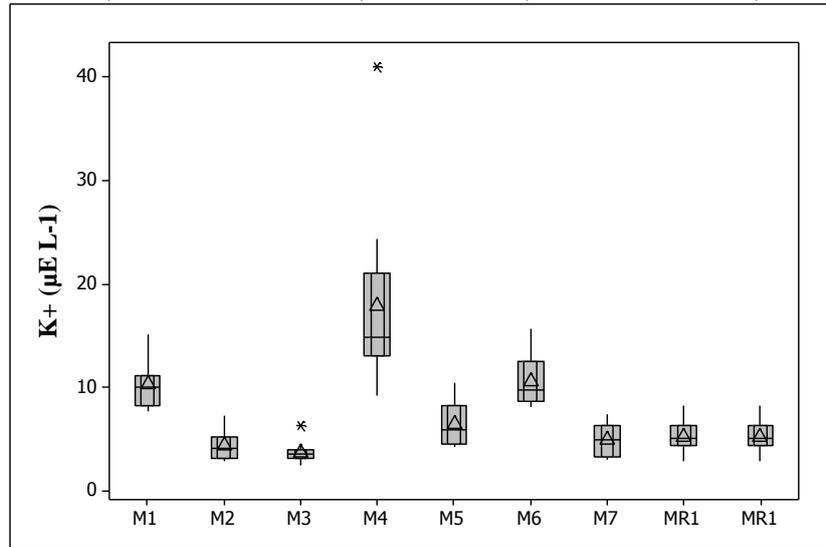
- **Potássio**

O gráfico da figura 33 apresenta as concentrações de potássio (K^+) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. A maior concentração média de K^+ ocorreu na M4, que possui alto percentual de área de pastagem, seguida da M6, onde a prática de derruba e queima na agricultura foi relatada, as quais apresentaram valores de $17,89 (\pm 2,42) \mu E L^{-1}$ e $10,63 (\pm 0,65) \mu E L^{-1}$, respectivamente. Destaca-se também a M1 com média (\pm erro padrão) de $10,32 (\pm 0,70) \mu E L^{-1}$, enquanto que nas microbacias de referência as concentrações de K^+ foram $5,03 (\pm 0,46) \mu E L^{-1}$ em MR1 e $5,33 (\pm 0,42) \mu E L^{-1}$ em MR2.

O igarapé Pirapema da microbacia M4, que apresentou maiores concentrações de K^+ , serve de bebedouro para os gados, que entram em suas águas e assim promovem aporte de material rico em K^+ , como a urina. Estudo de Germer et al. (2009) também concluiu que as pastagens (devido a urina dos bovinos) são fontes desse soluto para os cursos d'água. Nesta microbacia, as concentrações de potássio foram diretamente correlacionadas com cálcio ($r_s=0,706$ e $\rho=0,010$) e com magnésio ($r_s=0,804$ e $\rho=0,001$). Na M6, a cinza proveniente da queima da roça e da mata ripária, reportadas anteriormente, parecem ser determinantes para o aporte de potássio nessas águas. Já na M1, os sistemas de produção agropecuários, incluindo sistemas agroflorestais, com sistemas de irrigação e uso de fertilizantes químicos (NPK), parecem ser determinantes para as altas concentrações desse soluto no igarapé.

A concentração de potássio e as classes de uso da terra na bacia de Marapanim apresentaram correlações fracas e diretas com pastagem ($r_s= 0,329$ e $\rho=0,000$) e cultura agrícola ($r_s= 0,451$ e $\rho=0,000$) e correlações inversas com floresta ($r_s= - 0,466$ e $\rho=0,000$) e com capoeira baixa ($r_s= - 0,541$ e $\rho=0,000$). Campos (2010) cita o uso de fertilizantes e a queima da biomassa como importantes fontes de K^+ para a água e que este cátion encontrado na água da chuva pode ser um marcador da queima da biomassa.

Figura 33 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de K^+ das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12.

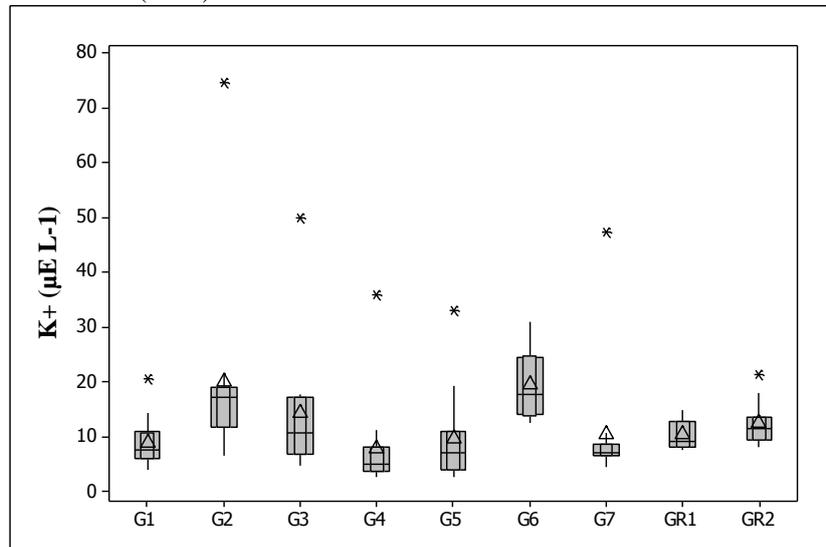


Fonte: Do autor.

O gráfico da figura 34 apresenta as concentrações de potássio (K^+) nos igarapés das microbacias da bacia do Guamá. Como se pode observar, as maiores concentrações desse soluto ocorreram na G2 com média (\pm erro padrão) de $20,16 (\pm 5,12) \mu E L^{-1}$ e na G6 com média (\pm erro padrão) de $19,56 (\pm 1,96) \mu E L^{-1}$ (tabela 8). Esses valores estão acima das concentrações nos igarapés das microbacias de referência, que apresentaram valores de $10,43 (\pm 0,74) \mu E L^{-1}$ na GR1 e $12,51 (\pm 1,12) \mu E L^{-1}$ na GR2. Da mesma forma que a M4, a G2 é também influenciada por pastagem e serve de bebedouro e de banho para o gado (como observado em campo), que podem por meio de urina desses animais contribuir para o aporte de K^+ nesse igarapé e isto pode explicar suas altas concentrações, além é claro da queima de biomassa (pastagem) já relatada.

Houve correlação direta entre a concentração de potássio e cálcio na G2 ($r_s=0,664$ e $p=0,018$). Na escala de bacia, não houve correlação significativa entre as classes de uso da terra e as concentrações de potássio na bacia de Guamá.

Figura 34 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de K⁺ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e v valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).



Fonte: Do autor.

A variação temporal de potássio, considerando os períodos seco e chuvoso (tabela 6) revela um padrão sazonal, pois em ambas as bacias (de Marapanim e do Guamá) as médias foram maiores no período seco com $7,968 \mu\text{E L}^{-1}$ para Marapanim e $13,786 \mu\text{E L}^{-1}$ para Guamá, concordando com o mesmo padrão observado por Gouveia-Neto et al. (2003). No entanto, não houve diferença significativa das médias para os dois períodos pela análise de variância. Na bacia de Marapanim, potássio apresentou correlação fraca e inversa com a vazão ($r_s = -0,316$ e $\rho = 0,000$) e está de acordo com o padrão sazonal observado.

Tabela 8 - Concentração média e erro-padrão dos íons maiores - K^+ , Cl^- e SO_4^{2-} nos igarapés das microbacias avaliadas.

| MICROBACIA | PARÂMETROS | | |
|------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| | K^+ ($\mu E L^{-1}$) | Cl^- ($\mu E L^{-1}$) | SO_4^{2-} ($\mu E L^{-1}$) |
| M1 | 10,32 (\pm 0,70) | 84,32 (\pm 4,52) | 17,74 (\pm 0,26) |
| M2 | 4,39 (\pm 0,36) | 83,41 (\pm 2,61) | 31,02 (\pm 1,06) |
| M3 | 3,72 (\pm 0,28) | 79,50 (\pm 0,82) | 16,03 (\pm 0,28) |
| M4 | 17,89 (\pm 2,42) | 86,83 (\pm 1,99) | 13,61 (\pm 0,92) |
| M5 | 6,53 (\pm 0,63) | 79,22 (\pm 1,28) | 16,78 (\pm 0,54) |
| M6 | 10,63 (\pm 0,65) | 79,14 (\pm 0,72) | 7,12 (\pm 0,24) |
| M7 | 5,03 (\pm 0,46) | 81,61 (\pm 1,11) | 10,99 (\pm 0,43) |
| MR1 | 5,33 (\pm 0,42) | 109,78 (\pm 6,73) | 10,88 (\pm 0,25) |
| MR2 | 6,70 (\pm 0,55) | 106,05 (\pm 2,39) | 13,28 (\pm 0,27) |
| G1 | 9,06 (\pm 1,32) | 101,88 (\pm 5,06) | 10,84 (\pm 1,22) |
| G2 | 20,16 (\pm 5,12) | 98,30 (\pm 10,20) | 7,55 (\pm 1,14) |
| G3 | 14,45 (\pm 3,50) | 93,47 (\pm 9,81) | 16,19 (\pm 4,96) |
| G4 | 8,04 (\pm 2,63) | 85,62 (\pm 5,90) | 16,43 (\pm 1,33) |
| G5 | 9,76 (\pm 2,49) | 84,70 (\pm 11,50) | 8,62 (\pm 1,44) |
| G6 | 19,56 (\pm 1,96) | 90,85 (\pm 5,60) | 15,53 (\pm 0,77) |
| G7 | 10,61 (\pm 3,38) | 88,91 (\pm 9,36) | 18,25 (\pm 2,10) |
| GR1 | 10,43 (\pm 0,74) | 102,55 (\pm 5,46) | 11,59 (\pm 0,73) |
| GR2 | 12,51 (\pm 1,12) | 118,95 (\pm 7,92) | 14,53 (\pm 2,79) |

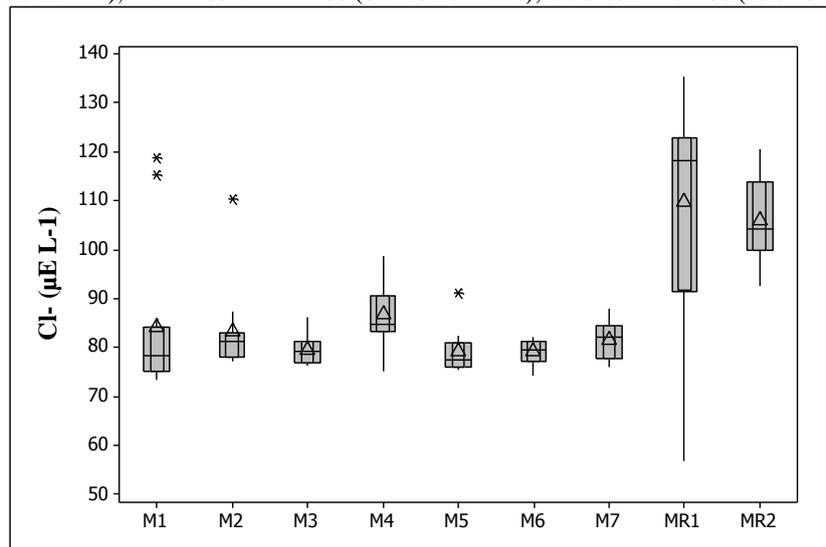
Fonte: Do autor.

- **Cloreto**

O gráfico da figura 35 apresenta as concentrações de cloreto (Cl^-) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. Destaca-se que as maiores concentrações de Cl^- ocorreram nas duas microbacias florestadas (MR1 e MR2) com concentração média (\pm erro padrão) de 109,78 (\pm 6,73) $\mu E L^{-1}$ na MR1 e de 106,05 (\pm 2,39) $\mu E L^{-1}$ na MR2. Em M4 (pastagem), a concentração média foi 86,83 (\pm 1,99) $\mu E L^{-1}$, sendo esta a microbacia que apresentou a maior concentração média dentre as microbacias com uso agropecuário, e pode ser explicada pela entrada de cloreto nas águas desse igarapé provenientes de sal mineral, que faz parte da dieta do gado (BIGGS et al., 2002). A análise de correlação de Spearman na bacia de Marapanim indica uma correlação direta entre cloreto e floresta ($r_s= 0,582$ e $\rho=0,000$), e correlação inversa com as demais classes de uso, com destaque para pastagem ($r_s=-0,437$ e $\rho=0,000$), capoeira alta ($r_s= -0,661$ e $\rho=0,000$), cultura agrícola ($r_s= -0,412$ e $\rho=0,000$) e solo

exposto ($r_s = -0,484$ e $\rho = 0,000$). Estes resultados estatísticos são coerentes com os resultados já discutidos: as maiores concentrações de Cl^- ocorreram em microbacias florestadas e as menores nas bacias com uso agropecuário.

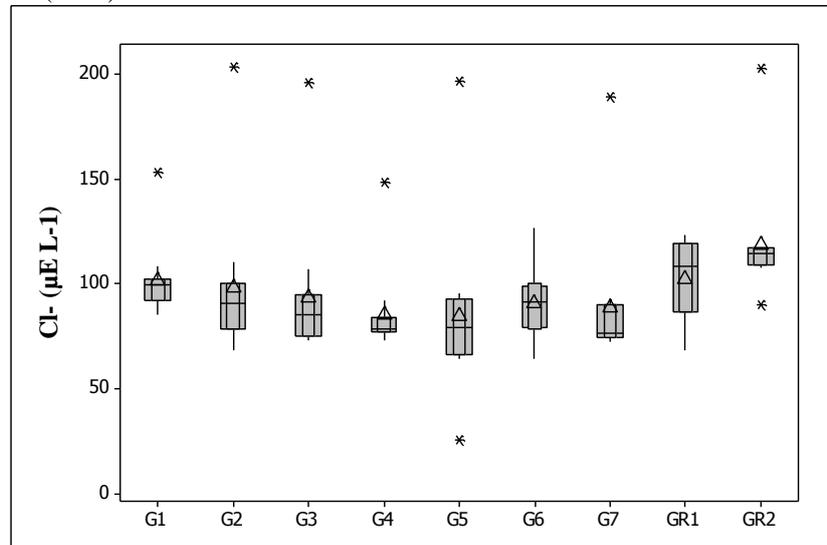
Figura 35 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Cl^- das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$.



Fonte: Do autor.

Da mesma forma que nas microbacias de Marapanim, as microbacias florestadas do Guamá, apresentaram maiores concentrações Cl^- do que as microbacias com uso agropecuário. As suas médias (\pm erro padrão) foram $102,55 (\pm 5,46) \mu\text{E L}^{-1}$ e $118,95 (\pm 7,92) \mu\text{E L}^{-1}$ em GR1 e GR2, respectivamente (figura 35). Houve correlação fraca e direta entre cloreto e floresta ($r_s = 0,424$ e $\rho = 0,000$), e correlação inversa com as demais classes de uso, com destaque para a pastagem ($r_s = -0,418$ e $\rho = 0,000$), o que indica que as florestas contribuem para o aporte de cloreto para as água fluviais. Germer et al. (2007) estudou a dinâmica sazonal da composição química da água chuva e do throughfall nos períodos seco e chuvoso e encontrou maior entrada de cloreto e sódio durante a estação chuvosa, o que indica que a maior fonte desses solutos nas microbacias é a chuva e que a concentração de cloreto é enriquecida quando interage com o dossel da floresta (GERMER et al., 2007; GERMER et al., 2009; ZIMMERMANN et al., 2008). Este fato explica as maiores concentrações de cloreto nas microbacias florestadas.

Figura 36 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de Cl⁻ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), n=12, exceto na G6 (n=11).



Fonte: Do autor.

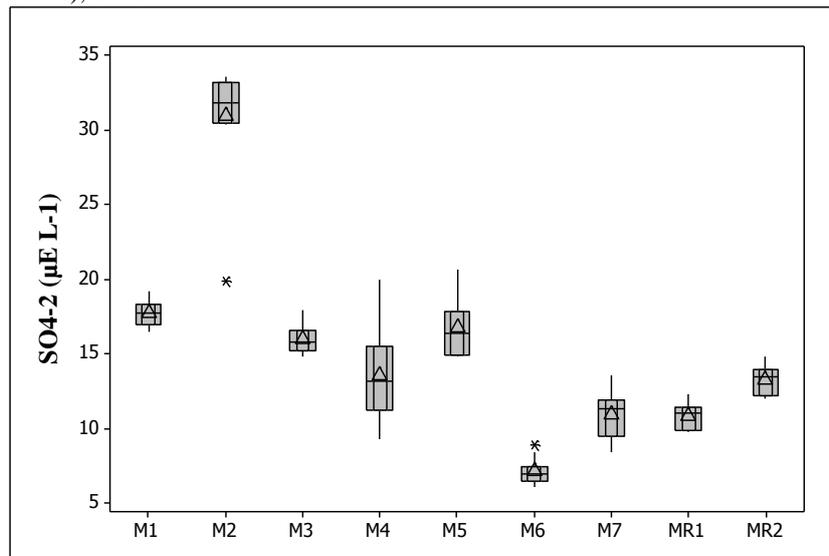
A variação temporal de Cl⁻ é apresentada na tabela 6. Esta tabela mostra que a concentração desse íon é maior durante no período seco em ambas bacias (Marapanim e Guamá). Este mesmo comportamento sazonal de cloreto já havia sido constatado por Gouveia-Neto et al. (2003), no entanto, apesar de ser maior a concentração de cloreto na água de chuva na estação chuvosa, segundo foi constatado por Germer et al. (2007), o efeito diluidor sobre este soluto durante as altas vazões contribui para a redução da concentração de cloreto no período chuvoso. A análise de variância não apresentou diferença significativa entre as médias dos períodos sazonais. Na bacia do Marapanim, a correlação inversa ($r_s=0,251$ e $\rho=0,008$) entre a vazão e cloreto mostrou-se coerente com o padrão sazonal observado, que reflete o efeito diluidor das maiores vazões.

- **Sulfato**

O gráfico da figura 37 apresenta as concentrações de sulfato (SO₄²⁻) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. Observa-se que a maior concentração média ocorreu na M2, com 31,01 µE L⁻¹. As microbacias de referência (MR1 e MR2) apresentaram concentrações médias (± erros padrão) de 10,99 (±0,43) µE L⁻¹ e 10,88 (±0,25) µE L⁻¹, respectivamente. Os igarapés de M1, M3 e M5 também apresentaram valores acima das

referências. Enquanto que na M6 as concentrações observadas no seu igarapé estão abaixo das microbacias de referência. Em relação à análise de correlação de sulfato com o uso da terra nas microbacias de Marapanim obteve-se correlação direta deste íon com a capoeira alta ($r_s=0,604$ e $\rho=0,000$) e capoeira baixa ($r_s=0,513$ e $\rho=0,000$).

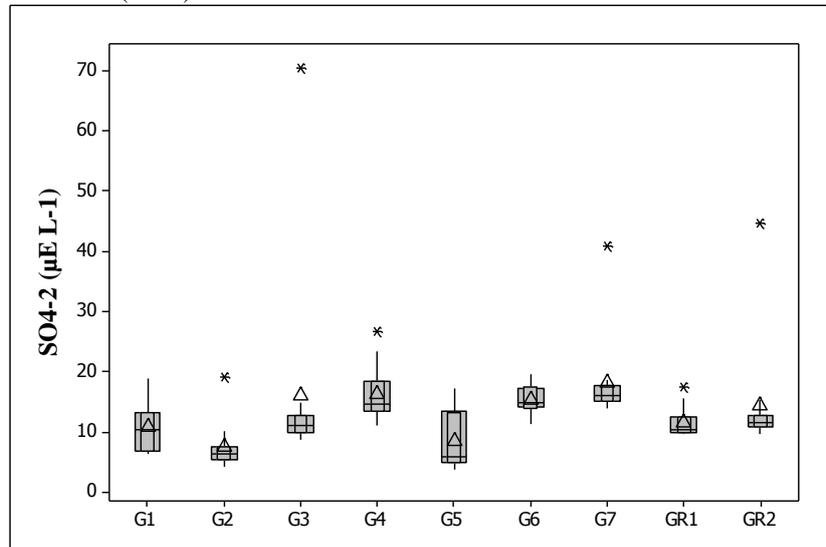
Figura 37 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de SO_4^{2-} das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico-outliers), $n=12$.



Fonte: Do autor.

O gráfico da figura 38 apresenta as concentrações de sulfato (SO_4^{2-}) nos igarapés das microbacias da bacia do Guamá. Destaca-se a G7 por apresentar a maior concentração média (\pm erro padrão) dentre as microbacias do Guamá, com valor de $18,25 (2,10) \mu\text{E L}^{-1}$. Esse valor está relativamente próximo aos encontrados nas microbacias de referência, que foram de $11,59 (\pm 0,73) \mu\text{E L}^{-1}$ na GR1 e $14,53 (\pm 2,79) \mu\text{E L}^{-1}$ e na GR2. As bacias com maior percentual de área de pastagem (G2 e G5) tiveram as menores concentrações de SO_4^{2-} , enquanto as demais microbacias apresentaram concentração na mesma faixa das microbacias de referência. Observou-se correlação direta das concentrações de sulfato com o percentual de floresta ($r_s=0,416$ e $\rho=0,000$). Outras correlações diretas, mas fracas, ocorreram com as classes solo exposto ($r_s=0,397$ e $\rho=0,000$) e habitações ($r_s=0,398$ e $\rho=0,000$). Por outro lado, com percentual de várzea, apresentou correlação inversa com sulfato ($r_s=-0,347$ e $\rho=0,000$).

Figura 38 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de SO_4^{2-} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor.

O enxofre (S) pode se apresentar sob várias formas no ambiente aquático, sendo as mais frequentes o íon sulfato (SO_4^{2-}) e o gás sulfídrico. O enxofre é liberado na forma de sulfeto pela decomposição orgânica e é rapidamente transformado a sulfato (MCCLAIN; BILBY; TRISKA, 1998). O íon SO_4^{2-} , no entanto, é a forma mais importante nos estudos hidrobiogeoquímicos, pois participa da produtividade do ecossistema aquático (ESTEVES, 1998). As principais fontes desse soluto nas águas naturais são provenientes da decomposição de rochas ou através das chuvas que lavam a atmosfera ou ainda através de adubos agrícolas a base de enxofre (VITOUSEK, 1983; ESTEVES, op.cit). Por conta de sua diversidade de fontes não é tarefa fácil relacionar o sulfato com fontes antrópicas difusas para o meio fluvial.

As concentrações médias dos dois períodos sazonais do sulfato são apresentadas na tabela 6. Pode-se observar que o sulfato apresentou padrão sazonal com maiores concentrações médias no período seco nas duas bacias avaliadas ($15,575 \mu\text{E L}^{-1}$ em Marapanim e $14,353 \mu\text{E L}^{-1}$ no Guamá), mas a análise de variância não demonstrou diferença significativa entre as médias. Este comportamento sazonal de sulfato foi também observado por Gouveia-Neto et al. (2003).

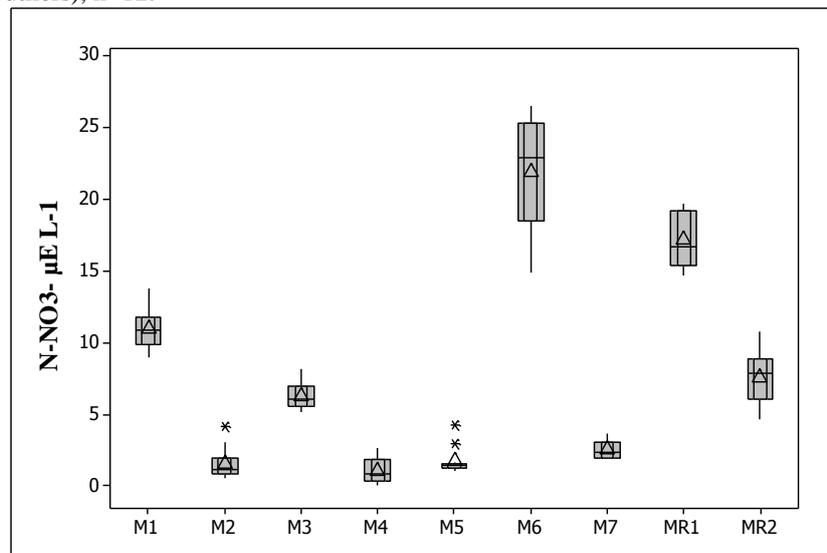
- **Nitrato**

O gráfico da figura 39 apresenta as concentrações de nitrato (N-NO_3^-) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. A concentração média (\pm erro padrão) em M6 ($21,89 \pm 1,13 \mu\text{E L}^{-1}$) foi a maior observada em Marapanim, ficando próxima da MR1, que apresentou valores de $17,22 (\pm 0,54) \mu\text{E L}^{-1}$ (tabela 9). Já o igarapé na microbacia M1 apresentou a segunda maior concentração de N-NO_3^- com $11,03 (\pm 0,41) \mu\text{E L}^{-1}$, ficando da concentração em MR2 que foi $7,53 (\pm 0,51) \mu\text{E L}^{-1}$. Por outro lado, destaca-se que as menores concentrações de N-NO_3^- ocorreram nas microbacias M2 e M4 (essa última com percentual importante de área de pastagem).

Os valores mais elevados de N-NO_3^- em M6 pode ser a razão do crescimento de macrófitas aquáticas nesse igarapé (figura 21), e pode também refletir importantes taxas de nitrificação ocasionado a queda de OD nessas águas como observado (FIORUCCI e BENEDETTI-FILHO, 2005). Por sua vez, na M1 que também se destacou com concentrações de nitrato mais alta, sugere influência da agricultura praticada em suas margens: sistema de cultivo consorciado de hortaliças e frutíferas com utilização de fertilizantes químicos (figura 40 A). Estes nutrientes estão chegando à água do igarapé, provavelmente pela chuva, via escoamento superficial, que é potencializado pelo revelo íngreme nessa microbacia. Durante as campanhas foram encontrados embalagens de fertilizantes foliares a base de nitrogênio, fósforo e potássio (figura 40 B). Fertilizantes e defensivos agrícolas são frequentemente utilizados sem preocupação com a qualidade do meio ambiente e dos recursos hídricos na bacia do Cumaru em Igarapé-Açu, e que fica próxima à área deste estudo (LIMA; SOUZA; FIGUEIREDO, 2007). Nas microbacias florestadas, principalmente em MR1, os valores de nitrato mais altos devem-se provavelmente à vegetação de igapó, por meio da degradação e mineralização de sua matéria orgânica. O processo de nitrificação no canal do igarapé (McCLAIN et al, 1994) poderiam ser fontes de N-NO_3^- nas águas de pequenos igarapés florestados (THOMAS et al, 2004). Em M3 que ainda preserva parte de mata ciliar, o nitrato apresentou concentração comparável a MR2 e pode ser atribuído em parte, as mesmas razões apresentadas para os igarapés de referência. Em igarapés de pastagens, como o igarapé Pirapema (M4), que apresentou as menores concentrações dentre os igarapés de Marapanim, com $1,11 (\pm 0,25) \mu\text{E L}^{-1}$, pode ser consequência do desmatamento que afeta a lixiviação de nitrogênio (RICHEY et al, 1997), das baixas concentrações na solução do solo de pastagens (NEILL et al, 1995), ou do consumo de nitrato associados com baixas concentrações de OD (THOMAS et al, 2004).

Para a bacia de Marapanim a análise de correlação entre a concentração de nitrato e o uso da terra nesta bacia revelou correlação inversa com capoeira baixa ($r_s = -0,559$ e $\rho = 0,000$) e solo exposto ($r_s = -0,465$ e $\rho = 0,000$) e uma correlação direta com cultura agrícola ($r_s = 0,326$ e $\rho = 0,000$). Isto fortalece a hipótese de que as concentrações de nitrato são mais altas nas microbacias com predomínio agrícola.

Figura 39 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NO_3^- das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico-outliers), $n=12$.



Fonte: Do autor.

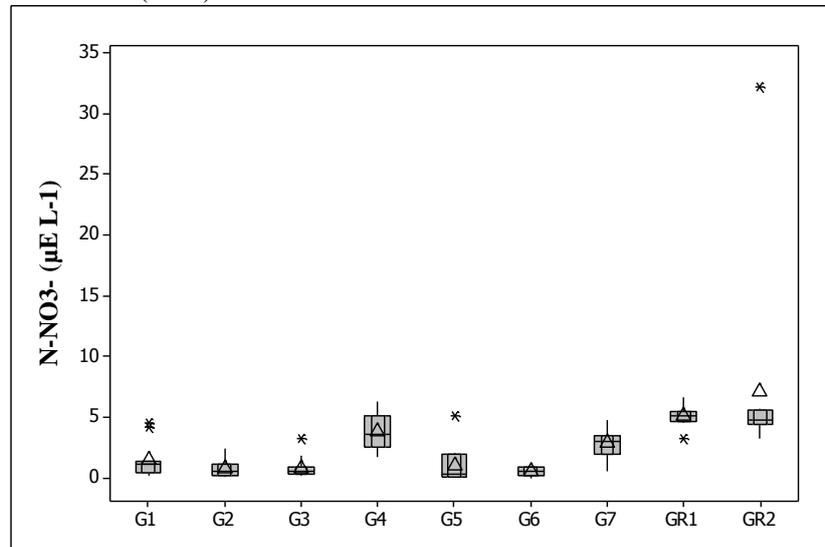
Figura 40 - Microbacia M1 com sistema de lavoura irrigada consorciada de frutíferas e hortaliças (A) e embalagem de fertilizantes (B) encontrados durante as campanhas.



Fonte: Do autor.

Nas águas fluviais das microbacias com uso agropecuário no Guamá (figura 41) os maiores valores de média (\pm erro padrão) de nitrato (N-NO_3^-) ocorreram na G4 com $3,81 (\pm 0,42) \mu\text{E L}^{-1}$ e na G7 $2,88 (\pm 0,33) \mu\text{E L}^{-1}$. Essas concentrações são menores do que as das microbacias de referência (GR1 e GR2), as quais em consequência de aportes do ecossistema florestal tiveram as maiores concentrações de N-NO_3^- ($5,11 \mu\text{E L}^{-1}$ e $7,08 \mu\text{E L}^{-1}$, respectivamente). Neill et al. (2001) estudaram bacias pareadas na Amazônia Central - uma com floresta e outra com pastagem - e observaram também maiores concentrações de nitrato na microbacia de floresta. Figueiredo et al. (2010) também observaram esta tendência em estudos no Nordeste Paraense. A análise de correlação entre as concentrações de nitrato e os percentuais de uso da terra na bacia do Guamá, revelou uma correlação direta muito significativa com o percentual de floresta ($r_s=0,749$ e $\rho=0,000$) e correlação inversa com as classes pastagem ($r_s= -0,600$ e $\rho=0,000$), capoeira alta ($r_s= -0,512$ e $\rho=0,000$), capoeira baixa ($r_s=0,569$ e $\rho=0,000$), cultura agrícola ($r_s= -0,435$ e $\rho=0,000$), solo exposto ($r_s= -0,450$ e $\rho=0,000$) e várzea ($r_s= -0,627$ e $\rho=0,000$). Estes resultados confirmam que a conversão de áreas de floresta para implantação de atividades agropecuárias provoca a perda de nitrato dos solos e confirmam os estudos de Neill et al. (2001) e Figueiredo et al. (2010).

Figura 41- Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NO_3^- das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais), valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor.

O nitrogênio é um elemento muito importante para o metabolismo de organismos aquático e é limitante quando presente em baixa concentração (ESTEVES, 1998; GUNDERSEN; BASHKIN, 1994). O nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3^-) é o principal nutriente para os organismos produtores. As principais fontes naturais desse íon para o ecossistema aquático são a chuva, o material orgânico e inorgânico de origem alóctone e a fixação do nitrogênio molecular dentro do próprio meio aquático (ESTEVES, op.cit). Por outro lado, o uso de fertilizantes agrícolas é destacado como a principal fonte antropogênica de nitrogênio para os rios provenientes de atividades agropecuárias (REZENDE, 2002). Yoshikawa et al. (2008) estudaram o balanço de nitrogênio em bacias sob uso agrícola em região tropical e concluíram que a maior fonte de nitrogênio para os rios é a aplicação de fertilizantes na agricultura, contribuindo com $31,1 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ou 71% do total que entra na bacia. Outra de perda de nitrogênio ocorre em áreas desmatadas para a implantação de atividades agropecuárias, onde este elemento é perdido por lixiviação para águas subterrâneas ou pela mobilidade na solução do solo via escoamento superficial (GUNDERSEN; BASHKIN, op.cit) ou ainda por volatilização através uso do fogo para queima de pastagens ou implantação de roças (McCLAIN; BILBY; TRISKA; 1998).

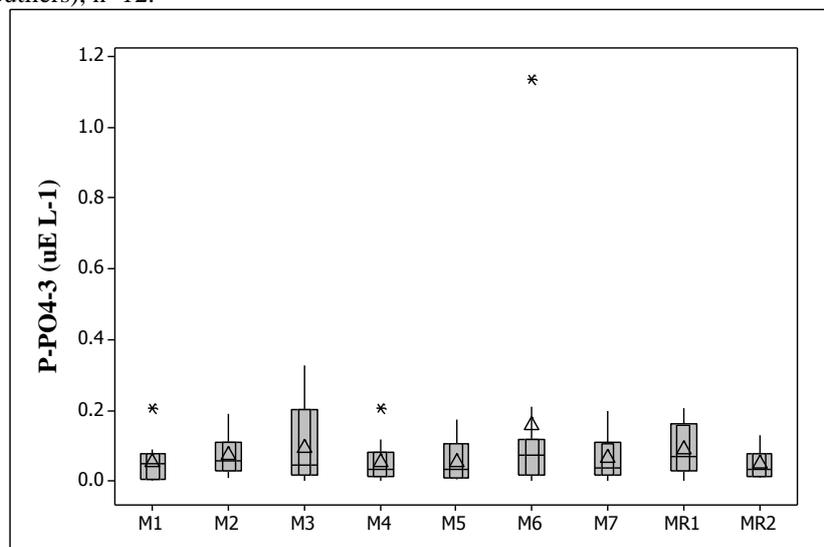
A variação temporal desse íon revelou uma tendência de maior concentração no período seco nas duas bacias, com $8,918 \text{ } \mu\text{E L}^{-1}$ para Marapanim e $2,677 \text{ } \mu\text{E L}^{-1}$ para o Guamá (tabela 6). Esse comportamento também foi observado por Thomas et al. (2004) e a

transição da estação chuvosa para a estação seca (e vice-versa) provavelmente exerce efeito significativo na atividade microbiana e conseqüentemente, na dinâmica da ciclagem de nitrogênio no solo (PARRON; BUSTAMANTE; PRADO; 2003). A análise de correlação do nitrato com a vazão apresentou resultado coerente com a variação sazonal observada na bacia de Marapanim, pois revelou correlação inversa ($r_s = -0,244$ e $\rho = 0,010$). Para a bacia do Guamá, por outro lado, não houve correlação entre nitrato e vazão.

- **Fosfato**

No gráfico da figura 42 e na tabela 9 podem ser observadas as concentrações de fosfato ($P-PO_4^{3-}$) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. No igarapé Ubim (microbacia M6) ocorreu os maiores valores de concentração média (\pm erro padrão) de $P-PO_4^{3-}$ ($0,160 \pm 0,09 \mu E L^{-1}$). Este igarapé também apresentou valores mais altos de nitrato e potássio, nutrientes estes que promovem crescimento excessivo de macrófitas aquáticas, conforme já reportado anteriormente. Nas demais microbacias, as concentrações estão na mesma faixa das microbacias de referência, as quais apresentaram concentrações de $P-PO_4^{3-}$ de $0,08 (\pm 0,02) \mu E L^{-1}$ e $0,04 (\pm 0,01) \mu E L^{-1}$ em MR1 e MR2, respectivamente. Na bacia do rio Marapanim, o fosfato não apresentou correlação com nenhuma das classes de uso e cobertura da terra.

Figura 42 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de $P-PO_4^{3-}$ das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico-outliers), $n=12$.

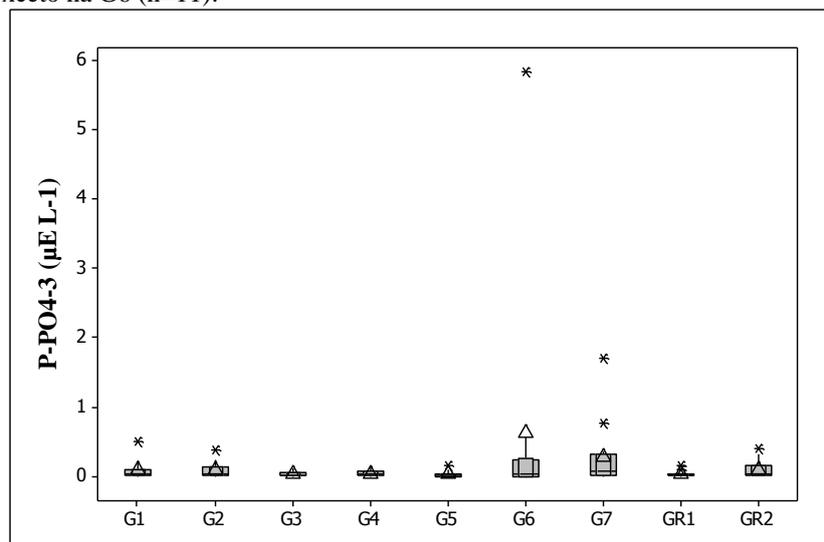


Fonte: Do autor.

Para os igarapés da microbacias do Guamá (figura 43 e tabela 9) os maiores valores de concentração média (\pm erro padrão) de P-PO_4^{3-} foram observados em G6 e G7: $0,625 (\pm 0,524) \mu\text{E L}^{-1}$ e $0,291 (\pm 0,144) \mu\text{E L}^{-1}$, respectivamente. Essas concentrações foram maiores que as das microbacias de referência que foram de $0,039 (\pm 0,013) \mu\text{E L}^{-1}$ na GR1 e $0,105 (\pm 0,038) \mu\text{E L}^{-1}$ na GR2. A análise de correlação entre as concentrações de fosfato com o uso da terra na bacia do Guamá revelou correlação direta com floresta ($r_s=0,746$ e $\rho=0,000$) e correlação inversa com mata de várzea ($r_s= -0,627$ e $\rho=0,000$), pastagem ($r_s= -0,600$ e $\rho=0,000$), capoeira baixa ($r_s= -0,569$ e $\rho=0,000$), capoeira alta ($r_s= -0,512$ e $\rho=0,000$), cultura agrícola ($r_s= -0,435$ e $\rho=0,000$) e solo exposto ($r_s= -0,450$ e $\rho=0,000$).

A baixa mobilidade de fosfato na solução do solo e sua rápida absorção pelas plantas podem ser a causa das baixas concentrações nas águas superficiais dessas microbacias (REZENDE, 2002). O maior problema ecológico do excesso de fósforo, juntamente com o nitrogênio nos ambientes aquáticos é a eutrofização, que consiste no crescimento excessivo de algas, e que pode acarretar em mortandade de peixes devido a redução do OD em águas eutrofizadas (BRAGA et al, 2002; ESTEVES,1998; MILLER-JUNIOR, 2008; TELLES; DOMINGUES, 2006).

Figura 43 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de P-PO_4^{3-} das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico- outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte: Do autor

Vale ressaltar que, o fósforo assim como o nitrogênio desempenha importante papel no metabolismo animal e vegetal, e sua presença em água natural é em função de um processo cíclico do qual as formas combinadas de fósforo estão continuamente sofrendo

decomposição e síntese (ESTEVES,1998). Tanto a forma orgânica como a inorgânica de P em águas naturais resultam da lixiviação do solo, decomposição de rochas fosfatadas e decomposição da matéria orgânica de origem alóctone, assim como de atividades antrópicas como a aplicação de adubos na agricultura, despejo de esgoto industrial e doméstico (LIMA, 2008). Esteves (1998) afirma que a liberação de fosfato em água ocorre mais facilmente em ambientes com condição de baixa concentração de OD, o que poderia explicar as maiores concentrações de fosfato na M6 e na G6, já que essas microbacias foram as que apresentaram baixos percentuais de saturação de OD.

A variação temporal do fosfato (tabela 6) na bacia do Marapanim caracterizou-se por maior concentração média para o período seco com $0,097 \mu\text{E L}^{-1}$. Por outro lado, na bacia do Guamá, a maior concentração média ocorreu no período chuvoso com $0,214 \mu\text{E L}^{-1}$. No entanto, essa diferença das médias nos dois períodos sazonais não foi significativa para análise de variância.

Tabela 9 - Médias e erros padrão das concentrações de N-NO_3^- , P-PO_4^{3-} e N-NH_4^+ nos igarapés das microbacias avaliadas.

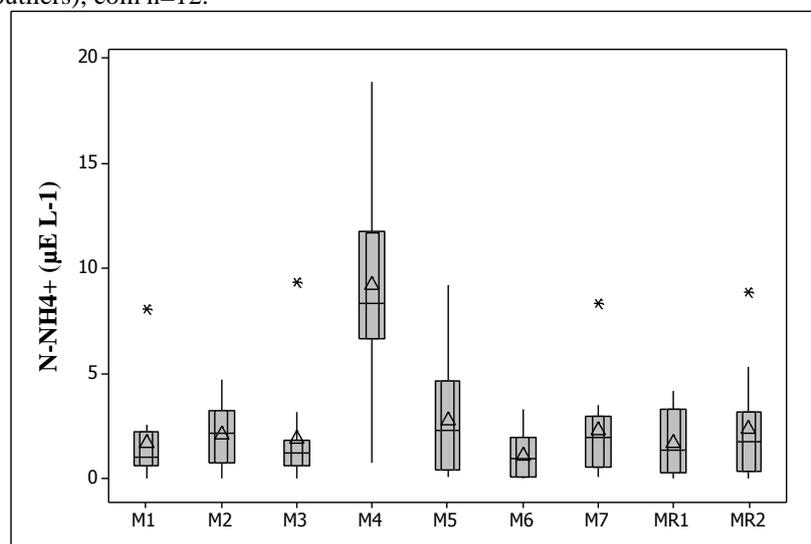
| MICROBACIA | PARÂMETROS | | |
|------------|--|---|--|
| | $\text{N-NO}_3^- (\mu\text{E L}^{-1})$ | $\text{P-PO}_4^{3-} (\mu\text{E L}^{-1})$ | $\text{N-NH}_4^+ (\mu\text{E L}^{-1})$ |
| M1 | 11,03 ($\pm 0,41$) | 0,055 ($\pm 0,017$) | 1,71 ($\pm 0,61$) |
| M2 | 1,56 ($\pm 0,31$) | 0,075 ($\pm 0,017$) | 2,11 ($\pm 0,44$) |
| M3 | 6,31 ($\pm 0,29$) | 0,096 ($\pm 0,031$) | 1,88 ($\pm 0,72$) |
| M4 | 1,11 ($\pm 0,25$) | 0,054 ($\pm 0,017$) | 9,23 ($\pm 1,45$) |
| M5 | 1,72 ($\pm 0,27$) | 0,055 ($\pm 0,016$) | 2,80 ($\pm 0,78$) |
| M6 | 21,90 ($\pm 1,13$) | 0,160 ($\pm 0,090$) | 1,12 ($\pm 0,30$) |
| M7 | 2,55 ($\pm 0,18$) | 0,064 ($\pm 0,017$) | 2,28 ($\pm 0,64$) |
| MR1 | 17,22 ($\pm 0,54$) | 0,088 ($\pm 0,020$) | 1,73 ($\pm 0,44$) |
| MR2 | 7,56 ($\pm 0,51$) | 0,049 ($\pm 0,011$) | 2,35 ($\pm 0,74$) |
| G1 | 1,45 ($\pm 0,41$) | 0,092 ($\pm 0,041$) | 0,93 ($\pm 0,42$) |
| G2 | 0,83 ($\pm 0,24$) | 0,091 ($\pm 0,033$) | 1,82 ($\pm 0,46$) |
| G3 | 0,85 ($\pm 0,24$) | 0,039 ($\pm 0,010$) | 1,59 ($\pm 0,47$) |
| G4 | 3,81 ($\pm 0,42$) | 0,048 ($\pm 0,011$) | 0,86 ($\pm 0,18$) |
| G5 | 1,06 ($\pm 0,43$) | 0,033 ($\pm 0,013$) | 2,84 ($\pm 0,76$) |
| G6 | 0,51 ($\pm 0,11$) | 0,625 ($\pm 0,524$) | 4,60 ($\pm 1,52$) |
| G7 | 2,88 ($\pm 0,33$) | 0,291 ($\pm 0,144$) | 1,74 ($\pm 0,73$) |
| GR1 | 5,11 ($\pm 0,24$) | 0,039 ($\pm 0,013$) | 1,73 ($\pm 0,46$) |
| GR2 | 7,09 ($\pm 2,29$) | 0,105 ($\pm 0,038$) | 3,86 ($\pm 1,51$) |

Fonte: Do autor.

- **Amônio**

No gráfico da figura 44 e na tabela 9 podem ser observadas as concentrações de amônio (N-NH_4^+) nos igarapés das microbacias da bacia do Marapanim. Dentre as microbacias de uso agropecuário, destaca-se a com maior percentual de pastagem (M4) que apresentou a maior concentração com média (\pm erro padrão) de $9,23 (\pm 1,45) \mu\text{E L}^{-1}$. Por outro lado, a M6 foi que apresentou a menor concentração com $1,12 (\pm 0,30) \mu\text{E L}^{-1}$, enquanto que nos igarapés das microbacias de referência, as concentrações foram $1,73 (\pm 0,44) \mu\text{E L}^{-1}$ na MR1 e $2,35 (\pm 0,74) \mu\text{E L}^{-1}$ na MR2. As maiores concentrações de amônio em microbacia de pastagem estão de acordo Neill et al. (2011), que analisando as formas de nitrogênio em microbacias pareadas de floresta e de pastagem, observaram domínio do íon amônio nas águas fluviais das microbacias com pastagem. Da mesma forma, Neill et al (1995; 1999) analisaram também a dinâmica de nitrogênio em solos florestados e em solos de pastagens e observaram a dominância de amônio nas pastagens.

Figura 44 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NH_4^+ das microbacias do Marapanim, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico-outliers), com $n=12$.

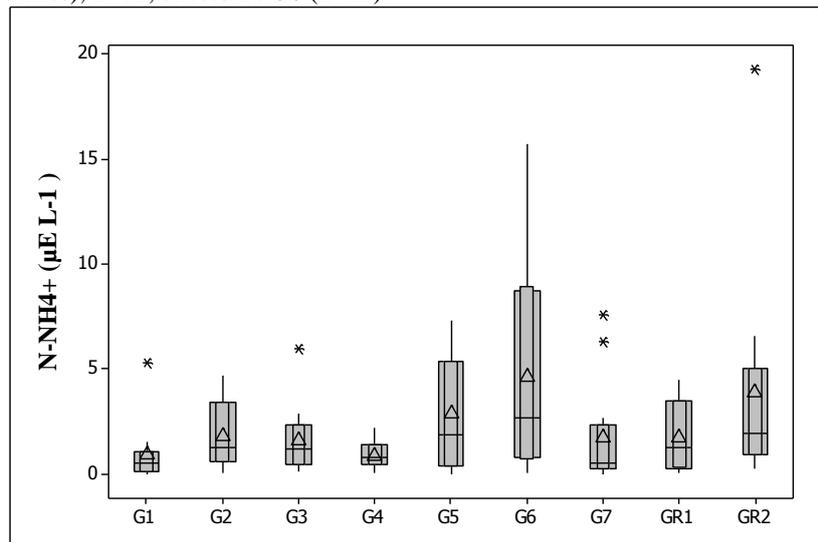


Fonte: Do autor.

No gráfico da figura 45 e na tabela 9 podem ser observadas as concentrações de amônio (N-NH_4^+) nos igarapés das microbacias da bacia do Guamá. Destacam-se com as maiores concentrações a G6, seguida da G5 (pastagem), com valores de $4,60 (\pm 1,52) \mu\text{E L}^{-1}$ e $2,84 (\pm 0,76) \mu\text{E L}^{-1}$, respectivamente. A menor concentração dentre as microbacias com uso

agropecuário ocorreu na G4 com $0,86 (\pm 0,18) \mu\text{E L}^{-1}$. As microbacias de referência apresentaram valores médios de $1,73 \mu\text{E L}^{-1}$ na GR1 e $3,86 \mu\text{E L}^{-1}$ na GR2.

Figura 45 - Gráficos do tipo boxplot dos valores de N-NH_4^+ das microbacias do Guamá, contendo mediana (linha que corta a caixa), da média (triângulo), Interquartis com intervalo de confiança de 95% (caixas em tom de cinza), máximos e mínimos (barras verticais) e valores extremos (asterístico-outliers), $n=12$, exceto na G6 ($n=11$).



Fonte:Do autor.

As maiores concentrações desse íon na M4 e na G5 em relação às outras microbacias pode ser explicada pela presença de excremento de gado na água fluvial, fato observado com frequência durante as campanhas em trecho do igarapé que serve como bebedouro dos bovinos. Segundo Campos (2010), o excremento de gado em áreas de pastagem, o uso de fertilizantes a base de uréia e a queima da biomassa estão entre as principais fontes de amônio para esses ambientes. A mesma autora afirma que o amônio contribui para elevar o pH da água, o que pode explicar os valores mais elevados de pH nessas microbacias (CAMPOS, op.cit).

Além disso, as altas concentrações do íon amônio nas águas dos igarapés G5 e G6 podem estar influenciando os baixos teores de OD nessas águas. De acordo com Esteves (1998), altas concentrações de amônio podem ter grandes implicações ecológicas, pois influenciam fortemente na dinâmica de OD do meio aquático, uma vez que, para oxidar 1,0 mg desse íon no processo de nitrificação são necessários 4,3 mg de oxigênio e isto pode acarretar escassez de OD para os organismos aquáticos, especialmente os peixes. Vale salientar que a presença de amônio no ambiente aquático indica uma degradação mais recente da matéria-orgânica, enquanto que a presença de nitrato indica uma degradação mais antiga da mesma.

Nas microbacias florestadas, como na MR2 e na GR2, onde as concentrações do íon amônio foram consideravelmente altas, bem como as de nitrato, os processos de nitrificação e desnitrificação são constantes na dinâmica de nitrogênio, decorrentes da decomposição aeróbia e anaeróbia da matéria-orgânica de origem alóctone (RICKEY, 1983a). Estes processos resultam em compostos nitrogenados reduzidos como amônio e nitrito, ou oxidados como o nitrato (ESTEVES, 1998) e atingem os igarapés geralmente via escoamento superficial, conforme reportado por Richey (1983b). Richey et al. (1997) explica que os constantes períodos de inundações e secas das áreas marginais dos rios amazônicos contribuem para estes processos.

Na tabela 6 pode-se observar maiores concentrações de amônio no período chuvoso em ambas bacias (Marapanim e Guamá), enquanto que na forma de nitrato, as maiores concentrações ocorreram no período seco. A análise de variância das diferenças das médias nos diferentes períodos sazonais só foi significativa para a bacia de Marapanim ($p=0,002$). Na bacia de Marapanim, a média do período chuvoso foi $3,138 \mu\text{E L}^{-1}$ e na bacia do rio Guamá foi de $2,704 \mu\text{E L}^{-1}$. Este comportamento sazonal, tanto na concentração de amônio como de nitrato, também foi observado por Neill et al. (2001) em seu estudo em bacias pareadas citado anteriormente. Isto denota que no período chuvoso, o alagamento das zonas ripárias e a degradação da matéria orgânica torna esse ambiente favorável para o processo de desnitrificação e conseqüente formação da amônio. Por outro lado, o íon amônio é convertido em íon nitrato durante a estiagem pelo processo de nitrificação quando o oxigênio torna a ocupar os poros dos solos marginais. É possível que fatores climáticos possam estar influenciando essa variação tais como: o regime hidrológico dos igarapés e as maiores temperaturas do período de estiagem.

4.4 FLUXOS HIDROGEOQUÍMICOS NAS MICROBACIAS

Na tabela 10 pode-se observar os fluxos anuais dos íons medidos nos igarapés das microbacias avaliadas neste estudo.

O fluxo total de cálcio (Ca^{2+}) nas águas fluviais de todas as microbacias avaliadas em Marapanim somou $57,34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Sozinho, o igarapé Ubim (microbacia M6), apesar da sua baixa vazão ($9,36 \pm 2,91 \text{ L s}^{-1}$) em relação as demais microbacias em Marapanim

(tabela 5), devido aos efeitos da agricultura de derruba e queima, tanto para cultivos agrícolas como para formação de pasto, foi responsável por exportar mais de 32% desse total, enquanto que a soma das duas bacias de referência (MR1 e MR2) foi responsável por apenas 6,43 kg ha⁻¹ ano⁻¹, ou 11,21% do total exportado. Esse cátion também foi o que apresentou maior concentração em M6, e isso pode ser explicado pelo uso da terra e pela geologia local. O fluxo de Ca²⁺ em M6 chega a ser seis vezes maior quando comparado com as microbacias florestadas. Em Marapanim destacam-se também os fluxos nos igarapés das microbacias M4 e M1, cujos fluxos foram bem maiores que os das microbacias de referência. A queima do pasto e a aplicação de calcário para a correção do pH de solo de pastagem podem também contribuir para os altos fluxos desse soluto nos igarapés ocupados por microbacias com presença de sistema de produção agropecuária onde tais práticas são adotadas (MARTINS, 2005; SARDINHA, 2006; WICKEL, 2007). O percentual de pastagem e de cultura agrícola na bacia do Marapanim foi correlacionado com cálcio, apresentando correlação direta para pastagem ($r_s = 0,683$ e $\rho=0,000$) e para cultura agrícola ($r_s = 0,424$ e $\rho=0,000$). Por outro lado, o coeficiente de correlação foi inverso para o percentual de floresta ($r_s = -0,551$ e $\rho=0,000$).

As microbacias avaliadas na bacia do Guamá apresentaram fluxo total de Ca²⁺ igual a 87,70 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Desse total, a microbacia G7 contribuiu com 31,50 % e a G5 foi responsável por 24,72%, embora suas vazões não sejam das maiores dentre as microbacias do Guamá. Esses valores são muito maiores do que os das microbacias de referência (GR1 e GR2), as quais somaram apenas 2,98 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Na bacia do Guamá, a concentração de Ca²⁺ apresentou correlação direta com os percentuais de pastagem ($r_s = 0,349$ e $\rho=0,000$), de capoeira baixa ($r_s = 0,419$ e $\rho=0,000$) e de solo exposto ($r_s = 0,349$ e $\rho=0,000$), mas correlação inversa com o percentual de floresta ($r_s = -0,459$ e $\rho=0,000$). Os fluxos de cálcio nas quatro microbacias florestadas deste estudo (MR1, MR2, GR1 e GR2) são comparáveis aos valores de 2,33 kg ha⁻¹ ano⁻¹ encontrados por Cunha, Oliveira e Victoria (1999) em uma microbacia com vegetação natural na Amazônia central.

O fluxo total de magnésio (Mg²⁺) nas microbacias avaliadas em Marapanim foi de 51,69 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o que é apenas um pouco menor do que o fluxo total de cálcio (tabela 10). Como no caso do cálcio, a M6 foi a que mais contribuiu para fluxo de Mg²⁺ com 14,42 kg ha⁻¹ ano⁻¹, o que representa 27, 89% do seu total em Marapanim. Destaca-se também a M1, onde os fluxos foram de 9,90 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Já as duas microbacias de referência juntas (MR1 e MR2) contribuíram com 15,28% do total exportado de Mg²⁺. A análise estatística revelou correlação inversa de magnésio com os percentuais de floresta ($r_s = -0,593$ e $\rho=0,000$) e de

capoeira baixa ($r_s = -0,677$ e $\rho = 0,000$), mas correlação direta com os percentuais de pastagem ($r_s = 0,615$ e $\rho = 0,000$) e de cultura agrícola ($r_s = 0,410$ e $\rho = 0,000$).

O fluxo total de Mg^{2+} na bacia do Guamá foi de $34,64 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que todas as microbacias com uso agropecuário, com exceção da G2, apresentaram fluxos maiores do que os fluxos de Mg^{2+} nas microbacias de referência. O maior fluxo de Mg^{2+} ocorreu na G7 com $7,11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, seguida da G3 com $6,96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O fluxo na G7 foi quase sete vezes maior do que nas microbacias de referência, as quais apresentaram valores de $1,57$ e $1,61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em GR1 e GR2, respectivamente. Esses valores de Mg^{2+} nas microbacias florestadas (GR1 e GR2) são bem próximos do fluxo de Mg^{2+} estimado em $1,70 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ por Cunha, Oliveira e Victoria (op.cit) em uma microbacia florestada de primeira ordem na Amazônia central.

O sódio (Na^+) destacou-se como um dos íons mais abundantes nas águas fluviais avaliadas, sendo seu fluxo total nas microbacias do Marapanim igual a $230,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Dentre essas microbacias, destaca-se M1 com fluxo anual de $45,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, e chega a ser duas vezes maior do que os fluxos de Na^+ nas bacias de referência ($26,64 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em MR1 e $24,17 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em MR2). Na bacia de Marapanim o fluxo de sódio apresentou correlação inversa com pastagem ($r_s = -0,678$ e $\rho = 0,000$), capoeira alta ($r_s = -0,462$ e $\rho = 0,000$) e cultura agrícola ($r_s = -0,354$ e $\rho = 0,000$), e correlação direta com floresta ($r_s = 0,697$ e $\rho = 0,000$). Observou-se, como já comentado, maiores concentrações de Na^+ nas microbacias florestadas. Tais resultados sugerem que a conversão de floresta para pastagem provoca diminuição de Na^+ nas águas fluviais em microbacias de pequenos igarapés anteriormente ocupados por floresta natural, fato também apontado por Horbe e Oliveira (2008).

O fluxo total de Na^+ nas microbacias do Guamá foi de $180,59 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que os maiores fluxos ocorreram nos igarapés das microbacias G3, G4, G7 e G1, cujos valores foram respectivamente $34,74 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $33,83 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $32,61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $30,12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que em G2 e G5 foram $8,80$ e $6,35 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Nesses dois últimos, os valores são comparáveis aos encontrados nos igarapés das microbacias de referência, que foram de $8,57$ e $9,32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, em GR1 e GR2 respectivamente. Esses níveis menores de fluxos de Na^+ são comparáveis ao fluxo de Na^+ estimado em $9,87 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ para uma microbacia parcialmente desmatada na Amazônia Central (WILLIAMS; MELACK, 1997).

O fluxo total de potássio (K^+) nas microbacias de Marapanim foi de $41,82 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os maiores fluxos de K^+ ocorreram em M1, M6 e M4 e coincidiram com maiores concentrações também nas mesmas microbacias. O fluxo em M1, o maior de todos, foi de

10,24 kg ha⁻¹ ano⁻¹, e pode ser uma resposta a utilização, já comentada, de fertilizante nos sistemas agrícolas, o que pode ser determinante para fluxos de K⁺ nessa microbacia. Na M6 onde o fluxo foi apenas um pouco menor do que em M1, pode haver importante contribuição da prática da derruba e queima em local próximo às margens do igarapé, adicionando potássio provindo das cinzas, pois segundo Aduan, Klink e Davidson (2003), o processo de queima da vegetação promove a disponibilidade imediata de K no solo. Na M4, com fluxo de 8,38 kg K⁺ ha⁻¹ ano⁻¹, o terceiro em magnitude em Marapanim, deve-se atentar para o predomínio de pastagem em sua área e para a presença frequente de bovinos em suas águas fluviais, cujas fezes e urina são ricas neste nutriente (GERMER et al., 2009). Nas demais microbacias, os fluxos de K⁺ estiveram na mesma faixa das microbacias de referências, as quais apresentaram valores de 2,60 e 3,20 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na MR1 e na MR2, respectivamente. Esses valores são bem próximos aos valores encontrados por Williams e Melack (1997) em uma microbacia florestada. O fluxo de potássio em Marapanim apresentou correlação direta com cultura agrícola ($r_s = 0,451$ e $\rho = 0,000$) e pastagem ($r_s = 0,329$ e $\rho = 0,000$), e correlação inversa com floresta ($r_s = -0,466$ e $\rho = 0,000$) e capoeira baixa ($r_s = -0,541$ e $\rho = 0,000$), e assim confirma-se a hipótese de que sistemas agropecuários promovem aumento dos fluxos deste soluto.

O fluxo total de K⁺ nas microbacias do Guamá foi de 40,14 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Os maiores fluxos foram observados na G3 e na G7, que juntas contribuíram com mais de 43% do fluxo total. Nas microbacias de referência os fluxos foram de 1,27 e 1,71 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em GR1 e GR2, respectivamente, o que representa apenas 7,52 % do total exportado. Fluxo de K⁺ similar (1,68 kg ha⁻¹ ano⁻¹) foram encontrados por Cunha, Oliveira e Victoria (1999), no deflúvio de uma microbacia em bom estado de conservação na Amazônia central. Por sua vez, Williams e Melack (1997) reportaram aumento no fluxo de K⁺ de 0,46 para 4,82 kg ha⁻¹ ano⁻¹ em razão de um desmatamento parcial em uma microbacia amazônica. No entanto, a análise de correlação entre potássio e as classes de uso da terra na bacia do Guamá não apresentou correlação significativa para nenhuma das classes.

No presente estudo o cloreto (Cl⁻) foi o íon mais abundante na bacia de Marapanim. Seu fluxo de massa totalizou em 406,04 kg Cl⁻ ha⁻¹ ano⁻¹, sendo que o maior fluxo ocorreu na M1 com 74,20 kg Cl⁻ ha⁻¹ ano⁻¹, seguido pela M6 com 63,08 kg Cl⁻ ha⁻¹ ano⁻¹, pela M2 com 63,01 kg ha⁻¹ ano⁻¹, e pela M3 com 54,08 kg ha⁻¹ ano⁻¹. Nas demais microbacias com uso agropecuário os fluxos foram menores do que nas duas microbacias de referência, que apresentaram fluxos de 48,28 kg Cl⁻ ha⁻¹ ano⁻¹ e 48,04 kg Cl⁻ ha⁻¹ ano⁻¹ em MR1 e MR2, respectivamente. Na bacia de Marapanim, o fluxo de Cl⁻ apresentou correlação inversa com pastagem ($r_s = -0,437$ e $\rho = 0,000$), capoeira alta ($r_s = -0,661$ e $\rho = 0,000$), capoeira

baixa ($r_s = -0,309$ e $\rho = 0,000$), cultura agrícola ($r_s = -0,412$ e $\rho = 0,000$) e solo exposto ($r_s = -0,484$ e $\rho = 0,000$). Por outro lado, o cloreto foi também correlacionado com floresta, mas apresentou correlação positiva ($r_s = 0,582$ e $\rho = 0,000$). Estas correlações sugerem que a conversão de florestas para implantação de atividades agropecuárias reduz o cloreto nas águas fluviais das microbacias, e que as florestas são importantes fontes desse soluto.

Nas microbacias da bacia do Guamá, o fluxo de Cl^- somou $268,46 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que G2 e G5, ambas com áreas significativas de pastagem, tiveram os fluxos anuais de $13,75$ e $14,80 \text{ kg Cl}^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, valores que estão dentro da faixa de fluxos de Cl^- estimado para as microbacias de referência. No entanto, as demais cinco microbacias com uso agropecuário tiveram fluxos anuais maiores do que os das microbacias de referência, as quais apresentaram fluxos de Cl^- de $10,88$ e $14,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em GR1 e GR2, respectivamente. Os fluxos de cloreto nas microbacias de referência, assim como os de sódio, foram mais altos que nas demais microbacias e confirmam que as florestas contribuem de modo decisivo para as entradas desses solutos nas águas fluviais, com ênfase para o papel do throughfall, o qual contribui para aumentar os fluxos de nutrientes na chuva até o solo, como demonstra o estudo de Tobon et al. (2004) em quatro ecossistemas florestais na Amazônia. Em geral a principal fonte desses dois solutos para as águas fluviais é a chuva, pois estes elementos estão presentes na atmosfera e são oriundos dos aerossóis marinhos (WICKEL, 2004), sendo que a água da chuva é ainda enriquecida com esses solutos ao interagirem com o dossel da floresta (GERMER et al., 2009; 2007; ZIMMERMANN et al., 2008)

O fluxo total de sulfato (SO_4^{-2}) nas microbacias de Marapanim foi de $304,23 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os maiores fluxos de SO_4^{-2} foram na M6 com $74,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e na M7 com $63,01 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (tabela 10). Nas microbacias de referência os fluxos foram de $54,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na MR1 e $34,73 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na MR2. As demais microbacias com uso agropecuário tiveram os fluxos de SO_4^{-2} abaixo dos valores das microbacias de referência. A análise de correlação para as microbacias de Marapanim mostrou uma correlação direta de fluxo de sulfato com o percentual de capoeira alta ($r_s = 0,604$ e $\rho = 0,000$) e de capoeira baixa ($r_s = 0,513$ e $\rho = 0,000$).

Nas microbacias da bacia do Guamá, o fluxo total de SO_4^{-2} foi de $331,79 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os fluxos foram maiores na G2 com $63,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, na G4 com $48,26 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e na G5 com $48,04 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto que na G1 foi de apenas $5,24 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e na G7 de $13,75 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Por sua vez, nas microbacias de referência os fluxos de SO_4^{-2} foram $53,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em GR1 e $44,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em GR2.

O fluxo total de nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3^-) nas microbacias de Marapanim somou $60,14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Desse total, a M1 exportou $19,66 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, a M6 exportou $8,35 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e a M3 exportou $7,38 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os fluxos nessas microbacias foram influenciados pelas mais altas concentrações de N-NO_3^- em suas águas fluviais. Por outro lado, a M4 fortemente influenciada por pastagem, apresentou o segundo menor fluxo de N-NO_3^- com $1,18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O baixo fluxo de nitrato em pastagem coincidem com os resultados dos estudos de Figueiredo et al. (2010), Neill et al. (2001; 2006). Esta tendência de redução de nitrato em rios e igarapés devido ao desmatamento para formação de pastagens também foi constatada por Biggs, Dunne e Martinelli (2004). Nas águas fluviais das microbacias florestadas os fluxos de N-NO_3^- foram de $13,11 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na MR1 e $5,82 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na MR2. Nas bacias florestadas, os fluxos desse íon podem aumentar devido à biomassa vegetal das matas ripárias e seus processos de degradação e mineralização da matéria orgânica provenientes da floresta e consequente formação de nitrato de origem alóctone (ESTEVEZ, 1998). Por outro lado, as práticas em sistema agrícola próximo às margens do igarapé em M1 incluem irrigação e uso de fertilizantes contendo nitrogênio, o que parece ser determinante para o fluxo de massa desse elemento nas águas fluviais. Rezende (2002) afirma que o uso de fertilizantes em atividades agropecuárias é a principal fonte de nitrogênio antropogênico para os rios. Para a bacia de Marapanim a influência das lavouras agrícolas em M1 e M6 sobre os fluxos de N-NO_3^- , pode ser a razão da correlação entre o nitrato e a classe cultivo agrícola ($r_s = 0,326$ e $\rho=0,000$).

Nas microbacias do Guamá o fluxo total de N-NO_3^- foi de $10,89 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com destaque para G4 com fluxo de $3,25 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e para G7 com $2,91 \text{ kg N-NO}_3^- \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Por outro lado em G5, onde predomina pastagem, o fluxo de N-NO_3^- foi de apenas $0,19 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Nas microbacias de referência os fluxos de N-NO_3^- foram de $1,01 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em GR1 e $1,80 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em GR2. Admite-se de empobrecimento de nitrato nos solos das bacias com pastagem, pois houve menores fluxos de N-NO_3^- nessas microbacias em relação às bacias florestadas, tanto no Guamá como em Marapanim. Vários estudos relatam perdas de nitrato quando há conversão de floresta para pastagem (BIGGS; DUNNE; MARTINELLI, op.cit; FIGUEIREDO et al, op.cit; MARKEWITZ et al, 2004; NEILL et al, op.cit; op.cit; RICHEY et al, 1997). Os baixos fluxos de nitrato em igarapés de pastagem refletiu-se em correlação inversa com esta classe de uso no Guamá ($r_s = - 0,600$ e $\rho=0,000$). Por outro lado, nas microbacias florestadas houve correlação direta ($r_s = 0,749$ e $\rho=0,000$).

Tabela 10 - Fluxo de massa anual ($\text{kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) dos íons maiores e menores medidos nos igarapés das microbacias avaliadas nas mesobacias do Timboteua/Buiúna e Peripindeua e das microbacias de referência.

| MICROBACIA | Íons maiores | | | | Íons menores | | | | |
|------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | Ca^{+2} | Mg^{+2} | Na^{+} | K^{+} | Cl^{-} | SO_4^{-2} | N-NO_3^{-} | P-PO_4^{3-} | N-NH_4^{+} |
| M1 | 9,63 | 9,90 | 45,20 | 10,24 | 74,20 | 22,12 | 19,66 | 0,0489 | 0,67 |
| M2 | 4,08 | 5,03 | 35,93 | 3,67 | 63,01 | 31,43 | 1,91 | 0,0499 | 0,83 |
| M3 | 6,01 | 6,27 | 34,44 | 2,79 | 54,08 | 14,41 | 7,38 | 0,0557 | 0,60 |
| M4 | 9,40 | 5,52 | 18,85 | 8,38 | 34,73 | 9,54 | 1,18 | 0,0247 | 1,98 |
| M5 | 1,29 | 0,82 | 3,02 | 0,52 | 5,24 | 0,71 | 2,37 | 0,0087 | 0,15 |
| M6 | 18,53 | 14,42 | 32,37 | 9,28 | 63,08 | 74,20 | 8,35 | 0,0401 | 0,54 |
| M7 | 1,97 | 1,83 | 9,57 | 1,14 | 15,40 | 63,01 | 0,36 | 0,0074 | 0,35 |
| MR1 | 3,17 | 4,30 | 26,64 | 2,60 | 48,26 | 54,08 | 13,11 | 0,0333 | 0,39 |
| MR2 | 3,26 | 3,60 | 24,17 | 3,20 | 48,04 | 34,73 | 5,82 | 0,0216 | 0,54 |
| G1 | 5,41 | 4,55 | 30,12 | 4,17 | 39,06 | 5,24 | 0,65 | 0,0304 | 0,11 |
| G2 | 3,15 | 1,80 | 8,80 | 3,26 | 13,75 | 63,08 | 0,20 | 0,0132 | 0,17 |
| G3 | 10,11 | 6,96 | 33,83 | 9,26 | 53,98 | 15,40 | 0,72 | 0,0175 | 0,53 |
| G4 | 7,84 | 5,76 | 34,74 | 5,21 | 44,98 | 48,26 | 3,25 | 0,0210 | 0,25 |
| G5 | 21,68 | 2,11 | 6,35 | 2,17 | 14,80 | 48,04 | 0,19 | 0,0038 | 0,28 |
| G6 | 8,90 | 3,17 | 16,25 | 5,08 | 21,35 | 39,06 | 0,16 | 0,0639 | 0,67 |
| G7 | 27,63 | 7,11 | 32,61 | 8,01 | 54,68 | 13,75 | 2,91 | 0,1666 | 0,26 |
| GR1 | 1,56 | 1,57 | 8,57 | 1,27 | 10,88 | 53,98 | 1,01 | 0,0057 | 0,12 |
| GR2 | 1,42 | 1,61 | 9,32 | 1,71 | 14,98 | 44,98 | 1,80 | 0,0131 | 0,29 |

Fonte: Do autor.

O fluxo total de fósforo na forma de fosfato (P-PO_4^{3-}) nas microbacias de Marapanim foi de $0,290 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que o maior fluxo ocorreu na M3 ($0,056 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Nas microbacias de referência os fluxos foram de $0,033 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na MR1 e $0,022 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na MR2. Observou-se em apenas quatro das microbacias de Marapanim com sistemas agropecuários maior fluxo de fosfato em relação às microbacias florestadas.

Nas microbacias avaliadas no Guamá, o fluxo total de P-PO_4^{3-} foi $0,335 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O fluxo mais elevado foi observado na G7 com $0,167 \text{ kg P-PO}_4^{3-} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que nas microbacias de referência os fluxos foram bem menores: de $0,006 \text{ kg P-PO}_4^{3-} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na GR1 e de $0,013 \text{ kg P-PO}_4^{3-} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na GR2. Os fluxos nessas microbacias, tanto alteradas quanto florestadas, são comparáveis aos fluxos de $0,08 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $0,02 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ encontrados por Williams e Melack (1997) em igarapé onde o maior fluxo ocorreu após a implantação em sua microbacia de plantio de mandioca com preparo de área por derruba e queima.

O fluxo total de nitrogênio na forma de amônio (N-NH_4^+) nas microbacias de Marapanim foi de $6,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que a microbacia de pastagem (M4) contribuiu com mais de 32% desse total ou $1,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Os fluxos somados das microbacias florestadas (MR1 e MR2) correspondeu a 15,37% do fluxo total. O maior fluxo de N-NH_4^+ na M4 deve-se principalmente a sua maior concentração nas águas fluviais e pode ser explicada pela entrada de gado no igarapé, promovendo por meio de seu excremento e urina o aporte desse nutriente (Campos, 2010). Neill et al. (2001) também observaram em Rondônia maiores concentrações de amônio em igarapés que drena área de pastagem comparadas com as concentrações em igarapés em microbacias florestadas. Bonilla (2005) encontrou predomínio de nitrogênio na forma de nitrato em igarapés de floresta, enquanto que o íon amônio foi mais abundante em igarapé de pastagem, indicando desnitrificação dentro do canal fluvial em ambiente com baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

O fluxo total de N-NH_4^+ ($2,95 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$) nas microbacias avaliadas no Guamá foi menor do o fluxo total em Marapanim. O maior fluxo no Guamá ocorreu na microbacia G6 ($0,67 \text{ kg N-NH}_4^+ \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$). Nas demais microbacias com uso agrícola os fluxos de amônio foram na mesma faixa das microbacias de referência ($0,12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na GR1 e $0,29 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na GR2).

5 CONCLUSÕES

Este estudo revela que a composição química das águas fluviais de pequenos igarapés nas regiões estudadas está sendo influenciada pelas práticas agrícolas adotadas em suas áreas de drenagem. Isto ficou demonstrado pelos sinais hidrogeoquímicos diferenciados ocasionados pela prática agrícola de derruba e queima, a fertirrigação, a utilização de fertilizantes químicos, a conversão de florestas em pastagem e o uso das águas fluviais pelos bovinos.

Tais respostas hidrogeoquímicas nas águas fluviais das microbacias avaliadas foram mais claras no tocante a redução do oxigênio dissolvido, aumento de alguns parâmetros físico-químicos, como temperatura, pH e condutividade elétrica, e também aumento nas concentrações de cálcio, magnésio e potássio. No caso de presença de pastagem observou-se também aumento de amônio, enquanto que quando utilizados fertilizantes na agricultura observou-se aumento de nitrato. Além disso, detectou-se a importância das florestas como fonte de nitrato, cloreto e sódio para os ecossistemas fluviais. Foi também possível verificar variação sazonal das concentrações de alguns íons inorgânicos dissolvidos: aumento de amônio na estação chuvosa e aumento de nitrato, potássio, cloreto e sulfato no período seco.

Por meio de estimativas dos fluxos de massa dos íons avaliados confirmou-se que as mudanças de uso da terra estão alterando esses fluxos hidrobiogeoquímicos nas microbacias amazônicas, pois quando se compara os fluxos nas microbacias florestadas, que se mostraram homogêneos, com os fluxos nas microbacias alteradas por diferentes sistemas agropecuários, observa-se variações significativas nos fluxos destas.

Pelos resultados do presente estudo infere-se que a presença da vegetação ripária é imprescindível para minimizar os impactos dos sistemas agrícolas sobre os recursos hídricos. Portanto, a conservação e recuperação dessa vegetação revela-se como uma ferramenta importante para a gestão de bacias hidrográficas, e recomenda-se que no âmbito rural seja também realizada a substituição de práticas que utilizam o fogo por técnicas mais sustentáveis de produção agropecuária, e que haja cuidados adicionais quanto ao uso de agroquímicos.

Por fim sugere-se que, para a gestão local de bacias hidrográficas, seja realizado o monitoramento das águas fluviais selecionando-se, dentre os parâmetros analisados neste estudo, alguns indicadores de sustentabilidade ambiental, dependendo do tipo de uso da terra e sistema agropecuário de produção de interesse. Por exemplo, os parâmetros físico-químicos podem ser utilizados para avaliar os efeitos de pastagens sobre a qualidade de águas de

igarapés que estão sob influência desses sistemas, enquanto que para avaliar-se impactos de sistemas agrícolas que adotem o uso do fogo seja medido adicionalmente as concentrações de cálcio, magnésio e potássio.

REFERÊNCIAS

- BRASIL - Agência Nacional de Águas. *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente- ANA, 2011.
- BALLESTER, M.V.R. et al. A remote sensing/GIS-based physical template to understand the biogeochemistry of the Ji-Paraná river basin (Western Amazônia). *Remote Sensing of Environment*, v. 87 p.429–445. 2003
- BAPTISTA, M.; SPERLING, M.V. Morfologia fluvial. In: SPERLING, M.V. (Ed.). *Estudo e modelagem da qualidade da águas de rios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental-UFMG, 2007. 588 p. Capítulo 4, p.139-183, (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 7).
- BERTIL, J.O. et al. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.781-792. 2007.
- BIGGS, T.W. et al. Relative influence of natural watershed properties and human disturbance on stream solute concentrations in the southwestern Brazilian Amazon basin. *Water Resources Research*. v. 38, n. 8, 1150p. 2002.
- BIGGS, T.W.; DUNNE, T.; MARTINELLI, L.A. Natural controls and human impacts on stream nutrient concentrations in a deforested region of the Brazilian Amazon basin. *Biogeochemistry*. v. 68: p. 227–257, 2004.
- BONILLA, A.L.C. Balanço de nitrogênio em microbacias pareadas (floresta vs. pastagem) no Estado de Rondônia. 2005. 69f. Dissertação (mestrado em ecologia de agroecossistema)- Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2005.
- BRAGA, B.; PORTO, M.; TUCCI, C. E. M. Monitoramento de quantidade e qualidade das águas. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3ª Ed. rev. e amp. - São Paulo: Escritoras, p.145-160. 2006.
- BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental* – São Paulo: Prentice Hall, 2002. 291p.
- BUCKMAN, H.O.; BRADY, N.C. *Natureza e propriedades dos solos*. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1976. 30 p.
- CAMPOS, M.L.A.M. *Introdução à biogeoquímica de ambientes aquáticos*. Campinas-SP: Átomos, 2010. 212 p.
- CARMOUZE, J.P. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Edgard Blücher; FAPESPA, 1994. 253p.
- CASSOL, E.A.; LIMA, V.S. Erosão em entressulcos sob diferentes tipos de preparo e manejo do solo. *Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v. 38, n. 1, p.117-124. 2003.

CETESB, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Análise físico-química das águas*. Normalização técnica NT-07, São Paulo, 1978, 340 p.

COELHO, R.F.R.; SÁ, T.D.A.; CARVALHO, C.J. R. Alterações de componentes do balanço de carbono e nutrientes em função da substituição do sistema de produção agrícola de corte e queima pelo corte e trituração/manejo de capoeira. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6. 2003, p. 678-680, Fortaleza-CE. *Anais...* São Paulo: SBE, 2003.

CONCEIÇÃO, A.C.; MONTEIRO, M.T.F.; LUIZÃO, F.J. Influência sazonal da dinâmica do carbono e nutrientes transportados para um igarapé de drenagem na Amazônia Central. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu-MG, *Anais...* São Paulo: SEB, 2007.

CORREA, I.C.S. *Metodologia para o cálculo de vazão de uma seção transversal a um canal fluvial*. Porto Alegre: Instituto de Geociências-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

COSTA, C.F.G. *Seleção de microbacias para avaliação da relação entre o uso da terra e a qualidade de água de pequenos igarapés no Nordeste paraense*. 2010. 59f. Monografia (especialização em gestão hídrica e ambiental) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

COSTA, C.F.G. *Hidrogeoquímica do escoamento superficial em solos de uma mesobacia no Nordeste paraense*. 2011. 94f. Dissertação (mestrado em ciências florestais)- Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2011.

COSTA, F.F.; LIMA, W.N.; DIAS, J.C. Avaliação hidrogeoquímica em áreas selecionadas na bacia hidrográfica do rio Maracanã (Nordeste do Pará), *Holos Environment*, v. 9, n° 2, p. 2009. (On line).

CORDEIRO, A.H.F. et al. Climatologia da precipitação no município de Igarapé-Açu, PA, período: 1995-2009. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém-PA, *Anais...* Belém-PA, 2010.

CUNHA, H.B.; OLIVEIRA, J.A.D.; VICTÓRIA, R.L. Balanço dos nutrientes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NO_3^- em uma bacia de primeira ordem com vegetação natural na Amazônia Central, *Acta Amazônica*, v. 29, n.1, p.33-44. 1999.

DAVIDSON, E.A. et al. Loss of nutrients from terrestrial ecosystems to streams and the atmosphere following land use change in Amazonia, p. 147-158 In: ASNER, G.; FRIES, R. (ed.). *Ecosystems and Land Use Change*, American Geophysical Union Monographs Series, n. 153, 2004.

DIAS-FILHO, M.B. *Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação*. 4º Ed. revista, atualizada e ampliada. Belém-PA, 2011. 215p.

DI LUZIO, M. et al. *ArcView interface for SWAT2000: user's guide*. Texas Water Resources Institute Report TR-193, Temple, 2002, 351p.

ELLISON, W.D. Soil erosion studies: parte I. *Agricultural Engineering*, v.12, p.145-146, 1947.

- ESTEVEES, F.A. *Fundamentos de limnologia*. 2ª ed, Rio de Janeiro: Interciência. 1998. 602 p.
- FEARNSIDE, P.M. Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates and consequences. *Conservation Biology*. v. 19, n. 3, p. 680-688. 2005.
- FENZL, N. *Introdução à hidrogeoquímica*. Universidade Federal do Pará: EDUFPA, Belém, 1986. 189 p.
- FIGUEIREDO R.O. et al. Effects of land use change on stream water chemistry in three meso-scale catchments in Eastern Amazonia. In: LBA-ECO SCIENCE TEAM MEETING, 10., 2006, Brasília-DF. *Resumos*, Brasília-DF: LBA, 2006. p.10-11.
- FIGUEIREDO, R.O. Efeitos do uso da terra sobre processos hidrológicos e hidroquímicos em pequenas bacias na Amazônia. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu-MG, *Anais...* São Paulo: SEB, 2007.
- FIGUEIREDO, R.O. Estudos em pequenos riachos amazônicos (igarapés) e suas bacias alteradas por desmatamento e atividades agrícolas. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE ECOLOGIA E CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 3/9., 2009, São Lourenço-MG, *Anais...* São Paulo: SEB, 2009.
- FIGUEIREDO, R.O. Processos hidrológicos e biogeoquímicos em bacias hidrográficas sob uso agrícola e agroflorestal na Amazônia brasileira. In: PORRO, R. (Ed.). *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*, Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p.478-500.
- FIGUEIREDO, R.O. et al. Land-use effects on the chemical attributes of low-order streams in the eastern Amazon. *Journal of Geophysical Research*, v.115, p.01-14. 2010.
- FIORUCCI, A.R.; BENEDETTI-FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. *Química e Sociedade*, n. 22, p.10-16, 2005.
- FONSECA, E.O. *Dinâmica do transporte de nutrientes no escoamento superficial em sistemas de manejo do solo*. 2006. 154f. Tese (doutorado em ciências do solo)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.
- FREITAS, M.S.; ARAÚJO, C.A.S; SILVA. Mineralização de cálcio e magnésio de esterco em função da profundidade e do tempo de incorporação. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2., 2007, João Pessoa, PB. *Anais...* João Pessoa-PB: [s.n.], 2007. p.25.
- GERHARD, P.; CONDE, G.B. Mapeamento da rede fluvial e fragmentação de uma mesobacia hidrográfica no Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 15., 2011, Curitiba-PR, *Anais...* São José dos Campos-SP: INPE, 2011. p.1427.
- GERMER, S. et al. Seasonal and within-event dynamics of rainfall and throughfall chemistry in an open tropical rainforest in Rondônia, Brazil, *Biogeochemistry*, 86, p.155–174. 2007.

GERMER, S. et al. Implications of long-term land-use change for the hydrology and solute budgets of small catchments in Amazonia. *Journal of Hydrological*. v. 364, p.349–363. 2009.

GERMER, S. et al. Influence of land-use change on near-surface hydrological processes: Undisturbed forest to pasture. *Journal of Hydrology*, v.380, p. 473–480. 2010.

GLOBAL WATER. *FP101-FP201 Global Flow Probe: User's Manual*, 2004

GONÇALVES, S.F.S. *Relações entre os sistemas de produção agropecuários adotados e a qualidade da água em igarapés amazônicos de duas bacias hidrográficas na região de Paragominas (PA)*. 87f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

GOUVEIA-NETO, S.C et al. Variações Temporais dos íons maiores em função de mudanças antropogênicas e naturais em um ponto de amostragem no rio Urupá, Rondônia. 2003. CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 6. p.682-683, Fortaleza-CE. *Anais...* São Paulo: SEB, 2003.

GUNDERSEN, P.; BASHKIN, V.N. Nitrogen cycling. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. (Ed.). *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. SCOPE, p.255-283, New York: John Wiley and Sons, 1994. Cap.11, n. 51.

HORBE, A.M.C.; OLIVEIRA, L.G.S. Química de igarapés de água preta no Nordeste do Amazonas-Brasil. *Acta Amazônica*. v. 38, n.4, p.753 – 760, 2008.

HORBE, A.M.C. et al. Contribuição à hidroquímica de drenagens no município de Manaus – AM. *Acta Amazônica*. V. 35, n.2, p.119–124, 2005.

JOHNSON, D.W.; COLE, D.W. Anion mobility in soils: relevance to nutrient transport from forest ecosystems. *Journal Environmental International*, v.3. 1980.

KATO, O.R. et al. Plantio direto na capoeira. *Ciência e Ambiente*. v. 29, p. 99-111, 2004.

KRUSCHE, A.V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica da Bacia do rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazônica*. v. 35 n.2, p.197–205, 2005

LIMA, L.M.; LOPES, E.S.; FIGUEIREDO, R.O. Retenção do dimetoato e sua relação com pH e teores de argila e matéria orgânica nos sedimentos da zona não saturada de uma microbacia no nordeste paraense. *Acta Amazônica*. v. 37, n. 2, p.187-194, 2007.

LIMA, L.M. et al. Simulação da movimentação de agrotóxicos no solo com o uso de geotecnologias, como instrumento para avaliação do potencial de risco de contaminação de águas subterrâneas na Amazônia Oriental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 13., 2007, Florianópolis-SC, *Anais...* São José dos Campos:INPE, p.3397-3404, 2007.

LIMA, W.P. *Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas*. USP, ESALQ, Piracicaba-SP, 2008. 246p.

LINHARES, C.A.; SOARES, J.V.; BATISTA, G.T. Influência do desmatamento na dinâmica da resposta hidrológica na bacia do Ji-Paraná. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 12., 2005, Goiânia-GO, *Anais...* São José dos Campos: INPE, p.3097-310, 2005.

LOPES, L.R. et al. Interceptação e ciclagem de nutrientes em florestas de encosta na Amazônia central. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO OESTE, 1., 2007, Cuiabá-MT, *Resumos...* Porto Alegre-RS: ABRH, 2007.

LUIZÃO, F.J. Ciclos de nutrientes na Amazônia: respostas às mudanças ambientais e climáticas. *Ciência e Cultura*, v. 59, n. 3, São Paulo, 2007.

MARTINS, C.E. Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo. *Comunicado Técnico*, n. 47, EMBRAPA, Juiz de Fora-MG, 2005.

MARKEWITZ, D. et al. Discharge–calcium concentration relationships in streams of the Amazon and Cerrado of Brazil: soil or land use controlled. *Biogeochemistry*, 2011.

MARKEWITZ, D. et al. Nutrients loss and redistribution after forest clearing on a highly weathered soil in Amazonia. *Ecological Applications*, v.14, n. 4, Supplement, p.177–199, 2004

MARKEWITZ, D. et al. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. *Nature*, v.410, p.802-805, 2001.

McCLAIN, M.E., RICHEY, J.E.; PIMENTEL, T.P. 1994. Groundwater nitrogen dynamics at the terrestrial lotic interface of a small catchment in the Central Amazon Basin. *Biogeochemistry*, n. 27: p.113–127,1994.

McCCLAIN, M.E.; BILBY, R.E.; TRISKA, F.J. Nutrient Cycles and Responses to Disturbance. (Cap.14). In: NAIMAN, R.J. e BILDY, R.E. (ed.), *River Ecologic and Management: lessons from Pacific Coastal Ecoregion*, 1ª ed. Springer, p. 347-367, 1998.

MELO, V.S.; SÁ, T.D.A. Variação temporal de nutrientes na água escorrida pelo caule em floresta primária explorada no Nordeste Paraense. *Acta Amazônica*, v.32, n. 4, p.605-612, 2002.

METZGER, J.P. Landscape dynamics and equilibrium in areas of slash-and-burn agriculture with short and long fallow period (Bragantina region, NE Brazilian Amazon). *Landscape Ecology*. v.17, p.419-431, 2002.

METZGER, J.P. O que é ecologia da paisagem? *BiotaNeotrófica*, v.1 nº 1/2, 2011.

MILLER-JUNIOR, G. T. *Ciência Ambiental*. (Tradução da 11ª edição)- São Paulo: Cengage Learning, 2008. 592p.

MOLDAN, B.; CERNY, J. Small Catchment Research, In: MOLDAN, B.; CERNY, J. (Ed.). *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. SCOPE, p.1-29, New York: John Wiley and Sons, 1994, Cap.01 , n. 51.

MORAES, J.M. et al. Water storage and runoff processes in plinthic soils under forest and pasture in Eastern Amazonia. *Hydrological Processes*. v. 20, p.2509-2526, 2006.

MOREIRA, A.M. *Estudo comparativo do uso da terra em unidades de produção familiar no Nordeste Paraense*. 87f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais), Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2008.

NEILL, C. et al. Nitrogen dynamics in soils of forests and active pastures in the western Brazilian Amazon Basin. *Soil Biology and Biochemistry*. n. 27. p.1167-1175, 1995.

NEILL, C. et al. Nitrogen dynamics in Amazon forest and pasture soils measured by ^{15}N pool dilution. *Soil Biology and Biochemistry*. v.31, p.567-572, 1999.

NEILL, C. et al, Deforestation for pastures alters nitrogen and phosphorus in small Amazonian streams. *Ecological Applications*, v.11, n.6, p.1817-1826, 2001.

NEILL, C. et al, Deforestation alters the hydraulic and biogeochemical characteristics of small lowland Amazonian streams. *Hydrological Processes*, v. 20, p.2563-2580, 2006.

OLIVEIRA, H; VENDRAMINI, D.; MORTATTI, J. Transporte de espécies químicas dissolvidas em águas fluviais de uma microbacia com eucalipto em Angatuba, São Paulo. *Geociências*, v. 28, n. 1, p.79-89, São Paulo:UNESP, 2009.

OLIVEIRA, R.R.S. et al. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra nas microbacias hidrográficas dos igarapés Timboteua e Peripindeua, Nordeste paraense. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA, 14., 2010, Belém-PA, *Resumos...* Belém-PA: EMBRAPA, 2010, CD-ROM.

OLIVEIRA, R.R.S. et al. Análise da vulnerabilidade natural dos solos à erosão como subsídio ao planejamento territorial em área da microbacia do igarapé Peripindeua, Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO-SBSR, 15., 2011, Curitiba-PR, *Anais...* São José dos Campos: INPE, p.4783-4790, 2011.

PARÁ, Governo do Estado do - SEPOF-PA, Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças, *Estatísticas Municipais: Marapanim*, 2011. Disponível em: http://www.idesp.pa.gov.br/paginas/ produtos/Estatistica_Municipal/pdf/Marapanim.pdf >, acesso em 15/05/2010.

PARÁ, Governo do Estado do - SEPOF-PA, Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças, *Estatísticas Municipais: São Francisco do Pará*, 2011, Disponível em <http://www.idesp.pa.gov.br/paginas/produtos/Estatistica_Municipal/pdf/SaoFranciscodoPara.pdf> acesso em 15/05/2010.

PARÁ, Governo do Estado do - SEPOF-PA, Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças, *Estatísticas Municipais: Mãe do Rio*, 2011, Disponível em: <http://www.idesp.pa.gov.br/ paginas/ produtos / Estatistica _Municipal/pdf/MaedeRio.pdf> acesso em 15/05/2010.

PARÁ, Governo do Estado do - SEPOF-PA, Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças. *Estatísticas municipais*: Iritua, 2011. Disponível em: <http://www.idesp.pa.gov.br/paginas/ produtos / Estatistica _Municipal/pdf/MaedoRio.pdf> acesso em 15/05/2010.

PARÁ, Governo do Estado do - SEPOF-PA, Secretaria de Estado de Planejamento, Orçamento e Finanças, *Estatísticas Municipais*: Capitão-Poço, 2011, Disponível em: <http://www.idesp.pa.gov.br/paginas/ produtos / Estatistica _Municipal/pdf/MaedoRio.pdf> acesso em 15/05/2010.

PARRON, L.M.; BUSTAMANTE, M.M.C; PRADO, C.L.C. Mineralização de nitrogênio e biomassa microbiana em solos de mata de galeria: efeitos do gradiente topográfico. Planaltina-DF, Embrapa Cerrados, 2003, 25p. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, ISSN 1676-918X; 88.

RANZINI, M.; LIMA, W.P. Comportamento hidrológico, balanço de nutrientes e perdas de solo em duas microbacias reflorestadas com *Eucalyptus*, no Vale do Paraíba, SP. *Scientia Forestalis*, n. 61, p.144-159, 2002.

REZENDE, A.V. *Agricultura e qualidade da água: contaminação por nitrato*. Planaltina-DF, Embrapa Cerrados, p.29 (documentos/Embrapa Cerrados, n. 57), 2002.

RICHEY, J.E. Organic matter and nutrient dynamics in river corridors of the Amazon basin and their response to anthropogenic change. *Ciência e Cultura* – v. 49 (1/2), p. 98-110. 1997.

RICHEY, J.E. Interactions of C, N, P, and S in River Systems: A Biogeochemical Model. In.: BOLIM, B.; COOK, R.B. (ed.). *The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*, SCOPE, p.365-383, Chichester, Nova York: John Wiley & Sons, 1983a. Cap. 13, n.21.

RICHEY, J.E. The Amazon river system: a biogeochemical model. In.: BOLIM, B.; COOK, R.B. (ed.). *The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*, SCOPE, p. 365-378, Hamburg: John Wiley & Sons, 1983b. Cap. 01, n. 52.

RODRIGUES, M.A.C.M.; MIRANDA, I.S.; KATO, M.S.A. Estrutura de florestas secundárias após dois diferentes sistemas agrícolas no Nordeste do Estado do Pará, Amazônia Oriental. *Acta Amazônica*, v. 37, n.4, p.591-598, 2007.

ROSA, M.B.S. *Dinâmica do carbono em pequenas bacias de drenagem sob uso de agricultura familiar na Amazônia Oriental*. Belém, 99f. Dissertação (mestrado em ciências ambientais) - Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2007.

SÁ, T.D.A. et al. Queimar ou não queimar: de como produzir na Amazônia sem queimar. *Revista USP*, n. 72, p. 90-97, São Paulo, 2007.

SANTOS, M.V.C. et al. Avaliação das perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica em sistema de manejo sob plantio direto. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 14., 2002, Cuiabá-MT, *Anais...* Viçosa-MG: SBCS, 2002.

SALIMON, C.I. et al. Mudança de cobertura da terra e fluxo de CO₂ do solo para a atmosfera na Amazônia Sul Oriental. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte-MG, *Anais...* São José dos Campos:SP : INPE, p. 699-705, 2003.

SARDINHA, A.S. *Avaliação dos efeitos da mata ciliar sobre os fluxos hidrogeoquímicos em área de pastagem: caso das bacias hidrográficas dos igarapés do Sete e Pajeú-Paragominas-PA*. 126f. Dissertação (mestrado em geologia e geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2006.

SCHÄFER, M.J. et al. Erosão em sulcos em diferentes preparos e estados de consolidação do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25, p.419-430, 2001.

SILVA, L.G.T. et al. Caracterização e mapeamento dos solos de duas mesobacias hidrográficas no Nordeste Paraense. In: SEMINÁRIO GESTABACIAS: RESULTADOS DE PESQUISAS EM MESOBACIAS DO NORDESTE PARAENSE E SUA APLICAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO RURAL, 1., 2010, Belém-PA, *Resumos...* Belém-PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2010.

SILVA, M.G.M. et al. Variação espaço-temporal de carbono orgânico dissolvido em três pequenas bacias de drenagem na Amazônia Oriental. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 8., 2007, Caxambu-MG, *Anais...* São Paulo: SBE, 2007.

SILVA, M. G. M. et al. Transferências de nutrientes e carbono por escoamento superficial para igarapés em áreas agrícolas sob diferentes sistemas de preparo de área para plantio (derruba-e-queima e corte-e-trituração) no nordeste paraense. In: CONGRESSO DE ESTUDANTES E BOLSISTAS DO EXPERIMENTO LBA, 2005, Manaus-AM, *Resumos...* Manaus-AM, p. 88-88, 2005.

SWANK, W.T.; JOHNSON, C.E. Small Catchment Research in the Evaluation and Development of Forest Management Practices. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. (Ed.). *Biogeochemistry of small catchments: a tool for environmental research*. SCOPE, p. 382-408, New York: John Wiley and Sons, 1994, cap. 17, n.51.

TELES, D.D.; DOMINGUES, A.F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (Ed.). *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. 3ª Ed. Revisada e ampliada-São Paulo: Escritoras Editora, p.325-364, 2006.

THOMAS, S.M. et al. Influences of land use and stream size on particulate and dissolved materials in a small Amazonian stream network. *Biogeochemistry*, n. 68, p.135-151, 2004.

TOBON, C.; SEVINK, J.; VERSTRATEN, J.M. Solute fluxes in throughfall and stemflow in four forest ecosystems in northwest Amazonia. *Biogeochemistry*, n.70, p.1-25, 2004.

TUNDISI, J.G. ; MATSUMURA-TUNDISIS, T.M. Impactos potenciais das alterações do Código Florestal nos recursos hídricos. *Biotaneotropica*, v.10, n. 4, p. 67-76, 2010. D

UHL, C.; BEZERRA, O. ; MARTINI, A. *Ameaça à biodiversidade na Amazônia Oriental*. Belém-IMAZON, 1997, 34 p. (Série Amazônica, n. 6)

VENTURIERI, A. et al. Utilização de imagens Landsat e CBERS na avaliação da mudança do uso e cobertura da terra e seus reflexos na qualidade da água em microbacia hidrográfica do município de Paragominas, Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2005, São José dos Campos, *Anais...* São José dos Campos-SP: INPE, p.1127- 1134, 2005.

VIEIRA, I.C.G.; TOLEDO, P.M. ; ALMEIDA, A. Análise das modificações da paisagem da Região Bragantina, no Pará, Integrando diferentes escalas de tempo. *Revista Ciência e Cultura*, v. 59, p.27-30, 2007.

VITOUSEK, P.M. The Effects of deforestation on air, soil, and water. In: BOLIM, B.; COOK, R.B. (ed.). *The major biogeochemical cycles and their interactions*. SCOPE, p. 223-245, Chichester: John Wiley & Sons, 1983. Cap. 7, n. 21.

YOSHIKAWA, N. et al. Nitrogen budget and gaseous nitrogen loss in a tropical agricultural watershed. *Biogeochemistry*. n.87, p.1-15, 2008.

WATRIN, O.S.; GERHARD, P.; MACIEL, M.N. M. Dinâmica de uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base familiar, no Nordeste do Estado do Pará. *Geografia*, v. 34, n. 3, p. 455-472, Rio Claro, 2009.

WATRIN, O.S.; VENTURIERI, A.; SAMPAIO, S.M.N. Análise multitemporal do uso da terra e suas interações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do Nordeste Paraense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., *Anais...*1998. *Anais...* São José dos Campos-SP: INPE, p.1573-1583, 1998

WATRIN, O.S.; MACIEL, M.N.M.; THALÊS, M.C. Análise espaço-temporal do uso da terra em microbacias hidrográficas no município de Paragominas, Estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007., Florianópolis, SC, *Anais...* São José dos Campos-SP: INPE, p.7019-7026, 2007.

WICKEL, B.A.J. Water and nutrient dynamics of a humid tropical watershed in Eastern Amazonia. Bonn: Center of Development Research-University of Bonn. 135p. 2004. (*Ecology and Development Series*, n. 21).

WILLIAMS, M.R.; MELACK, J.M. Solute export from forested and partially deforested catchments in the central Amazon. *Biogeochemistry*, n. 38, p. 67-102, 1997.

ZIMMERMANN, A. et al. Spatio-temporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest. *Journal of Hydrology*, n. 360, p. 87-102, 2008.

ANEXO

ANEXO A - METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DA VAZÃO EM IGARAPÉ COM TUBO.

XI. Appendix B: Calculations for Flow in Partially Filled Pipes

| B | C | B | C |
|------|--------|------|--------|
| 0.01 | 0.0013 | 0.51 | 0.4027 |
| 0.02 | 0.0037 | 0.52 | 0.4127 |
| 0.03 | 0.0089 | 0.53 | 0.4227 |
| 0.04 | 0.0105 | 0.54 | 0.4327 |
| 0.05 | 0.0147 | 0.55 | 0.4428 |
| 0.06 | 0.0192 | 0.56 | 0.4528 |
| 0.07 | 0.0242 | 0.57 | 0.4625 |
| 0.08 | 0.0294 | 0.58 | 0.4723 |
| 0.09 | 0.0350 | 0.59 | 0.4822 |
| 0.10 | 0.0409 | 0.60 | 0.4920 |
| 0.11 | 0.0470 | 0.61 | 0.5018 |
| 0.12 | 0.0534 | 0.62 | 0.5115 |
| 0.13 | 0.0600 | 0.63 | 0.5212 |
| 0.14 | 0.0668 | 0.64 | 0.5308 |
| 0.15 | 0.0739 | 0.65 | 0.5404 |
| 0.16 | 0.0811 | 0.66 | 0.5499 |
| 0.17 | 0.0885 | 0.67 | 0.5594 |
| 0.18 | 0.0961 | 0.68 | 0.5687 |
| 0.19 | 0.1039 | 0.69 | 0.5780 |
| 0.20 | 0.1118 | 0.70 | 0.5872 |
| 0.21 | 0.1199 | 0.71 | 0.5964 |
| 0.22 | 0.1281 | 0.72 | 0.6054 |
| 0.23 | 0.1365 | 0.73 | 0.6143 |
| 0.24 | 0.1449 | 0.74 | 0.6231 |
| 0.25 | 0.1535 | 0.75 | 0.6318 |
| 0.26 | 0.1623 | 0.76 | 0.6404 |
| 0.27 | 0.1711 | 0.77 | 0.6489 |
| 0.28 | 0.1800 | 0.78 | 0.6573 |
| 0.29 | 0.1890 | 0.79 | 0.6655 |
| 0.30 | 0.1982 | 0.80 | 0.6736 |
| 0.31 | 0.2074 | 0.81 | 0.6815 |
| 0.32 | 0.2167 | 0.82 | 0.6893 |
| 0.33 | 0.2266 | 0.83 | 0.6969 |
| 0.34 | 0.2355 | 0.84 | 0.7043 |
| 0.35 | 0.2450 | 0.85 | 0.7115 |
| 0.36 | 0.2548 | 0.86 | 0.7186 |
| 0.37 | 0.2644 | 0.87 | 0.7254 |
| 0.38 | 0.2743 | 0.88 | 0.7320 |
| 0.39 | 0.2836 | 0.89 | 0.7384 |
| 0.40 | 0.2934 | 0.90 | 0.7445 |
| 0.41 | 0.3032 | 0.91 | 0.7504 |
| 0.42 | 0.3130 | 0.92 | 0.7560 |
| 0.43 | 0.3229 | 0.93 | 0.7612 |
| 0.44 | 0.3328 | 0.94 | 0.7662 |
| 0.45 | 0.3428 | 0.95 | 0.7707 |
| 0.46 | 0.3527 | 0.96 | 0.7749 |
| 0.47 | 0.3627 | 0.97 | 0.7785 |
| 0.48 | 0.3727 | 0.98 | 0.7816 |
| 0.49 | 0.3827 | 0.99 | 0.7841 |
| 0.50 | 0.3927 | 1.00 | 0.7854 |

H= Height of water; D= Diameter of pipe
(in feet)

H/D = Column B

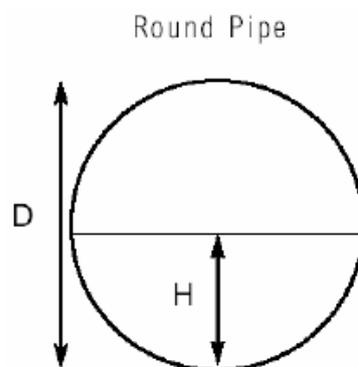
Read Column C adjacent to your pipe's B

$C \times D^2 =$ Filled area, A (sq.ft.)

A x Average Velocity = Volumetric flow
(CFS)

CFS x 448.83 = Gallons/minute (GPM)

GPM x 1440 = Gallons/day (GPD)



Fonte: Global Water, 2004

APÊNDICES

APÊNDICE A - EQUIPAMENTOS DE CAMPO E DE LABORATÓRIO: (1) PHMETRO, (2) CONDUTÍVIMETRO, (3) OXÍMETRO, (4) CORRENTÔMETRO E (5) CROMATÓGRAFO.



Fonte: do autor.

APÊNDICE B - FOTOS DIVERSAS DAS CAMPANHAS: IGARAPÉ M6 (UBIM) APÓS SOFRER QUEIMADA EM SUA MARGEM (1), MEDIÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS (2), PASTAGEM QUEIMADA PARA A RENOVAÇÃO (3), SISTEMA DE LAVOURA CONSORCIADA COM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO NO IGARAPÉ M1 (4), MEDIÇÃO DE VELOCIDADE DE CORRENTE PARA A DETERMINAÇÃO DA VAZÃO (5), IGARAPÉ COM VAZÃO REGULADA POR TUBO (6), COLETAS DE AMOSTRAS (7), EMBALAGEM DE FERTILIZANTES AGRÍCOLAS A BASE DE NPK E EMBALAGEM DE DEFENSIVOS AGRÍCOLAS UTILIZADOS EM LAVOURA NO IGARAPÉ M1 (8 E 9).



Fonte: Do autor

APÊNDICE C - Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis medidas e as classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Marapanim.

| | Q | OD | CE | pH | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ⁺ | Mg ⁺ | N_NH ₄ ⁺ | N_NO ₃ ⁻ | P_PO ₄ ³⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | % Pastagem | % Floresta | % Capoeira alta | % Capoeira baixa | % Cultura Agrícola | % Solo exposto |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|
| Q | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OD | 0,301 0,001 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CE | -0,234 0,014 | -0,121 0,208 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | -0,099 0,306 | 0,084 0,308 | -0,292 0,002 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na ⁺ | 0,130 0,163 | 0,316 0,000 | 0,169 0,078 | -0,124 0,198 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | |
| K ⁺ | -0,316 0,000 | -0,256 0,007 | 0,133 0,168 | 0,242 0,011 | -0,309 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | |
| Ca ⁺ | -0,368 0,000 | -0,286 0,002 | -0,208 0,030 | 0,348 0,000 | -0,463 0,000 | 0,572 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | |
| Mg ⁺ | -0,533 0,000 | -0,371 0,000 | -0,016 0,865 | 0,257 0,000 | -0,395 0,000 | 0,629 0,000 | 0,857 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | |
| N_NH ₄ ⁺ | 0,003 0,969 | -0,043 0,657 | -0,100 0,301 | 0,237 0,013 | -0,137 0,156 | 0,324 0,000 | 0,169 0,079 | 0,111 0,249 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | |
| N_NO ₃ ⁻ | -0,244 0,010 | -0,068 0,482 | 0,489 0,000 | -0,207 0,030 | 0,192 0,046 | 0,117 0,225 | 0,022 0,819 | 0,212 0,000 | -0,370 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | |
| P_PO ₄ ³⁻ | 0,013 0,889 | -0,072 0,457 | 0,148 0,124 | -0,205 0,032 | 0,179 0,063 | -0,130 0,179 | -0,120 0,000 | 0,048 0,615 | -0,055 0,566 | 0,106 0,272 | 1,000 0,000 | | | | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | 0,417 0,000 | 0,350 0,000 | -0,149 0,122 | -0,058 0,544 | -0,058 0,545 | -0,208 0,030 | -0,356 0,000 | -0,443 0,000 | 0,018 0,851 | -0,446 0,000 | -0,018 0,845 | 1,000 0,000 | | | | | | | |
| Cl ⁻ | -0,251 0,008 | 0,276 0,003 | 0,434 0,000 | -0,012 0,900 | 0,517 0,000 | 0,086 0,372 | -0,216 0,024 | -0,090 0,350 | 0,074 0,445 | -0,179 0,063 | 0,169 0,079 | -0,198 0,038 | 1,000 0,000 | | | | | | |
| % Pastagem | -0,172 0,073 | -0,470 0,000 | -0,339 0,000 | 0,153 0,112 | -0,678 0,000 | 0,329 0,000 | 0,683 0,000 | 0,615 0,000 | 0,142 0,141 | -0,252 0,008 | -0,024 0,797 | -0,178 0,064 | -0,437 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | |
| % Floresta | 0,230 0,016 | 0,507 0,000 | 0,252 0,008 | -0,091 0,345 | 0,697 0,000 | -0,466 -0,000 | -0,551 0,000 | -0,593 0,000 | 0,056 0,563 | -0,032 0,738 | 0,064 0,509 | 0,048 0,616 | 0,582 0,000 | -0,633 0,000 | 1,000 0,000 | | | | |
| % Capoeira alta | 0,217 0,023 | 0,066 0,493 | -0,303 0,001 | -0,012 0,895 | -0,462 0,000 | -0,026 0,000 | 0,096 0,320 | 0,107 0,266 | -0,120 0,215 | -0,159 0,099 | -0,031 0,746 | 0,604 0,000 | -0,661 0,000 | 0,250 0,009 | -0,616 0,000 | 1,000 0,000 | | | |
| % Capoeira baixa | 0,589 0,000 | 0,127 0,187 | -0,380 0,000 | -0,133 0,168 | 0,085 0,378 | -0,541 0,000 | -0,457 0,000 | -0,677 0,000 | -0,010 0,911 | -0,559 0,000 | -0,014 0,882 | 0,513 0,000 | -0,309 0,001 | -0,083 0,391 | 0,116 0,229 | 0,250 0,009 | 1,000 0,000 | | |
| % Cultura Agrícola | 0,075 0,440 | -0,383 0,000 | -0,212 0,027 | 0,107 0,266 | -0,354 0,000 | 0,451 0,000 | 0,424 0,000 | 0,410 0,000 | -0,074 0,440 | 0,326 0,000 | -0,076 0,430 | -0,141 0,144 | -0,412 0,000 | 0,426 0,000 | -0,610 0,000 | 0,292 0,002 | -0,200 0,037 | 1,000 0,000 | |
| % Solo exposto | 0,197 0,040 | -0,475 0,000 | -0,437 0,000 | 0,149 0,122 | -0,218 0,000 | 0,082 0,000 | 0,056 0,561 | 0,031 0,746 | 0,160 0,096 | -0,465 0,000 | 0,076 0,434 | 0,304 0,001 | -0,484 0,000 | 0,225 0,018 | -0,443 0,000 | 0,460 0,000 | 0,426 0,000 | 0,373 0,000 | 1,000 0,000 |

Fonte: Do autor

APÊNDICE D - Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis medidas e as classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá .

| | Q | OD | CE | pH | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | N_NH ₄ ⁺ | N_NO ₃ ⁻ | P_PO ₄ ³⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | % Pastagem | % Floresta | % Capoeira alta | % Capoeira baixa | % Cultura agrícola | % Solo exposto | % Várzea |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|----------|
| Q | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OD | 0,123 0,203 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CE | -0,223 0,020 | -0,252 0,008 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| pH | -0,514 0,000 | -0,329 0,000 | 0,389 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na ⁺ | -0,073 0,451 | 0,277 0,003 | -0,009 0,924 | -0,248 0,009 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| K ⁺ | -0,126 0,193 | 0,048 0,619 | 0,258 0,007 | -0,022 0,819 | 0,362 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca ²⁺ | -0,345 0,000 | -0,493 0,000 | 0,448 0,000 | 0,637 0,000 | -0,330 0,000 | 0,106 0,272 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | | |
| Mg ²⁺ | -0,094 0,332 | -0,087 0,370 | 0,626 0,000 | 0,160 0,000 | 0,328 0,000 | 0,449 0,000 | 0,306 0,001 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | | |
| N_NH ₄ ⁺ | 0,016 0,867 | 0,056 0,564 | 0,019 0,838 | 0,050 0,604 | -0,132 0,000 | 0,196 0,042 | 0,072 0,458 | -0,037 0,704 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | | |
| N_NO ₃ ⁻ | 0,172 0,076 | 0,645 0,000 | -0,043 0,656 | -0,215 0,025 | 0,199 0,038 | -0,186 0,055 | -0,420 0,000 | -0,029 0,764 | -0,162 0,094 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | | |
| P_PO ₄ ³⁻ | 0,074 0,446 | 0,112 0,247 | -0,248 0,009 | -0,123 0,206 | 0,019 0,840 | 0,010 0,911 | -0,039 0,684 | -0,250 0,009 | 0,099 0,309 | 0,095 0,327 | 1,000 0,000 | | | | | | | | | |
| SO ₄ ²⁻ | 0,125 0,196 | 0,160 0,097 | 0,135 0,164 | -0,100 0,302 | 0,229 0,017 | 0,199 0,039 | 0,067 0,488 | 0,080 0,407 | -0,093 0,340 | 0,201 0,037 | 0,060 0,536 | 1,000 0,000 | | | | | | | | |
| Cl ⁻ | 0,054 0,579 | 0,315 0,000 | 0,285 0,002 | -0,215 0,025 | 0,673 0,000 | 0,504 0,000 | -0,371 0,000 | 0,434 0,000 | 0,005 0,955 | 0,304 0,001 | -0,033 0,731 | 0,264 0,005 | 1,000 0,000 | | | | | | | |
| % Pastagem | 0,106 0,274 | -0,885 0,000 | 0,117 0,227 | 0,171 0,077 | -0,324 0,000 | -0,193 0,045 | 0,349 0,000 | 0,001 0,989 | 0,070 0,468 | -0,600 0,000 | -0,159 0,100 | -0,187 0,052 | -0,418 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | | |
| % Floresta | 0,102 0,295 | 0,724 0,000 | -0,076 0,431 | -0,233 0,015 | 0,339 0,000 | -0,054 0,576 | -0,459 0,000 | -0,055 0,573 | -0,006 0,943 | 0,749 0,000 | 0,104 0,282 | 0,416 0,000 | 0,424 0,000 | -0,778 0,000 | 1,000 0,000 | | | | | |
| % Capoeira alta | -0,080 0,411 | -0,412 0,000 | -0,280 0,003 | -0,091 0,348 | 0,064 0,508 | 0,054 0,579 | 0,050 0,605 | -0,143 0,139 | -0,168 0,081 | -0,512 0,000 | 0,053 0,585 | -0,157 0,105 | -0,269 0,000 | 0,476 0,000 | -0,672 0,000 | 1,000 0,000 | | | | |
| % Capoeira baixa | -0,373 0,000 | -0,315 0,000 | -0,175 0,070 | 0,188 0,051 | 0,007 0,938 | 0,235 0,014 | 0,419 0,000 | -0,184 0,056 | -0,066 0,495 | -0,569 0,000 | 0,144 0,136 | 0,141 0,144 | -0,307 0,001 | 0,175 0,068 | -0,436 0,000 | 0,663 0,000 | 1,000 0,000 | | | |

(Continua..)

APÊNDICE D - Matriz de correlação de Spearman entre as variáveis medidas e as classes de uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá (continuação).

| | Q | OD | CE | pH | Na ⁺ | K ⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | N_NH ₄ ⁺ | N_NO ₃ ⁻ | P_PO ₄ ³⁻ | SO ₄ ²⁻ | Cl ⁻ | % Pastagem | % Floresta | % Capoeira alta | % Capoeira baixa | % Cultura agrícola | % Solo exposto | % Várzea |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------|--------------------|----------------|----------------|
| % Cultura agrícola | -0,182 0,059 | -0,329 0,000 | -0,307 0,001 | -0,107 0,269 | 0,302 0,001 | 0,128 0,188 | -0,011 0,906 | -0,171 0,077 | -0,189 0,050 | -0,435 0,000 | 0,113 0,243 | 0,074 0,444 | -0,108 0,266 | 0,305 0,001 | -0,383 0,000 | 0,868 0,000 | 0,783 0,000 | 1,000 0,000 | | |
| % Solo exposto | -0,036 0,709 | -0,533 0,000 | -0,126 0,193 | 0,119 0,220 | -0,138 0,154 | 0,003 0,975 | 0,349 0,000 | -0,265 0,005 | -0,087 0,370 | -0,450 0,000 | 0,041 0,681 | | -0,377 0,000 | 0,476 0,000 | -0,252 0,008 | 0,327 0,000 | 0,663 0,000 | 0,527 0,000 | 1,000 0,000 | |
| % Várzea | -0,019 0,843 | -0,505 0,000 | 0,062 0,523 | 0,178 0,065 | -0,409 0,000 | 0,190 0,049 | 0,379 0,000 | 0,046 0,635 | 0,142 0,143 | -0,627 0,000 | -0,111 0,251 | 0,820 0,000 | -0,381 0,000 | 0,548 0,000 | -0,847 0,000 | 0,506 0,0000 | 0,349 0,000 | 0,168 0,000 | 0,201 0,036 | 1,000 0,000 |

Fonte: Do autor