UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GESTÃO HÍDRICA E AMBIENTAL

SELECÃO DE MICROBACIAS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O USO DA TERRA E A QUALIDADE DA ÁGUA DE PEQUENOS IGARAPÉS NO NORDESTE PARAENSE

CRISTIANE FORMIGOSA GADELHA DA COSTA

BELÉM

2010

CRISTIANE FORMIGOSA GADELHA DA COSTA

SELECÃO DE MICROBACIAS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O USO DA TERRA E A QUALIDADE DA ÁGUA DE PEQUENOS IGARAPÉS NO NORDESTE PARAENSE

Monografia apresentada ao Programa de pós-graduação *"lato sensu"* em Gestão Hídrica e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA) como requisito para obtenção do grau de especialista em Gestão Hídrica.
Área de Concentração: Gestão Hídrica.
Orientador: Ricardo de Oliveira Figueiredo (EMBRAPA).
Co-orientador: José Fernando Pina Assis (UFPA).

BELÉM

2010

CRISTIANE FORMIGOSA GADELHA DA COSTA

SELECÃO DE MICROBACIAS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O USO DA TERRA E A QUALIDADE DA ÁGUA DE PEQUENOS IGARAPÉS NO NORDESTE PARAENSE

Monografia apresentada ao Programa de pós-graduação *"lato sensu"* em Gestão Hídrica e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA) como requisito para obtenção do grau de especialista em Gestão de Recursos Hídricos e Ambiental.
Área de Concentração: Gestão Hídrica.
Orientador: Ricardo de Oliveira Figueiredo (EMBRAPA).
Co-orientador: José Fernando Pina Assis (UFPA).

Data da aprovação: 07 /04 /2010.
Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

_____
Prof. Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo – Orientador
Doutor em Ciências Ambientais
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

_____
Prof. Dr. Francisco de Assis Oliveira
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

_____
Prof. Dr. Milton Antônio da Silva Matta
Doutor em Hidrologia
Universidade Federal do Pará – UFPA

DEDICATÓRIA

A Deus, por ser minha força.

Aos meus pais pelo apoio em todos os momentos.

"O Espírito de Deus me fez,
e a inspiração do Todo-poderoso me deu vida."
Jo 33:4

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois tudo que tenho e tudo que sou vem Dele.

Aos meus pais Maria das Graças Formigosa Gadelha e Valdeci Gadelha da Costa por sempre me darem todo o apoio nos meus estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação *"lato sensu"* em Gestão Hídrica e Ambiental do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), pela oportunidade de realizar este curso.

A EMBRAPA Amazônia Oriental pelo apoio e estrutura proporcionada para a execução do projeto de pesquisa.

Aos Drs. Steel Silva Vasconcelos e Pedro Gerhard, coordenadores dos projetos "*GESTABACIAS - Conservação de recursos naturais em mesobacias hidrográficas na Amazônia Oriental: iniciativas integradoras para promover o planejamento participativo da gestão ambiental no meio rural. Sistemas agroflorestais na Amazônia oriental: potencial de mitigação de efeitos das mudanças climáticas"* (Financiado pela EMBRAPA – Macroprograma 2) e "*Agricultura familiar e qualidade de água no Nordeste Paraense: Conservação de serviços agro-ecossistêmicos em escala de bacia hidrográfica"*, (Financiado pelo CNPQ – CT-HIDRO), pela oportunidade e pelos recursos financeiros para as atividades de campo e laboratório.

Ao Professor Dr. Ricardo de Oliveira Figueiredo (orientador), pela confiança depositada, apoio, horas de conversas e discussões sobre os dados, sempre atento a qualquer pergunta, sugestão ou dúvida.

Aos professores e colegas de Curso de Pós-Graduação *"lato sensu"* em Gestão Hídrica e Ambiental.

Aos estagiários e amigos do Laboratório de Ecofisiologia da EMBRAPA Amazônia Oriental. Em especial à Fabiola Fernandes, Camila Pires, Daniel Barroso e Izabela Santos, pelo apoio em campo e ensinamentos. Colaborando para um ambiente de trabalho agradável.

Ao técnico da EMBRAPA Amazônia Oriental, Reginaldo Frazão, pelo apoio em campo e agradável realização dos trabalhos nas áreas estudadas.

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

SELECÃO DE MICROBACIAS PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE O USO DA TERRA E A QUALIDADE DA ÁGUA DE PEQUENOS IGARAPÉS NO NORDESTE PARAENSE

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo escolher, dentre as microbacias componentes de mesobacias hidrográficas alvo de projeto de pesquisa no Nordeste Paraense, aquelas com maior potencial para a realização de estudos que avaliem as relações entre o uso da terra e a qualidade da água de pequenos igarapés. Para a avaliação e seleção das microbacias duas estratégias foram adotadas. A primeira estratégia relaciona-se a medições *"in situ"* de parâmetros físico-químicos, tais como: Oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e temperatura da água. A segunda relaciona-se à consideração de fatores ambientais, tais como: Área da microbacia, presença de uma classe predominante de uso da terra, possibilidade de pareamento de microbacias de características biofísicas similares, mas com usos da terra diferentes, e aspectos de logística relativos ao acesso aos locais de coleta de amostras e medidas hidrológicas e de qualidade de água. A triagem permitiu a escolha de 19 microbacias, sendo oito microbacias na Área 1 (Igarapé-Açu e Marapanim) e sete na Área 3 (Mãe do Rio e Irituia). Na Área 1 as microbacias encontram-se distribuídas na mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua e Buiúna, ambos afluentes do Rio Marapanim. Na Área 3, as microbacias selecionadas estão inseridas na mesobacia do Igarapé Peripindeua, o qual pertence à bacia hidrográfica do Rio Guamá. Adicionalmente, foram selecionadas duas microbacias em áreas de referência (áreas 2 e 4), ocupadas por floresta primária, com as mesmas condições climáticas e pedológicas das áreas 1 e 3, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: microbacias, igarapés, parâmetros físico-químicos, qualidade de água, uso da terra

SELECTION OF SMALL CATCHMENTS FOR AN EVALUATION OF THE RELATION BETWEEN THE LAND USE AND WATER QUALITY OF SMALL STREAMS IN THE NORTHEAST OF PARÁ STATE

ABSTRACT: The objective of this work was to choose among catchments, which are located in the study watersheds of a research project conducted in the northeast of Pará, those with the highest potential for an evaluation of the relations between land use and water quality in small Amazonian streams. Two strategies were used to select the catchments. The first one was the *in situ* physic-chemical parameters measurements as follows: Dissolved oxygen, pH, electric conductivity, and temperature. The second approach was related to environmental factors as follows: Catchment area, presence of one predominant land use class, possibility to have pair catchment land use effects evaluation considering biophysical aspects, and logistic aspects regarding to the access to the stream reaches for sampling and measurements. These approaches resulted in a choice of 19 catchments, being eight in the Region 1 (Igarapé-Açu e Marapanim-PA) and seven in the Region 3 (Mãe do Rio e Irituia). In the Region 1 the elected catchments are located in the watershed of the Timboteua and Buiuna neighbour streams, tributaries of the Marapanim River. In the Region 3, the elected catchments are located in the watershed of the Peripindeua Stream, a component of the Guamá River basin. Additionally, it was selected two catchments in forested reference regions (2 and 4) with the same climatic and soil characteristics of regions 1 and 3, respectively.

KEYWORDS: land use, physic-chemical parameters, small catchments, watersheds, water quality

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização das áreas de estudo no Estado do Pará.....24

Figura 2. Representação esquemática e hipotética de uma mesobacia segmentada em microbacias. As microbacias são classificadas pelo predomínio de uma categoria de uso da terra.....30

Figura 3. pHmetro 31

Figura 4. Oxímetro 31

Figura 5. Condutivímetro 31

Figura 6. Médias dos valores de pH nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3.....34

Figura 7. Médias dos valores de condutividade elétrica ($\mu S\ cm^{-1}$) nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3 34

Figura 8. Médias dos valores de Oxigênio dissolvido ($mg\ l^{-1}$) nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3 35

Figura 9. Médias dos valores de Temperatura (ºC) nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3 35

Figura 10. Percentual de bacias representativas de cada categoria de uso da terra na 38

Figura 11. Percentual de bacias representativas de cada categoria de uso da terra na Área 3.....39

Figura 12. Microbacias selecionadas nas Áreas 1 e 2.....41

Figura 13. Microbacias selecionadas nas Áreas 3 e 4.....42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Identificação e tamanho das áreas de estudo, municípios paraenses onde essas estão inseridas, e o uso da terra predominante. 24

Tabela 2. Valores médios dos parâmetros físico-químicos nos igarapés avaliados nas áreas 1 e 3, categorizadas segundo as classes de uso da terra predominante em suas microbacias.....38

Tabela 3. Características das microbacias selecionadas nas Áreas 1 e 3.....43

SUMÁRIO

RESUMO vi
ABSTRACT vii
LISTA DE FIGURAS viii
LISTA DE TABELAS ix
1 INTRODUÇÃO 11
2 OBJETIVOS 13
2.1 Objetivo Geral 13
2.2 Objetivo Específico 13
3 REVISÃO DA LITERATURA 14
3.1 A ÁGUA COMO RECURSO NATURAL ESTRATÉGICO 14
3.2 RELAÇÃO ENTRE USO AGRÍCOLA DA TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA 16
3.3 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA 17
3.3.1 Temperatura 18
3.3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH) 19
3.3.3 Condutividade elétrica (CE) 20
3.3.4 Oxigênio dissolvido (OD) 21
4 ÁREA DE ESTUDO 23
4.1 Área 1 24
4.2 Área 2 25
4.3 Área 3 26
4.4 Área 4 27
5 MATERIAL E MÉTODOS 28
5.1 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL 28
5.2 PROCEDIMENTOS DE CAMPO 30
5.3 CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS MICROBACIAS 31
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO 33
6.1 ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS 33
6.2 SELEÇÃO DAS MICROBACIAS 36
6.2.1 Microbacias avaliadas 37
6.2.2 Microbacias selecionadas 40
7 CONCLUSÃO 44
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45
9 ANEXOS 52

1. INTRODUÇÃO

A falta de planejamento do uso dos recursos hídricos, o uso inadequado do solo e a devastação das zonas ripárias têm sido apontadas, em geral, como as principais causas da degradação de bacias hidrográficas, trazendo riscos à manutenção da quantidade e qualidade do recurso hídrico e da perda de biodiversidade. Segundo a Resolução número 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 17/03/05, a saúde e o bem estar humano, bem como o equilíbrio ecológico aquático não devem ser afetados como conseqüência da deterioração da qualidade das águas. Esta resolução limita alguns usos da água de acordo com a sua qualidade, tendo por bases diversos parâmetros analíticos, dispondo-a em diversas classes.

As alterações de origem antrópica na paisagem rural da Amazônia fomentam discussões em vários segmentos da sociedade sobre a busca por estratégias sustentáveis de gerenciamento dos recursos naturais (solo, água, flora, fauna) e recuperação de recursos degradados (MERTENS *et al*., 2002; VIEIRA *et al*., 2003; WATRIN *et al*., 2005). Estratégias visando à gestão de recursos naturais, envolvendo tanto o uso racional dos recursos íntegros como a recuperação daqueles degradados, requerem estudos de avaliação e monitoramento dos processos de ocupação da paisagem e de seus impactos ambientais e socioeconômicos. No entanto, existem poucos estudos integrados de avaliação e monitoramento disponíveis para subsidiar estratégias de gestão participativa de recursos naturais na Amazônia.

Na definição de áreas para estudos ambientais há uma tendência para escolha da bacia hidrográfica como unidade de investigação. Esta escolha decorre do fato da bacia hidrográfica representar uma área com limites topográficos definidos, onde todos os componentes da paisagem interagem: atmosfera e vegetação, plantas e solo, rocha e água subterrânea, cursos d'água ou lagos e suas áreas circundantes (MOLDAN & CERNÝ, 1994). Quanto menor a escala da bacia, mas fácil é de se identificar fatores de mudanças ambientais provocados por ação antropogênica. Além disso, a Lei 9.433/97 que considera a água como um bem de domínio público e de uso múltiplo para que sejam asseguradas prioridades básicas, define a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação dessa política pública.

A quantidade e a qualidade da água representam parâmetros integradores dos efeitos dos diversos componentes da paisagem sobre os recursos naturais na bacia hidrográfica. Logo, parâmetros químicos, físicos e biológicos, avaliados nos diversos compartimentos de uma

unidade de paisagem, podem representar indicadores sensíveis dos impactos antrópicos sobre os recursos naturais.

Mudanças no uso e cobertura do solo, provocadas principalmente pela agricultura e pecuária, influenciam a diversidade biológica (SALAS *et. al*., 2000), o clima (GASH *et. al*., 1996) e os ciclos biogeoquímicos e da água (MEIXNER & EUGSTER, 1999). A retirada da floresta nativa pode resultar em aumentos da temperatura do solo, da erosão, e em modificações do balanço hídrico e na disponibilidade de nutrientes (VITOUSEK & MELILLO, 1979; LEOPOLDO *et. al*., 1987; SWANK & CROSSLEY, 1988). Consequentemente, o transporte de sedimentos, material orgânico e nutrientes associados para os rios é também alterado (HUNSAKER & LEVINE, 1995; SHARPLEY *et al*., 1995; MEYER *et al*., 1988).

O estabelecimento de pastagens diminui a diversidade vegetal local e a diversidade animal, pois homogeneiza o ambiente. A intensidade de forrageamento compromete a manutenção e regeneração do sistema florestal (devido ao pisoteio) (PIMENTEL, EDWARDS, 1982; ALLEN, MARLOW, 1992), de forma que a vegetação arbustiva é lentamente substituída pela herbácea que pode diminuir em diversidade com a predação (BOGGS & WEAVER, 1992; CLARY & MEDIN, 1992).

Tanto a pecuária como a agricultura tem uma necessidade comum imediata: o espaço físico. Isto faz do desmatamento a primeira consequência prejudicial ao ambiente. O solo descoberto fica exposto à lixiviação superficial (que leva consigo a deposição orgânica de vegetais e sua microfauna associada) e à lixiviação profunda (que promove a migração dos nutrientes dos solos superficiais para as camadas mais profundas). Tais processos resultam em empobrecimento do solo e conduzem o material lixiviado para áreas de menor altitude, que em geral convergem para rios e lagos, podendo estimular maior uso de fertilizantes. Assim, desequilibram o estoque de nutrientes no solo, cujo excedente pode impactar os corpos hídricos.

Em virtude da extensão geográfica, das variações edafoclimáticas e, sobretudo, do histórico e da forma de ocupação do Estado do Pará, as mudanças antrópicas na sua paisagem não se processam de maneira homogênea no espaço, gerando áreas mais críticas quanto às modificações ambientais. Neste contexto, a parte leste do Estado, localizada no denominado "arco do desflorestamento" da Amazônia, tem sofrido os maiores impactos negativos e enfrenta grandes problemas causados pela ocupação desordenada do seu espaço (MERTENS *et al*., 2002; METZGER, 2002; WATRIN *et al*., 2007). Dessa forma, análises das condições da água fluvial de bacias hidrográficas da Amazônia oriental, relacionando-as com o uso da

terra, se tornam importantes para o planejamento da recuperação de áreas que sofreram maior degradação ambiental.

No presente trabalho é apresentada uma estratégia metodológica envolvendo análises variadas. Com o intuito de definir quais microbacias (áreas menores que 300 ha), integrantes de duas mesobacias hidrográficas (objeto de projeto de pesquisa "Gestabacias" conduzido no Nordeste Paraense pela EMBRAPA Amazônia Oriental), poderiam favorecer o entendimento dos efeitos do uso da terra sobre a qualidade da água fluvial no contexto dos sistemas de produção adotados no meio rural da região.

Para essa triagem de microbacias potenciais nesse tipo de avaliação foram realizadas medidas de parâmetros físico-químicos, tais como: oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e temperatura da água. Além disso, foram considerados alguns fatores ambientais, tais como: área drenada da microbacia, presença de uma classe predominante de uso da terra e possibilidade de pareamento de microbacias com características biofísicas similares, mas com usos da terra diferentes. Adicionalmente, foram consideradas questões de logística ligadas à facilidade de acesso aos locais de coleta de amostras, medidas hidrológicas e de qualidade de água.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Escolher dentre as microbacias componentes de mesobacias hidrográficas, que são alvo de projeto de pesquisa no Nordeste Paraense, aquelas com maior potencial para a realização de estudo que avalie as relações entre o uso da terra e a qualidade da água de pequenos igarapés.

2.2. Objetivos Específicos

i) Avaliar, observando os critérios de seleção previamente estabelecidos, o maior número possível de microbacias inseridas nas mesobacias dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna e do Igarapé Piripindeua;

ii) Medir oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica e temperatura das águas fluviais nas microbacias avaliadas;
iii) Relacionar o uso da terra das microbacias avaliadas com as variáveis físicas e químicas medidas; e
iv) Utilizando os critérios para seleção de microbacias, definir um número exequível destas para que estudos subsequentes sobre os efeitos do uso da terra sobre a hidrogeoquímica fluvial sejam nelas conduzidos.

3. REVISÃO DA LITERATURA

Nesta seção são apresentadas considerações sobre os temas mais relevantes relacionados a este trabalho. São três os temas aqui tratados: 1. A água como recurso natural estratégico; 2. Relações entre uso agrícola da terra e qualidade da água; 3. Parâmetros físico-químicos de qualidade da água.

3.1. A ÁGUA COMO RECURSO NATURAL ESTRATÉGICO

Os cursos d'água componentes de uma bacia hidrográfica são ecossistemas abertos em constante interação com o sistema terrestre e a atmosfera circundante. De acordo com Petts (2000), os processos físicos, químicos e biológicos atuantes nos rios devem ser avaliados em três dimensões espaciais - longitudinal, lateral e verticalmente. Tais processos devem ser ainda avaliados temporalmente, inclusive considerando as mudanças climáticas em curso.

De fato, as três dimensões espaciais citadas acima devem ser consideradas na conservação dos recursos hídricos, incluindo rios e riachos, acrescentando também as dimensões temporal e conceitual (PETTS, 1992). A dimensão temporal é bastante significativa e importante, uma vez que, a morfologia do canal e as comunidades aquáticas podem ser alteradas naturalmente ao longo do tempo. Além disso, mudanças abruptas induzidas pelo homem, como represamento e lançamento de esgoto, podem alterar os processos a montante e a jusante. Quanto à dimensão conceitual, esta se refere a aspectos filosóficos, políticos e práticos,

levantando questões a respeito de como avaliar, o que conservar, e quais prioridades devem ser consideradas na conservação desse recurso natural estratégico.

Gazzoni (2001) cita as previsões da ONU de que, nos primeiros 50 anos do século XXI, o planeta terá uma população entre 9 e 10 bilhões de pessoas e a demanda por água crescerá em taxas superiores às de alimentos. Tal conclusão é suscitada em face do cenário atual da agricultura mundial, que prioriza aumento de produção de alimentos, o que sem dúvida requer um maior volume de água para irrigação dos campos agrícolas.

A água estará em foco neste novo milênio, e já tem aparecido com freqüência nos noticiários de todo o mundo. Notícias sobre poluição, escassez de água, seca e, mais recentemente, o problema da geração de energia tem sido muito veiculado. A verdade é que sempre se pensou na água como um bem abundante e, por conseqüência, inesgotável. Mas, trata-se de uma falsa impressão.

A distribuição da água não se encontra de forma homogênea em nosso planeta, bem como sua demanda é também heterogênea. Tal fato confirma a necessidade de uma gestão eficiente, de maneira que se contemple o uso múltiplo dos recursos hídricos. Dessa maneira, uma gestão eficiente proporcionaria a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para os interessados, pois é um bem natural público, fato que aponta para a obrigação do Estado quanto ao fornecimento de água em quantidade e qualidade para todos os segmentos da sociedade.

De acordo com os dados levantados por Lima (2009), cerca de 80% da superfície da Terra é composta de água, assim distribuída: Um pouco mais de 97% estão nos oceanos e o restante (quase 3%) nas reservas de água doce, as quais, em princípio, seriam apropriadas para consumo. Adicionalmente, é preciso atentar para o fato de que as geleiras nos círculos polares representam 77% da água doce, 22% são águas subterrâneas e apenas 1% encontra-se na superfície, presente nos rios, lagos, açudes e represas. Além disso, cerca de 60% do consumo global de água potável é extraído de reservatórios subterrâneos não renováveis.

O Brasil detém 19% do potencial de água doce disponível no mundo (LIMA, 2001). Em outro extremo, tem-se como exemplo o Japão que já importa água doce da Coréia do Sul. Há quem vislumbre, num futuro não muito distante, a existência de mecanismos de comercialização de água doce, uma vez que os processos utilizados para dessalinização da água do mar operam em pequena escala e a custos muito elevados. Contrastando com esse cenário, no Brasil, as taxas de desperdício de água chegam a 40% na rede pública de distribuição (LIMA, 2009).

No caso específico brasileiro, não se deve permitir que decisões externas, venham interferir no rumo e destino do país. É discutível a idéia da escassez no país, mas não quer dizer que com isso pode-se admitir o desperdício, pois se sabe do compromisso com as gerações futuras. Os subsídios promovidos aos pecuaristas pelo governo brasileiro, em tempos passados, embora contribuíssem para a prosperidade econômica do setor, provocou enorme desmatamento das matas protetoras dos mananciais hídricos e reforçou a concentração fundiária nas mãos de uma parcela minoritária da população. A introdução de sistemas de monocultura permitiu o aumento dos ganhos dos exportadores. Entretanto, eles modificaram os sistemas produtivos tradicionais, provocando migrações para as cidades e expulsando algumas populações rurais para zonas agrícolas menos produtivas e mais sensíveis do ponto de vista da conservação dos solos e da água (ALMEIDA *et al.*, 2009).

3.2. RELAÇÕES ENTRE USO AGRÍCOLA DA TERRA E QUALIDADE DA ÁGUA

Uma vez que os mananciais de água não são estáticos, a contaminação de determinada área pode se estender por toda uma região, e muitas vezes não é possível discriminar a origem do contaminante, como é o caso dos grandes rios poluídos tanto pelas atividades agrícolas quanto pelos efluentes urbanos e industriais. A poluição da água por variados tipos de detritos (ex.: embalagens vazias, lixo, sedimentos), compostos orgânicos (ex.: moléculas de defensivos agrícolas), elementos químicos tóxicos (ex.: metais pesados) ou nutrientes (ex.: nitrato, fósforo) e microrganismos indesejáveis (ex.: bactérias e vírus nocivos à saúde) tem sido frequentemente detectada em diferentes regiões do mundo (ONGLEY, 2009).

As relações entre uso do solo e as águas têm sido demonstradas por vários estudos, sendo que a conversão de áreas florestadas, principalmente para o uso agrícola ou urbano, têm sido associada à diminuição da qualidade dos recursos hídricos (FREITAS, 2000; TUCCI, 2000; OMETO *et al*., 2000; GERGEL *et al*., 2002; SANTOS, 2004; SNYDER *et al*., 2005). Embora não seja o único agente responsável pela perda da qualidade de água, a agricultura (direta ou indiretamente), quando não são adotadas práticas conservacionistas, contribui para a degradação dos mananciais. A contaminação dos corpos d'água pode ser causada por substâncias orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas e, ainda, por agentes biológicos. Amplamente empregadas, muitas vezes de forma inadequada, as aplicações de insumos

químicos em plantações, assim como os resíduos derivados da criação intensiva de animais, são tidas como as principais atividades relacionadas à perda da qualidade da água nas áreas rurais.

Os elementos químicos presentes nos insumos agrícolas são adicionados ao meio ambiente, criando a necessidade de realizar avaliações tanto da interferência das respectivas atividades agropecuárias nos fluxos biogeoquímicos, como da contaminação do bioma. Sabe-se que a natureza orgânica das moléculas dos pesticidas permite sua degradação, sendo necessário estudar os destinos e as consequências do transporte destas moléculas e seus resíduos (MATTOS & SILVA, 1999).

Quando os agrotóxicos são introduzidos, os recursos hídricos, sejam superficiais ou subterrâneos, aparecem como o principal destino destes. Na maioria das vezes a concentração dos pesticidas em água é baixa, em parte por serem geralmente pouco solúveis e em parte devido ao efeito de diluição. Entretanto, mesmo nestas concentrações, tais produtos representam riscos para algumas espécies de organismos aquáticos, que podem concentrá-las em até 1000 vezes (FERRACINI *et al*., 2001).

Por outro lado, em regiões de alta dinâmica, com áreas agrícolas sob a prática da derrubada e queima, para cultivo nos primeiros anos e descanso ou abandono nos anos seguintes, mescladas com remanescentes florestais e grandes áreas de pastagens bem estabelecidas, a análise do uso da terra poderá trazer novas informações para o entendimento das condições hídricas locais. Estas análises ao serem relacionadas a indicadores de qualidade de água podem refletir a intensidade das alterações antrópicas, principalmente no âmbito da bacia hidrográfica (GERGEL *et al*., 2002; HOULAHAN & FINDLAY, 2004).

Assim, em grandes extensões territoriais, o conhecimento de parâmetros que relacionem as condições da cobertura vegetal com a qualidade desejável das águas (conforme seu uso preponderante) pode embasar instrumentos de planejamento e padrões de uso do solo (RIPA *et al*., 2006).

3.3. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE QUALIDADE DA ÁGUA

Na avaliação da qualidade ambiental como um todo, é preciso obter informações integradas dos fatores bióticos e abióticos que atuam no funcionamento do ecossistema. A avaliação de um ecossistema baseia-se primordialmente em considerações de parâmetros físicos, químicos e biológicos. No que se refere à qualidade da água de rios e riachos,

destacam-se os parâmetros físico-químicos – temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido – importantes componentes na caracterização da hidrogeoquímica das águas fluviais. Embora outros parâmetros de qualidade de água sejam também importantes, a descrição que se segue trata apenas dos quatro parâmetros físico-químicos medidos ao longo deste trabalho.

3.3.1. Temperatura

Nos ecossistemas aquáticos, a quase totalidade da propagação do calor ocorre por transporte de massa d'água, sendo a eficiência deste função da ausência ou presença de camadas de diferentes densidades. Em lagos, quando a temperatura é uniforme em toda a coluna d'água, a propagação do calor através de toda a massa líquida ocorre de maneira bastante eficiente, uma vez que, a densidade da água nessas condições é praticamente igual em todas as profundidades, sendo o vento o agente fornecedor da energia indispensável para a mistura das massas d'água. Por outro lado, quando as diferenças de temperatura geram camadas d'água com diferentes densidades, que em si já formam uma barreira física impedindo que se misturem, e se a energia do vento não for suficiente para misturá-las, o calor não se distribui uniformemente, criando a condição de estabilidade térmica. Este fenômeno identifica que o ecossistema aquático está estratificado termicamente. Os estratos formados frequentemente estão diferenciados física, química e biologicamente (AMBIENTE BRASIL, 2009).

Para as medidas de temperatura, podem ser utilizados termômetros simples de mercúrio ou aparelhos mais sofisticados como o "Termistor", que pode registrar diretamente a temperatura das várias profundidades na coluna d'água. Estas medidas devem ser realizadas no próprio local de coleta.

A elevação da temperatura da água, em cerca de 2ºC, pode ser suficiente para a destruição de ecossistemas naturais. Uma variação brusca de temperatura é mais grave que uma variação lenta, dado ao choque térmico que pode ser provocado nos organismos. A temperatura da água determina a velocidade das reações biológicas e influencia certos parâmetros sensoriais: odor, sabor e concentração de oxigênio, cuja solubilidade diminui com o aumento de temperatura (PORTELA & RESENDE, 2008).

3.3.2. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O logaritmo decimal negativo da concentração hidrogeniônica, ou da concentração do íon hidrogênio, de uma solução aquosa, é representado por um valor de pH. Água com pH 7,0 é referida como neutra, ou seja, existe um equilíbrio entre os íons H^+ e OH^- nela dissociados. Além da concentração de íons hidrogênio na água poder, em si mesma, causar efeitos adversos para os mais variados fins, o valor do pH pode ser usado como uma medida de poluição da água. De acordo com Mckee & Wolf (1971), o pH está intimamente relacionado com a concentração de várias outras substâncias na água, podendo se tornar altamente significante na determinação dos limites perigosos de concentração.

O pH da água de fontes de suprimento para uso doméstico é importante pelo fato de afetar o sabor, a potabilidade, a corrosividade a eficiência da cloração, e etc.. Por exemplo, o poder germicida do cloro diminui com o aumento do pH. Por outro lado, águas com valores altos de pH favorecem o controle do problema de corrosão. A água pode, ainda, adquirir sabor "azedo" quando o pH for inferior a 3,9 (MCKEE & WOLF, 1971).

Para a irrigação, a influência do pH da água vai depender do tipo da cultura e das propriedades químicas e físicas do solo. Água com pH superior a 8,3 pode tornar-se inadequada para irrigação, por conter concentrações altas de sódio, carbonatos e bicarbonatos. A aplicação de água com pH inferior a 4,8 durante prolongado período pode tornar o ferro, o alumínio e o manganês no solo em concentração tóxica para as plantas (FEDERAL WATER POLLUTION CONTROL ADMINISTRATION, 1968).

Este parâmetro é importante inclusive na utilização da água em processos industriais. Para a produção de celulose de alta qualidade, tem sido verificado que o pH ótimo deve ser 7,0. Água com pH entre 6,7 e 7,3 contribui para a produção de celulose de baixa qualidade (MCKEE & WOLF, 1971). Valores baixos de pH podem também aumentar o poder corrosivo da água em relação ao concreto.

O pH da água é, normalmente, medido através da determinação do potencial entre um eletrodo de vidro e um eletrodo de referência imersos na amostra. O eletrodo (interno) de referência está imerso em solução de pH conhecido e assume um potencial constante. O eletrodo de vidro assume um potencial que é dependente da atividade hidrogeniônica (pH) da amostra. O potencial do eletrodo (leitura do aparelho) fica sendo, então, a diferença de potencial entre o eletrodo de referência e a solução a ser medida. O mecanismo pelo qual a membrana de vidro do eletrodo responde à atividade hidrogeniônica da amostra envolve

processos de adsorção de íons H^+ em ambos os lados da membrana, adsorção essa que é proporcional à atividade hidrogeniônica da amostra. A voltagem do eletrodo de vidro é função logarítmica da atividade hidrogeniônica da amostra. O eletrodo de vidro apresenta vantagens para a determinação do pH de amostras de água. Primeiramente, ele não é afetado por processos de oxidação ou redução; e em segundo lugar permite, ainda, a determinação do pH em amostras com elevado valor de turbidez.

Além disso, a medição do pH é um processo dependente da temperatura. Fato que deve ser controlado, a fim de evitar erros apreciáveis, realizando a chamada compensação da temperatura (ajuste no medidor de pH). Antes da medição, o aparelho deve ser também calibrado com soluções tampão de pH conhecido, por exemplo: pH 4,0 e pH 7,0 para amostras ácidas ou de baixa acidez (LIMA, 2008). Os potenciômetros modernos apresentam melhorias tecnológicas capazes de permitir a leitura do pH com precisão até a 3ª casa decimal.

3.3.3. Condutividade elétrica (CE)

A condutância ou condutividade elétrica específica, refere-se à capacidade que a água apresenta de conduzir a corrente elétrica. É, portanto, um parâmetro que indica a carga iônica da amostra. Em qualidade de água, a definição exata da condutividade implica que se trata do recíproco da resistência elétrica (mho), sendo medida entre faces opostas de l cm^3 de água a temperatura de 25ºC. As águas naturais geralmente apresentam condutividade inferior a 1 mho e se convencionou desta forma, usar como unidade de condutividade o micromho (10^{-6} mho cm^{-1}) (LIMA, 2008). No entanto, é também bastante comum expressar os valores de condutividade por meio da unidade microsiemen ($\mu S\ cm^{-1}$), que corresponde a um milionésimo de um mho (10^{-6} mho cm^{-1}).

A condutividade elétrica da água pode variar de acordo com a temperatura e a concentração total de substâncias ionizadas dissolvidas. Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas (pH>9 ou pH< 5), os valores de condutividade são determinados principalmente por altas concentrações de poucos íons em solução, dentre os quais os mais freqüentes são o H^+ e o OH^-. A determinação da condutividade pode ser feita através do método eletrométrico, utilizando para isso um condutivímetro digital (AMBIENTE BRASIL, 2009).

A condutividade é medida através de uma ponte de *wheatstone*, correspondente à resistência da amostra entre dois eletrodos. Os eletrodos estão situados na chamada "célula" de condutividade e guardam entre si uma distância de 1 cm. Os eletrodos podem ser revestidos de platina, tungstênio ou aço inoxidável, para minimizar efeitos de polarização. Os aparelhos (condutivímetros) vêm, em geral, dotados de mecanismo de compensação de temperatura, já que esta afeta a condutividade (LIMA, 2008).

Em águas continentais, os íons diretamente responsáveis pelo incremento da condutividade são principalmente, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, os carbonatos, os sulfatos e os cloretos. O parâmetro condutividade elétrica não determina, especificamente, quais os íons que estão presentes em determinada amostra de água, mas pode contribuir na avaliação de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais e agrícola, pela mineração, pelo despejo de esgotos, e etc.

3.3.4. Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio e o gás carbônico são os dois constituintes gasosos mais importantes encontrados em solução nas águas naturais. Outros gases menos comuns incluem óxidos de nitrogênio, metano e enxofre. O oxigênio dissolvido na água provém principalmente da atmosfera. Outra fonte de oxigênio em águas superficiais é a resultante do processo fotossintético de plantas aquáticas, principalmente algas, cujo crescimento excessivo pode resultar em condições de supersaturação de oxigênio (POWELL, 1964; MCKEE & WOLF, 1971).

A solubilidade do oxigênio na água, semelhantemente ao que acontece com os demais gases, varia diretamente com a pressão atmosférica e inversamente com a temperatura da água. Em condições normais de pressão atmosférica e a temperatura de 21 ºC, um corpo de água pode conter cerca de 9,0 mg l^{-1} de oxigênio dissolvido. A temperatura de 10 ºC, a solubilidade é de aproximadamente 11,0 mg l^{-1}; e a temperatura de 30 ºC a solubilidade cai para cerca de 7,0 mg l^{-1} (HEM, 1970).

Portanto, a concentração de oxigênio dissolvido diminui com o aumento da temperatura da água (LIMA, 2008). Um acréscimo na concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na água resulta também na diminuição da sua capacidade em conter oxigênio dissolvido. O oxigênio dissolvido na água não deve, como parâmetro de qualidade da água, ser encarado

como poluente primário, mas ele é considerado como corolário da poluição. A determinação do oxigênio dissolvido é de fundamental importância para avaliar as condições naturais da água e detectar impactos ambientais, como a eutrofização e a poluição orgânica.

De fato, tanto o excesso de oxigênio, que pode eventualmente surgir em consequência do crescimento exagerado de algas em dado momento, como a diminuição na concentração de oxigênio dissolvido, são sintomas de alteração da qualidade da água. A presença de oxigênio na água acelera o processo de corrosão de metais, consistindo, dessa forma, em problema para certos usos industriais da água.

Do ponto de vista ecológico, o oxigênio dissolvido é uma variável extremamente importante, pois é necessário para a respiração da maioria dos organismos que habitam o meio aquático. Geralmente o oxigênio dissolvido se reduz ou desaparece, quando a água recebe grandes quantidades de substâncias orgânicas biodegradáveis encontradas, por exemplo, no esgoto doméstico, em certos resíduos industriais, no vinhoto, e outros. Os resíduos orgânicos despejados nos corpos d'água são decompostos por microorganismos que se utilizam do oxigênio na respiração. Assim, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de microorganismos decompositores e, consequentemente, maior o consumo de oxigênio (AMBIENTE BRASIL, 2009).

Em teoria, o conteúdo do oxigênio em um determinado corpo de água é aquele resultante do equilíbrio deste com a pressão atmosférica e temperatura. Em águas naturais, todavia, este equilíbrio raramente subsiste, pois a temperatura está sempre sujeita a variações, e as atividades físicas, químicas, bioquímicas e biológicas na água estão constantemente utilizando ou liberando oxigênio. O teor de oxigênio dissolvido de um corpo de água, dessa forma, é uma propriedade altamente transitória. A determinação do oxigênio dissolvido faz sentido apenas para a caracterização deste parâmetro da água no ponto e no instante da coleta da amostra (LIMA, 2008).

O "Standard Methods" (APHA, 1975) cita dois métodos gerais para a determinação do oxigênio dissolvido: o Método de *Winkler*, ou Iodométrico, e o Método Eletrométrico. No Método Eletrométrico, o oxigênio dissolvido na água é determinado por meio de eletrodos de membrana, cujo maior mérito é o fato de se poder fazer as análises no próprio local.

Já o Método de *Winkler* subentende várias modificações que podem ocorrer. O seu princípio geral está baseado na adição, à amostra, de uma solução de hidróxido de manganês, seguida de uma forte alcalinização. O oxigênio dissolvido presente na amostra oxida rapidamente uma quantidade equivalente de manganês, formando hidróxidos de maior valência. Na presença de um sal de iodo, e após acidificação da amostra, este hidróxido de

manganês oxidado reverte novamente a hidróxido de manganês (divalente), liberando iodo em quantidade equivalente à quantidade original de oxigênio na amostra. O iodo é, então, titulado com solução padronizada de tiossulfato, usando amido como indicador (LIMA, 2008).

4. ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado na Mesorregião do Nordeste do Estado do Pará, onde foram definidas pelo Projeto Gestabacias quatro áreas de estudo, cujas características e localização podem ser observadas na Tabela 1 e na Figura 1. As mesobacias e microbacias estudadas se inserem nas bacias hidrográficas do Rio Marapanim (áreas 1 e 2) e do Rio Guamá (áreas 3 e 4).

Nas áreas 1 e 3, há predomínio de formação de vegetação secundária em estágios sucessionais diversificados, possuem extensões significativas de terras sob uso agrícola em pequenas propriedades de base econômica "familiar", assim como pastagens, em geral degradadas, de dimensões diversas. Além das pequenas propriedades (lotes de 25 ha). Parte de ambas mesobacias (Timboteua/Buiuna e Peripindeua), é ocupada por fazendas de médio porte, de base produtiva empresarial, e voltada para a pecuária extensiva de corte. Esta atividade agropecuária, porém, é mais expressiva, na mesobacia do Igarapé Peripindeua do que na outra mesobacia.

As áreas 2 e 4 correspondem a fragmentos de vegetação primária que ocorrem nas proximidades das mesobacias estudadas. Em cada uma dessas áreas, foram previamente definidas microbacias de referência para comparação com as microbacias mais antropizadas presentes nas áreas 1 e 3, respectivamente, a mesobacia do Timboteua-Buiuna e a mesobacia do Peripindeua.

Tabela 1. IDENTIFICAÇÃO E TAMANHO DAS ÁREAS DE ESTUDO, MUNICÍPIOS PARAENSES ONDE ESSAS ESTÃO INSERIDAS, E O USO DA TERRA PREDOMINANTE.

Área	Identificação e Tamanho das Áreas	Município	Uso da Terra
1	Mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna (6.700 ha)	Marapanim e Igarapé-Açu	Agricultura Familiar, Pastagem e Vegetação Secundária
2	Fragmento florestal na Granja Marathon (1.000 ha)	São Francisco do Pará	Floresta Ombrófila Densa
3	Mesobacia do Igarapé Peripindeua (15.000 ha)	Irituia e Mãe do Rio	Agricultura Familiar, Pastagem e Vegetação Secundária
4	Fragmento florestal na Fazenda São Marcos (4.700 ha)	Capitão Poço	Floresta Ombrófila Densa

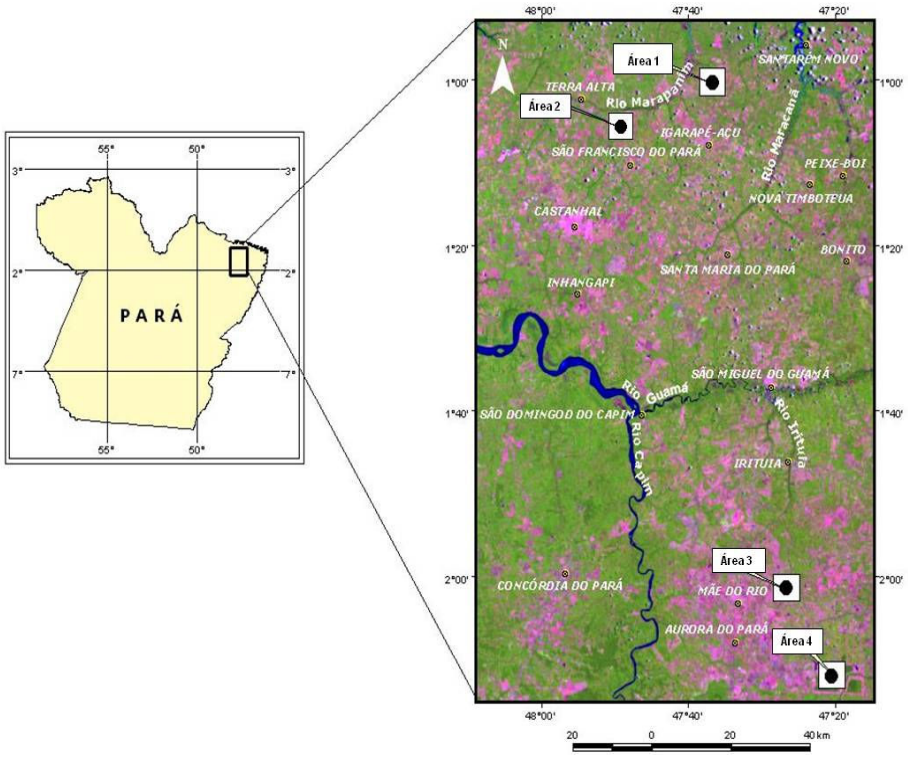

Figura 1. Localização das áreas de estudo no Estado do Pará (Fonte: Projeto GESTABACIAS, 2009).

4.1. Área 1

A Área 1 refere-se à mesobacia dos igarapés contíguos Buiuna e Timboteua, localizada na parte sul do município de Marapanim e contemplando uma pequena porção do município de Igarapé-Açu (Tabela 1), na chamada Microrregião Bragantina, a qual se constitui em uma

das mais antigas áreas de colonização agrícola da Amazônia. O solo dominante dessa área é o Latossolo Amarelo textura média (SEPOF-PA, 2009).

O clima dos Municípios insere-se na categoria de megatérmico úmido, do tipo Am da classificação de *Kôppen*, com temperatura média, durante todo o ano, em torno de 25 ºC. A precipitação anual é elevada e atinge 2.350 mm, com forte concentração entre os meses de janeiro a junho e mais rara de julho a dezembro, sendo que a umidade relativa do ar chega próximo de 85% (SEPOF-PA, 2009).

A agricultura familiar é predominante na área, sendo as principais culturas o *Zea mays* (milho), *Vigna unguiculata* (feijão caupi), e a *Manihot esculenta* Crantz (mandioca), além de cultivos semi-perenes, como o *Passiflora edulis* Sims (maracujá) e a *Piper nigrum* L. (pimenta-do-reino) (SILVA *et al.*, 1999). Os cultivos perenes ocasionam, via de regra, a degradação dos solos e envolvem o uso de agrotóxicos, em geral aplicados sem os devidos cuidados técnicos, notadamente na cultura do maracujá (LIMA, 2007).

A drenagem da região, onde está a Área 1, é generalizadamente dendrítica para densa, dada a área de litologia sedimentar que percorre (SEPOF-PA, 2009). A principal bacia hidrográfica em estudo nesta região é a do Rio Marapanim, o qual assume a direção Sul-Norte e deságua no Oceano Atlântico, formando a chamada Baía de Marapanim. Ocupando terras de diversos municípios do Nordeste Paraense, esta bacia se estende ao norte com o Oceano, ao sul com São Francisco do Pará e Igarapé-Açu, a leste com Maracanã e Magalhães Barata e a oeste com Curuçá e Terra Alta (CORRÊA, 2007).

A Bacia do Rio Marapanim (Figura 1) é receptora da mesobacia dos igarapés contíguos Buiuna e Timboteua (Área 1), que foram alvo da seleção de microbacias proposta neste trabalho para o estudo das relações entre o uso da terra e a qualidade da água de pequenos igarapés.

4.2. Área 2

A Área 2 refere-se a um fragmento florestal de 1.000 ha localizado na Granja Marathon, no município de São Francisco do Pará, que pertence à Mesorregião Nordeste Paraense e à Microrregião Bragantina. Os solos dessa região são representados, predominantemente, pelo Latossolo Amarelo textura média, Hidromórficos Indiscriminados e Solos Aluviais (SEPOF-PA, 2009).

O clima do Município apresenta-se quente e úmido e corresponde ao tipo Am, da classificação de *Kôppen*. Suas características são: divide-se em duas estações, uma chuvosa entre os meses de dezembro e maio e a outra, menos chuvosa, entre os meses de junho e novembro; precipitação média anual em torno de 2.200 mm; temperatura entre 29 ºC e 31 ºC, sendo a média em torno de 26 ºC; umidade relativa do ar encontra-se por volta de 78% e 93% (SEPOF-PA, 2009).

A cobertura vegetal predominante na região é de Floresta Secundária, que substituiu a antiga cobertura original de Floresta Densa dos baixos platôs, da qual restam poucos e esparsos testemunhos, devido ao intenso processo de desmatamento, ocorrido no Município para o plantio de espécies agrícolas de subsistência (*Zea mays*, *Vigna unguiculata* e a *Manihot esculenta* Crantz). Ao longo dos cursos d'água são encontrados, ainda, alguns ecossistemas ripários.

O principal acidente hidrográfico do município de São Francisco do Pará é o braço direito do Rio Marapanim (SEPOF-PA, 2009). Este recebe como afluente direto o Rio Inhanga, que atravessa a Granja Marathon, na qual está o fragmento florestal selecionado como área de referência em relação à Área 1 do Projeto GESTABACIAS e onde foram então escolhidas previamente duas microbacias para servirem como referência em relação as microbacias mais antropizadas da Área 1(Figura 1).

4.3. Área 3

A Área 3 refere-se à mesobacia do Igarapé Peripindeua e situa-se nos municípios de Mãe do Rio e Irituia (Tabela 1), os quais pertencem à Mesorregião Nordeste Paraense e à Microrregião Guamá. Os solos dos Municípios são representados pelo Latossolo Amarelo, textura argilosa; Latossolo Amarelo, textura média e Concrecionário Laterítico.

O clima dos Municípios insere-se na categoria de megatérmico e úmido. A temperatura média anual é elevada, em torno de 25º C. Seu regime pluviométrico permanece, geralmente, entre 2.250 mm/ano e 2.500 mm/ano. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo de janeiro a junho sua maior concentração (cerca de 80%), implicando grandes excedentes hídricos e, consequentemente, grandes escoamentos superficiais e cheias dos rios. A umidade relativa do ar gira em torno de 85% (SEPOF-PA, 2009).

A vegetação original predominante é a Floresta Equatorial Latifoliada, representada pelos subtipos Floresta Densa dos platôs, Densa dos terraços e Floresta Aluvial. Grande parte das matas primitivas foi substituída, devido à ação do desmatamento, por pastagens e florestas secundárias (SEPOF-PA, 2009).

Os acidentes hidrográficos mais importantes dos municípios são o Igarapé Mãe do Rio e o Rio Irituia, ambos afluentes da margem esquerda do Rio Guamá. A leste localiza-se a Área 3 desse estudo, mais especificamente a mesobacia do Igarapé Piripindeua (Figura 1), afluente da margem direita do Rio Irituia. No rio Irituia, pela margem esquerda, destaca-se também a mesobacia do Igarapé Arauaí, cuja área drenada inclui a Área 4.

4.4. Área 4

A Área 4 refere-se a um fragmento florestal de 4.700 ha localizado na Fazenda São Marcos, no município de Capitão Poço, o qual pertence à Mesorrregião do Nordeste Paraense e à Microrregião Guamá. A sede municipal tem as seguintes coordenadas geográficas: 01º 44' 54" de latitude sul e 47º 03' 42" de longitude a oeste de *Greenwich*.

O município apresenta o clima megatérmico e úmido. A precipitação pluviométrica anual é, geralmente, próximo a 2.250 mm. A umidade relativa do ar ocorre em torno de 85% (SEPOF-PA, 2009).

A vegetação é caracterizada pela cobertura de Floresta Densa Latifolheada de platô, terraços e vegetação aluvial. Estando a área inserida na condição de frente pioneira, com incidência grande de desmatamentos e, consequentemente, de áreas de floresta secundária.

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; Latossolos Amarelo, textura argilosa. (SEPOF-PA, 2009).

O Rio Guamá (Figura 1) é o de maior importância no município. Para o Rio Guamá, converge toda a trama de pequenos rios e igarapés que se inserem no município. Na direção sudoeste/nordeste, há a mesobacia do Igarapé Arauaí, que tem como tributárias as microbacias previamente escolhidas como referências em relação às microbacias da Área 3. As microbacias escolhidas na Área 4 estão, portanto, localizadas no fragmento florestal pertencente à Fazenda São Marcos.

5. MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção descreve os métodos utilizados para cumprimento dos objetivos deste trabalho. Aqui é apresentado o delineamento experimental da pesquisa, levando em consideração as características ambientais e de uso da terra das microbacias estudadas, assim como os procedimentos de campo adotados e os critérios utilizados para a seleção das microbacias que serão estudadas pelo Projeto GESTABACIAS.

5.1. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental adotado atende às restrições impostas a pesquisas que estudam as paisagens e suas respectivas características, tais como a diversidade de atores sociais, tipos de propriedades, sistemas produtivos e fatores ambientais. Desta maneira têm-se um delineamento experimental, cujas áreas estudadas são definidas a partir da realidade observada em relação às restrições anteriormente listadas, e que assim não pode ser totalmente casualizado.

Para a obtenção e análise das características ambientais as mesobacias foram segmentadas em microbacias (Figura 2) 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 análise foram feitas de modo a produzir microbacias com áreas entre dezenas e poucas centenas de hectares (entre 70-200 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. Este procedimento de segmentação definiu também os limites topográficos das mesobacias deste estudo, que foram analisadas como paisagens independentes.

Com base na delimitação das microbacias, foram avaliados 66 pontos em igarapés que se constituem nos pontos mais a jusante de microbacias na Área 1, e mais 30 pontos em igarapés de microbacias da Área 3, de tal maneira que pudessem ser selecionadas em cada mesobacia,

microbacias com predomínio de diferentes feições relacionadas ao uso da terra, como se segue:

a) **Agricultura familiar**

Tradicional: Cultivo de *Zea mays*, *Vigna unguiculata* e a *Manihot esculenta* Crantz no **sistema de derruba-e-queima**;

Alternativo: Envolve a substituição da queima pelo **corte-e-trituração** (manual ou mecanizada) da vegetação secundária no preparo da área, seguida pelo cultivo das culturas acima citadas;

Sistemas agroflorestais (SAFs) não-sequenciais: Plantio de espécies arbóreas frutíferas e madeireiras para formação de sistemas agroflorestais .

b) **Agricultura empresarial:**

Criação de bovinos em pastagens estabelecidas após derruba-e-queima da vegetação secundária ou após o abandono de áreas agrícolas.

c) **Floresta:** Microbacias de referência, drenando porções de fragmento de Floresta Ombrófila densa ou aberta, em estágio próximo ao clímax e pouco antropizada.

Em igarapés localizados nas microbacias visitadas nas áreas 1 e 3, foram avaliados parâmetros fisico-químicos da água, visando relacionar essas medidas obtidas com os sistemas de uso da terra listados acima.

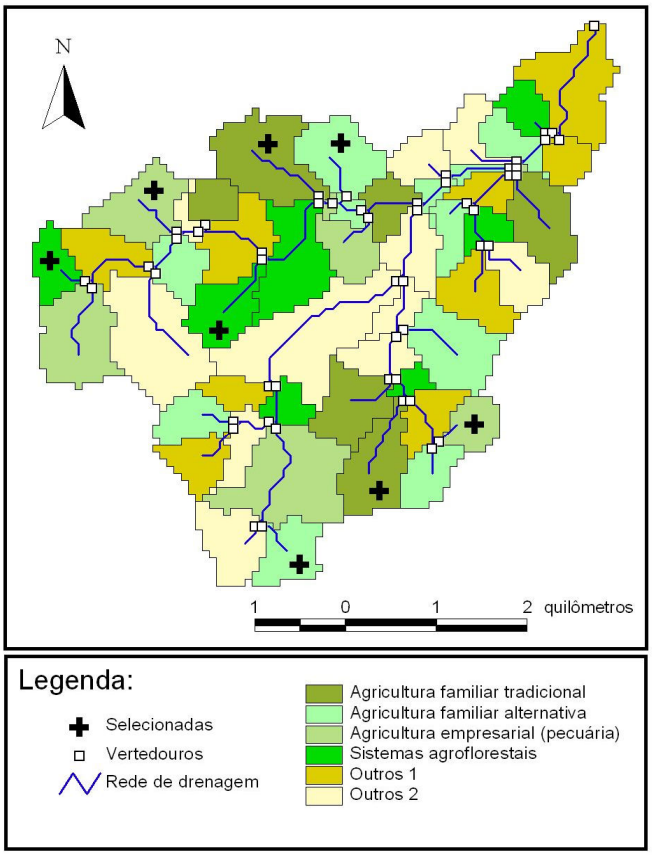

Figura 2. Representação esquemática e hipotética de uma mesobacia segmentada em microbacias. As microbacias são classificadas pelo predomínio de uma categoria de uso da terra (Fonte: GESTABACIAS, 2009).

5.2. PROCEDIMENTOS DE CAMPO

Para a avaliação da hidroquímica fluvial proposta, foram realizadas medidas físico-químicas da água empregando métodos baseados em protocolos recomendados pela APHA (1995) e CETESB (1978). Sendo que, estas variáveis físico-químicas foram medidas diretamente nos cursos d'água com equipamentos de campo e da seguinte forma:

- **pH**: Medição realizada "*in situ*" através do método potenciométrico, usando aparelho digital (eletrodo combinado de vidro e calomelano, com correção de temperatura para 25°C, da marca ORION, modelo 290A plus) (Figura 3). A calibração foi realizada imergindo o eletrodo de vidro em soluções-tampão de pH 4,00 , 5,00 e 7,00 (CETESB, 1978).
- **Oxigênio Dissolvido (OD) e Temperatura (T)**: 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 e que além da concentração de oxigênio dissolvido fornece os valores de temperatura. A leitura de OD foi feita na unidade de medida mg l^{-1} e a de temperatura em ºC (Figura 4). A temperatura foi tomada na profundidade de 20-25 cm, a mesma adotada para as medidas dos demais parâmetros físico-químicos medidos (pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido).

- **Condutividade Elétrica (CE)**: O método aplicado para o mensuramento da variável em questão foi o condutimétrico (CETESB, 1978), com o equipamento VWR®-modelo 2052 (Figuras 5). A leitura foi feita na unidade de medida µS cm^{-1}.

Figura 3. pHmetro.

Figura 4. Oxímetro.

Figura 5. Condutivímetro.

5.3. CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO DAS MICROBACIAS

Os dados primários das variáveis selecionadas foram obtidos em campo, segundo procedimentos de controle apropriado, e analisados para geração dos dados apresentados. Estes dados foram armazenados em planilhas de formato Excel (XLS) para posterior análise. Para a seleção das microbacias foram feitas reuniões e, com a ajuda de mapas, fotografias (vide anexos), dados de parâmetros físico-químicos e relatórios de viagem, foram escolhidos os pontos para coleta de água fluvial em cada microbacia selecionada de acordo com cada categoria pré-estabelecida de uso da terra. Para todas as regiões estudadas os critérios de escolha foram:

Acessibilidade: Neste critério foi avaliada a facilidade de acesso aos locais para coleta de amostras, medidas hidrológicas, e medidas de qualidade de água, assim como o tempo demandado para acessá-los e realizar todos os procedimentos de campo.

Tamanho das microbacias: A definição do tamanho das microbacias foi feita mediante bibliografia consultada. De acordo com Moldan & Cerný (1994), uma microbacia é uma bacia hidrográfica com área superficial menor que 5 km^2. Por outro lado, procurando facilitar a análise dos impactos do uso da terra na Bacia Amazônica como um todo, Richey *et al.* (1997), propuseram atividades de pesquisas em três diferentes escalas: Microbacias menor que 10 km^2; mesobacia de aproximadamente 10.000 km^2; e bacias de macroescala com aproximadamente 7 x 10^6 km^2. Norteando por esta perspectiva de abordagem, as microbacias selecionadas possuem áreas menores que 300 ha, pois áreas maiores nessa região de estudo, tendem a apresentar diversas classes de uso da terra, não se permitindo atribuir a apenas uma classe de uso da terra determinada interferência sobre a hidroquímica fluvial.

Uso da terra: Foram escolhidos pontos com predominância de um determinado sistema de produção ou cobertura vegetal. No caso da Área 1, foram definidas categorias dentro das feições nela encontrada, perfazendo as classes: i. Pastagem; ii. Agricultura com derruba-e-queima para preparo de área de plantio; iii. Agricultura com corte-e-trituração para preparo de área de plantio; e iv. SAF (sistema agro-florestal). Como a Área 3 apresentou outras peculiaridades em relação ao uso da terra praticado, outro grupo de classes foi estabelecido. Assim, as classes de uso da terra definidas na Área 3 foram: i. Pastagem; ii. Agricultura (derruba-e-queima), capoeira e pastagem (com lavagem de mandioca nos igarapés); iii. Agricultura (derruba-e-queima), capoeira e pastagem (com lavagem de malva nos igarapés); iv. Capoeira e pastagem; v. Agricultura (corte-e-trituração), SAF e mata de igapó.

Comparação dos parâmetros físico-químicos: Foram feitas comparação dos valores medidos de pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura nos pontos coletados nas nascentes e canais principais das microbacias, relacionando-os com o uso da terra predominante. Esse procedimento visa principalmente, prevenir-se de que outros efeitos pontuais (lavagem de roupa nas águas dos igarapés, por exemplo) estejam potencializando as alterações, devido à influência do uso da terra, sobre a hidroquímica fluvial.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico segue a apresentação de resultados dos dados mensurados e avaliados e suas possíveis interpretações. Dessa forma, além dos parâmetros físico-químicos medidos nas microbacias avaliadas, é apresentada a seleção das microbacias, tratada em dois tópicos: Microbacias Avaliadas e Microbacias Selecionadas. Após a apresentação dos resultados, segue-se a discussão relacionando os parâmetros físico-químicos com o uso da terra e a efetiva seleção das microbacias para o estudo a ser realizado pelo Projeto GESTABACIAS, mencionado no objetivo desde trabalho.

6.1. ANÁLISE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

As microbacias analisadas na Área 1 apresentaram valores de pH na faixa de 3,33 a 5,29, sendo que as nascentes apresentaram valores na faixa de 3,81 a 5,17 e os canais principais na faixa de 3,33 a 5,29. Apesar do valor mínimo ter sido baixo nos canais principais a média desses pontos de amostragem foi de 4,52. Este fato ocorreu porque, dentre os canais principais visitados, em três pontos de coleta o pH medido foi muito baixo (pontos [pH]: 19=3,33; 197=3,92; 187=3,77).

Na Área 3 os valores de pH estiveram na faixa de 4,26 a 6,26, sendo que as nascentes das microbacias apresentaram valores na faixa de 4,26 a 4,28 e os canais principais na faixa de 4,28 a 6,26.

Os valores médios de pH das nascentes, comparados com os canais principais onde não foram detectados forte impacto antropogênico, demonstram que as nascentes apresentam pH naturalmente mais ácido em relação aos canais principais nos pontos avaliados nas duas microbacias (Figura 6).

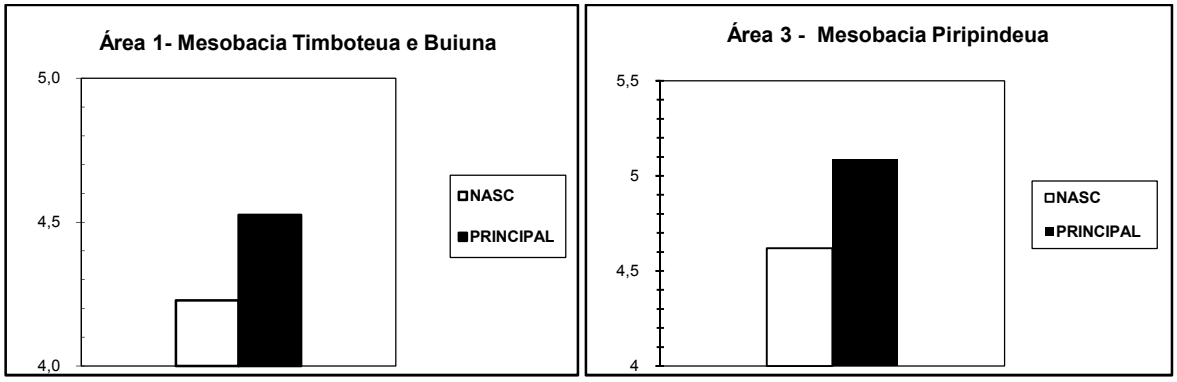

Figura 6. Médias dos valores de pH nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3.

Na Figura 7 pode-se visualizar que os valores médios de condutividade (CE) encontrados nas microbacias da Área 1 tenderam a ser maiores nas nascentes do que nos canais principais. Na Área 3 ocorreu o inverso.

Os valores de condutividade nos pontos amostrados na Área 1 variaram entre 17,00 e 31,00 ($\mu S\ cm^{-1}$) nas nascentes e 16,30 e 27,00 ($\mu S\ cm^{-1}$) nos seus canais principais. Na Área 3 os valores encontrados foram na faixa de 20,60 a 21,20 ($\mu S\ cm^{-1}$) nas nascentes e 15,40 a 50,30 ($\mu S\ cm^{-1}$) nos seus canais principais.

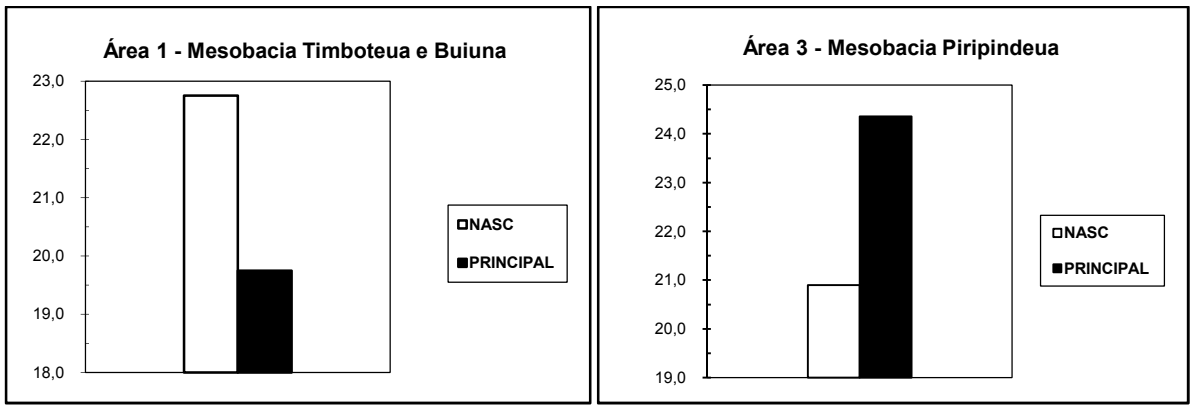

Figura 7. Médias dos valores de condutividade elétrica ($\mu S\ cm^{-1}$) nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3.

Os valores de oxigênio dissolvido (OD) nas microbacias amostradas da Área 1 variaram na faixa de 0,82 a 6,56 mg l^{-1}, sendo que as nascentes apresentaram média de 4,55 mg l^{-1} e os canais principais média de 4,81 mg l^{-1}. Nas microbacias da Área 3 os valores de OD estiveram na faixa de 0,22 e 7,73 mg l^{-1}, sendo que as nascentes apresentaram média de 3,75 mg l^{-1} e os canais principais média de 4,40 mg l^{-1} (Figura 8).

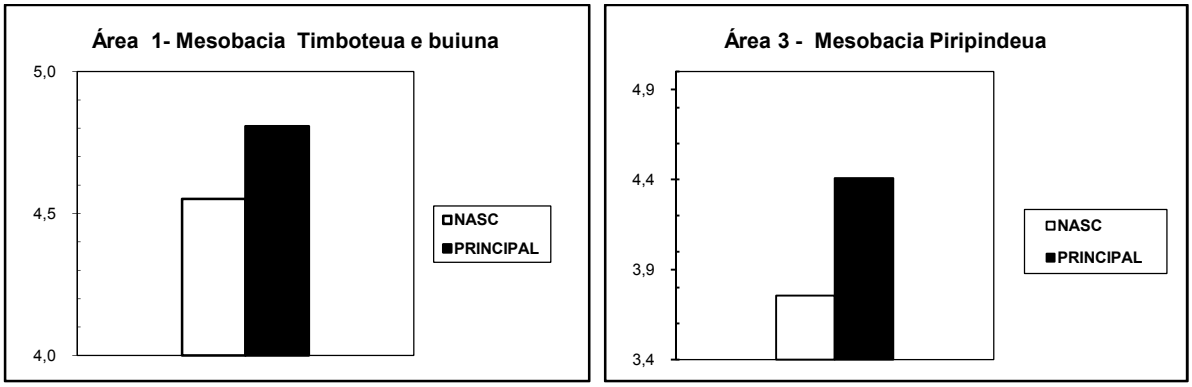

Figura 8. Médias dos valores de Oxigênio dissolvido (mg l^{-1}) nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3.

A temperatura da água apresentou os seguintes valores mínimos e máximos: T mín = 25,3 ºC; T máx = 28,4 ºC nas nascentes; e T mín = 24,5 ºC ; T máx = 27,7 ºC, nos canais principais das microbacias da Área 1. Na Área 3 os valores mensurados foram: T mín = 26,3 ºC; T máx = 27,3 ºC nas nascentes; e T mín = 25,4 ºC; T máx = 31,5 ºC nos canais principais. Na Figura 9 é possível observar os valores médios de temperatura (ºC) nas nascentes e canais principais.

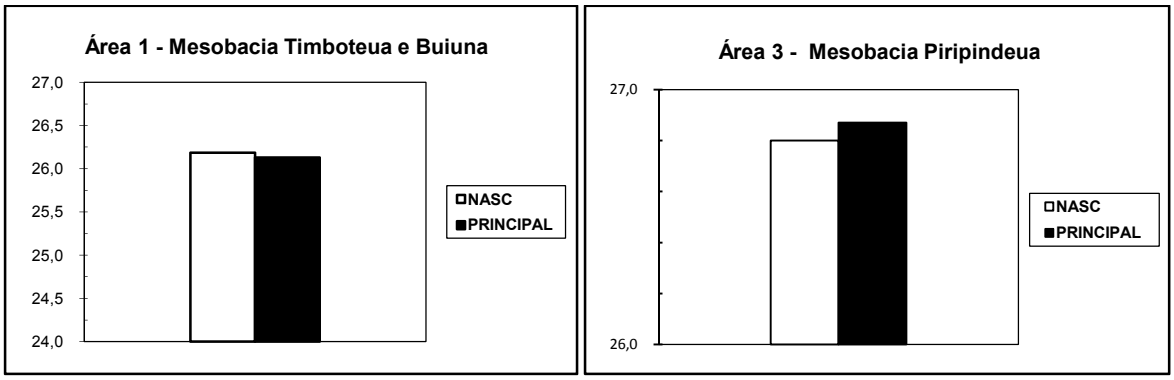

Figura 9. Médias dos valores de Temperatura (ºC) nas nascentes e canais principais nas áreas 1 e 3.

A análise dos dados, de forma geral, nos permite inferir que o pH mais ácido nas águas fluviais das áreas de nascentes deve estar ligado ao material orgânico em decomposição que ocorre nesses solos florestais das cabeceiras das bacias, material esse rico em ácidos orgânicos, que acabam por adentrar no canal fluvial pelos diferentes caminhos hidrológicos. Essa diferença natural de acidez entre as águas de nascentes e canais principais inviabilizam comparações entre os dois tipos de corpos d'água. A água encontrada nessas nascentes seria caracterizada principalmente pelos solos orgânicos de florestas remanescentes e florestas secundárias. Sendo assim, para avaliação das relações entre o uso da terra e a qualidade da água de pequenos igarapés, águas de nascentes não seriam recomendados para comparação com águas fluviais encontradas em trechos mais a jusante dos igarapés estudados, que se

encontram sob menor influência das matas de cabeceira e possuem maior vazão em função da maior área drenada.

Quanto à condutividade elétrica pode-se notar que os maiores valores foram encontrados na Área 3, o que revela que nos canais principais de suas microbacias ocorrem maiores concentrações de íons dissolvidos. Uma vez que, a condutividade elétrica é a capacidade que uma solução tem em conduzir a corrente elétrica através da presença íons dissolvidos na água, ela fornece importantes informações tanto sobre o metabolismo de ecossistema aquático, quanto sobre outros processos biogeoquímicos ocorridos na bacia hidrográfica, ajudando na detecção de possíveis fontes poluidoras (ESTEVES, 1998).

De acordo com a Figura 8, pode-se notar que as nascentes apresentaram menores médias de oxigênio dissolvido (OD), tanto na Área 1 quanto na Área 3. Sugere-se que os baixos valores de OD encontrados estão ligados ao fato de que a maioria dos pontos de nascentes visitados possuem suas águas represadas, diminuindo a produção de OD pela turbulência. Outro motivo seria a proliferação de macrófitas e processos de eutrofização que levam ao consumo excessivo do oxigênio da coluna de água. E ainda, as macrófitas impedem a penetração de luz na água e a posterior realização de fotossíntese (fonte de OD para o ambiente aquático) por meio da comunidade fitoplanctônica. Sendo que, a concentração de oxigênio dissolvido é destacada como uma das variáveis limnológicas que apresentam maiores oscilações diárias, e a concentração desse gás está diretamente relacionada com os processos de fotossíntese e respiração ou decomposição que, por sua vez estão diretamente associados com a intensidade luminosa e a temperatura. (ESTEVES, 1998).

Observa-se também que, da mesma maneira que foram avaliados os valores de pH nas nascentes, os valores de OD nas nascentes e canais principais não recomendam a inclusão de nascentes no estudo das relações do uso da terra com a hidroquímica dos igarapés das bacias estudadas.

6.2. SELEÇÃO DAS MICROBACIAS

Dentre as 96 microbacias visitadas e avaliadas foram selecionadas as que mais se adequaram nos critérios descritos nos métodos. Dessa forma, em sequência segue a discussão da avaliação e seleção dessas microbacias destacando o potencial da hidrobiogeoquímica de pequenos igarapés para avaliação de impactos relacionados ao uso da terra.

6.2.1. Microbacias avaliadas

A partir da análise de uso da terra, na Área 1 (dentre os seus 66 pontos amostrados) foi encontrado uma maior número de microbacias que correspondem a categoria de área de agricultura de derruba-e-queima (Figura 10). Refletindo assim uma predominância da agricultura de derruba-e-queima, que segundo Silva et. al. (1999), é bastante representativa em Igarapé-Açu e Marapanim.

De acordo com Ribeiro (2009) a agricultura tradicional de derruba-e-queima amplamente difundida não apenas na Amazônia, mas em outras regiões dos trópicos úmidos (Indonésia e África, por exemplo), acelera o empobrecimento dos solos, devido ao uso do fogo após curtos períodos de pousio. O fogo destrói integralmente o material orgânico produzido pela ação fotossintética, fazendo com que, as cinzas derivadas desse processo, fiquem expostas à erosão laminar hídrica e à lixiviação, convergindo então para os cursos d'água e alterando, dessa forma, as características fisico-químicas da água.

Observando a Tabela 2 nota-se que o pH dentre os parâmetros físico-químicos avaliados, apresentou diferenças mais notáveis para as diferentes classes de uso. Ressalta-se que a diferença em valores decimais de pH estão relacionadas a mudanças de ordem de grandeza substanciais na concentração do íon hidrogênio, uma vez que o pH representa o logaritmo decimal negativo desta concentração hidrogeniônica.

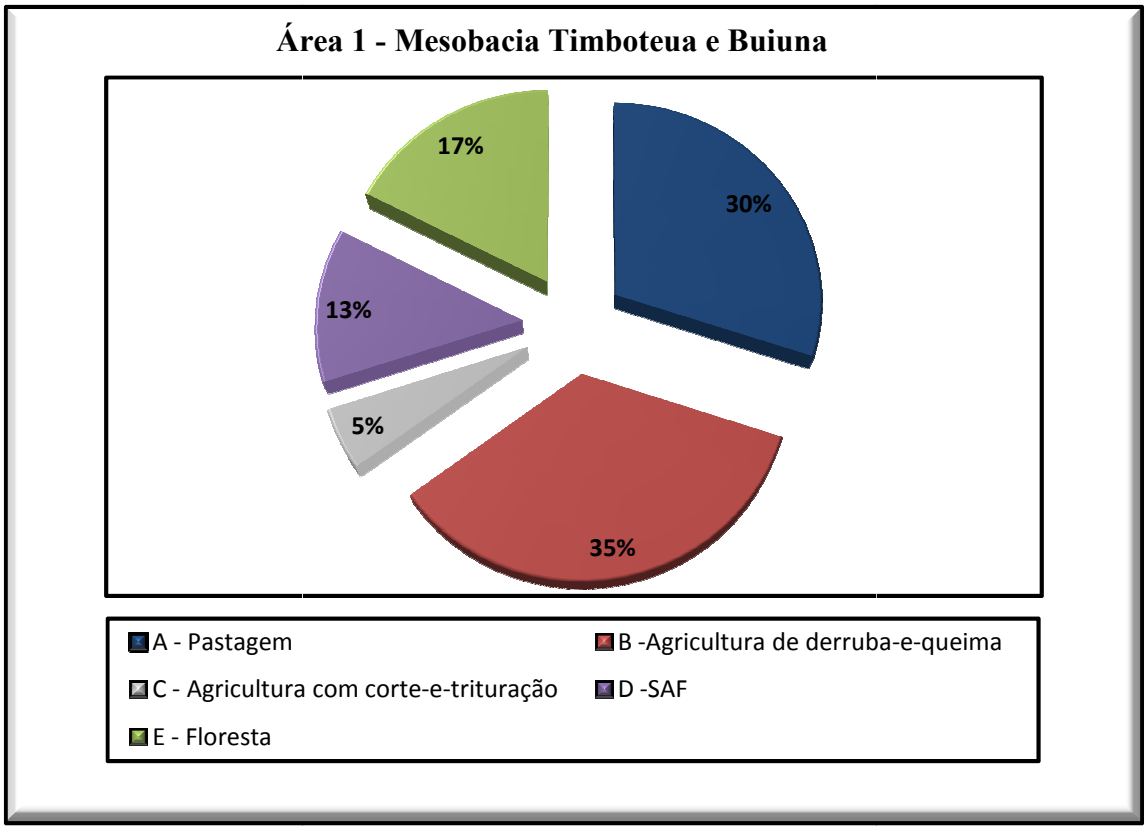

Figura 10. Percentual de bacias representativas de cada categoria de uso da terra na área 1.

TABELA 2. VALORES MÉDIOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NOS IGARAPÉS AVALIADOS NAS ÁREAS 1 E 3, CATEGORIZADAS SEGUNDO AS CLASSES DE USO DA TERRA PREDOMINANTE EM SUAS MICROBACIAS.

Área 1 -- Mesobacia Timboteua e Buiuna				
Uso da terra predominante	**Parâmetros físico-químicos**			
	pH	**OD (mg l^{-1})**	**CE (µS cm^{-1})**	**T (ºC)**
Pastagem	4,41	4,28	20,76	26,27
Agricultura de derruba-e-queima	4,16	4,28	19,68	24,20
Agricultura com corte-e-trituração	4,05	4,90	21,10	25,80
SAF	3,49	4,90	21,58	26,35
Floresta	4,48	5,13	22,57	25,84
Área 3 – Mesobacia Piripindeua				
Agricultura (derruba-e-queima), capoeira e pastagem (lav. Mandioca)	5,01	4,56	23,81	27,54
Capoeira e pastagem	4,75	4,71	18,77	26,43
Pastagem	5,10	2,95	26,63	26,54
Agricultura (derruba-e-queima), capoeira e pastagem (lav. Malva)	5,52	5,52	27,14	27,41
Agricultura (corte-e-trituração), SAF, mata de igapó	5,60	5,22	19,95	25,90

Na Área 3 foram coletadas amostras em 30 pontos e, obedecendo às características pré-selecionadas para as microbacias, foram encontradas mais microbacias relativas à categoria área de pastagem (Figura 11). Krusche *et al.* (2005) diz que, no caso específico da Amazônia

brasileira, uma das principais causas do desmatamento tem sido a substituição da floresta tropical por áreas de pastagem. Elsenbeer *et al.* (1999) mostraram que a compactação dos solos em pastagens aumenta o potencial para a ocorrência de um fluxo lateral, que, quando combinado com o manejo inadequado do pasto (KAUFFMAN *et al.*, 1998; DIAS-FILHO *et al.*, 2001) ou com o escoamento superficial das excreções do gado (fezes e urina), podem influenciar a composição química das águas.

Markewitz *et al.* (2001) fazendo estudos em Paragominas-PA observou que, onde os solos são muito intemperizados, a química das águas subterrâneas com baixo conteúdo de cátions mostra estreita relação com a pobre composição dos solos. Isto significa que os aportes do escoamento superficial ou sub-superficial na época chuvosa lavam os solos mais superficiais, que possuindo cátions dissolvidos oriundos da decomposição da liteira, acabam por ocasionar aumento nas concentrações desses cátions nos igarapés, mesmo em períodos de alta vazão. Neste contexto, as mudanças no uso do solo devem apresentar reflexos na química das águas fluviais, uma vez que essas podem ocasionar alterações na ciclagem de nutrientes nos ecossistemas terrestres das bacias.

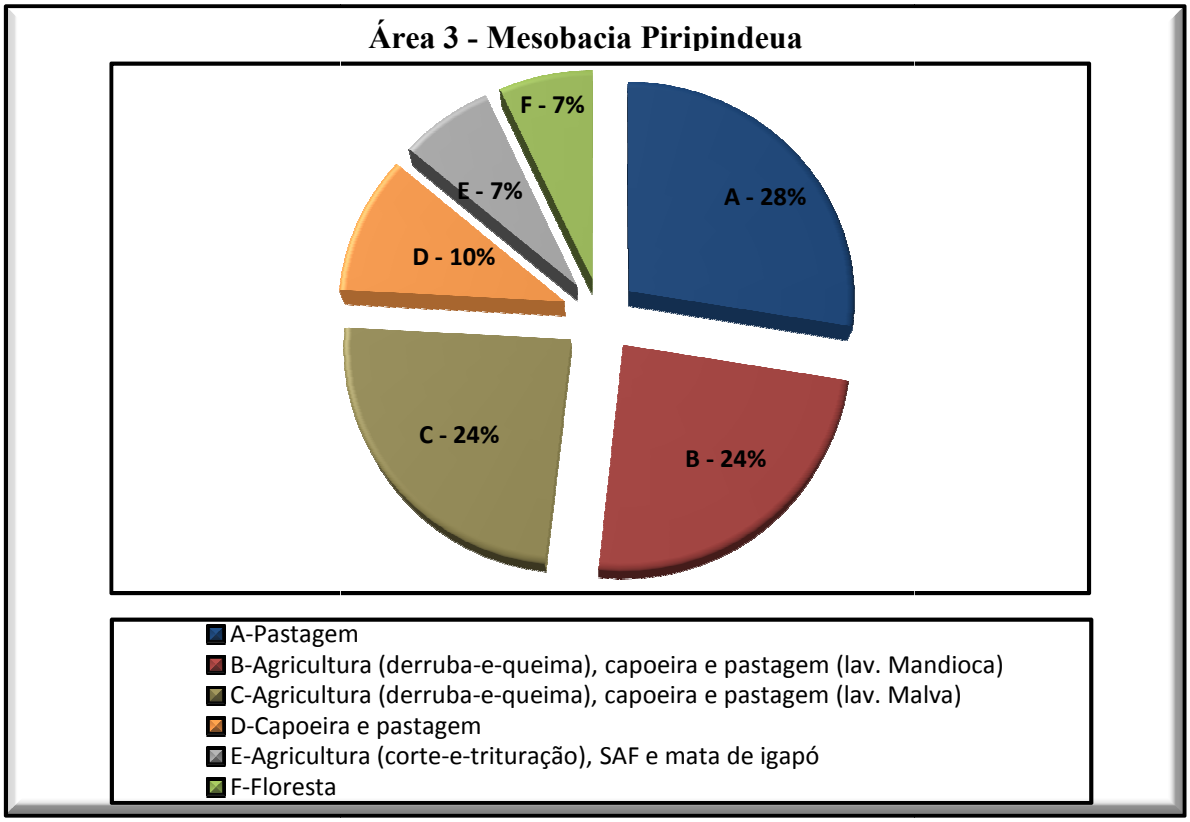

Figura 11. Percentual de bacias representativas de cada categoria de uso da terra na Área 3.

Na tabela 2, observa-se para a Área 3 que na classe agricultura (com ocorrência de lavagem de malva), capoeira e pastagem foi medido o maior valor médio de condutividade

elétrica (27,14 μS cm^{-1}) e um valor elevado de pH [5,52] (Tabela 2). GRADELLA *et al.* (2006) fazendo uma análise preliminar dos elementos químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do córrego João Dias (Aquidauana, MS) observou também relação entre aumento concomitante de condutividade e de pH nos pontos de coleta monitorados.

O menor valor médio de OD foi encontrado na classe referente à Pastagem nas microbacias da Área 3, onde foram observados represamento e área de drenagem muito antropizada (Tabela 2).

Em relação às classes de uso da terra pré-definidas, a observação de lavagem de malva e mandioca em muitos igarapés da região estudada foi decisiva para adotar-se, nas microbacias onde foi notada essa prática, uma diferenciação entre bacias. Em que, foi observado um ou outro produto dentro das águas dos igarapés avaliados (Figura 11). Como era de se esperar em avaliação com medidas de campo realizadas em apenas uma ocasião, não foi possível identificar alterações na hidroquímica fluvial em decorrências de atividades agropecuárias nessas microbacias. Porém, de forma geral, os parâmetros físico-químicos avaliados nas microbacias visitadas apresentaram sensível alteração, demonstrando a ocorrência de impactos ambientais possivelmente acelerados pela ação antrópica. Dessa forma, foi possível identificar quais microbacias seriam mais indicadas para um estudo mais amplo sobre as relações entre o uso da terra e a hidrogeoquímica fluvial no escôpo do Projeto Gestabacias.

6.2.2. Microbacias selecionadas

As microbacias foram escolhidas levando em consideração a relação dos parâmetros físico-químicos com o uso da terra, assim como, outros fatores ambientais e de logística, a partir dos critérios descritos no item Material e Métodos.

Na Área 1 foram escolhidas oito microbacias, sendo duas em cada uma das classes de uso da terra pré-definidas (Tabela 3). Os parâmetros físico-químicos dos pontos escolhidos apresentaram variação de acordo com cada categoria, sugerindo assim uma possível interferência do uso da terra nas microbacias preliminarmente avaliadas, o que será melhor pesquisado a partir das novas campanhas de campo a serem realizadas pelo Projeto Gestabacias.

As microbacias selecionadas (Figura 12) possuem áreas variando de 20 a 200 ha distribuídos em duas mesobacias contíguas da Área 1 (igarapés Buiúna e Timbotéua, afluentes

do Rio Marapanim), ocorrendo uma amostra de cada classe de uso da terra em cada uma das sub-bacias destes dois igarapés. Espera-se que essa delimitação de tamanho possibilite uma melhor identificação da influência do uso da terra nas águas fluviais das microbacias selecionadas.

Para se ter o controle experimental com posteriores comparações com diferentes ecossistemas alterados foram escolhidas duas microbacias de referência (MR1 e MR2) em fragmentos de vegetação primária e pouco antropizada, localizadas na Área 2, dentro da Granja Marathon, no município de São Francisco do Pará (Figura 12), e com as mesmas características climáticas da Área 1 segundo a classificação de *Kôppen*. As microbacias MR1 e MR2 têm respectivamente as seguintes coordenadas geográficas: 01º06'31,12'' de latitude Sul e 47º47'43,33'' de longitude a Oeste de Greenwich; e 01º05'34,48" de latitude Sul e 47º48'20,57'' de longitude a Oeste de Greenwich. Ambas são pertencentes à mesobacia do Rio Inhanga afluente do Rio Marapanim.

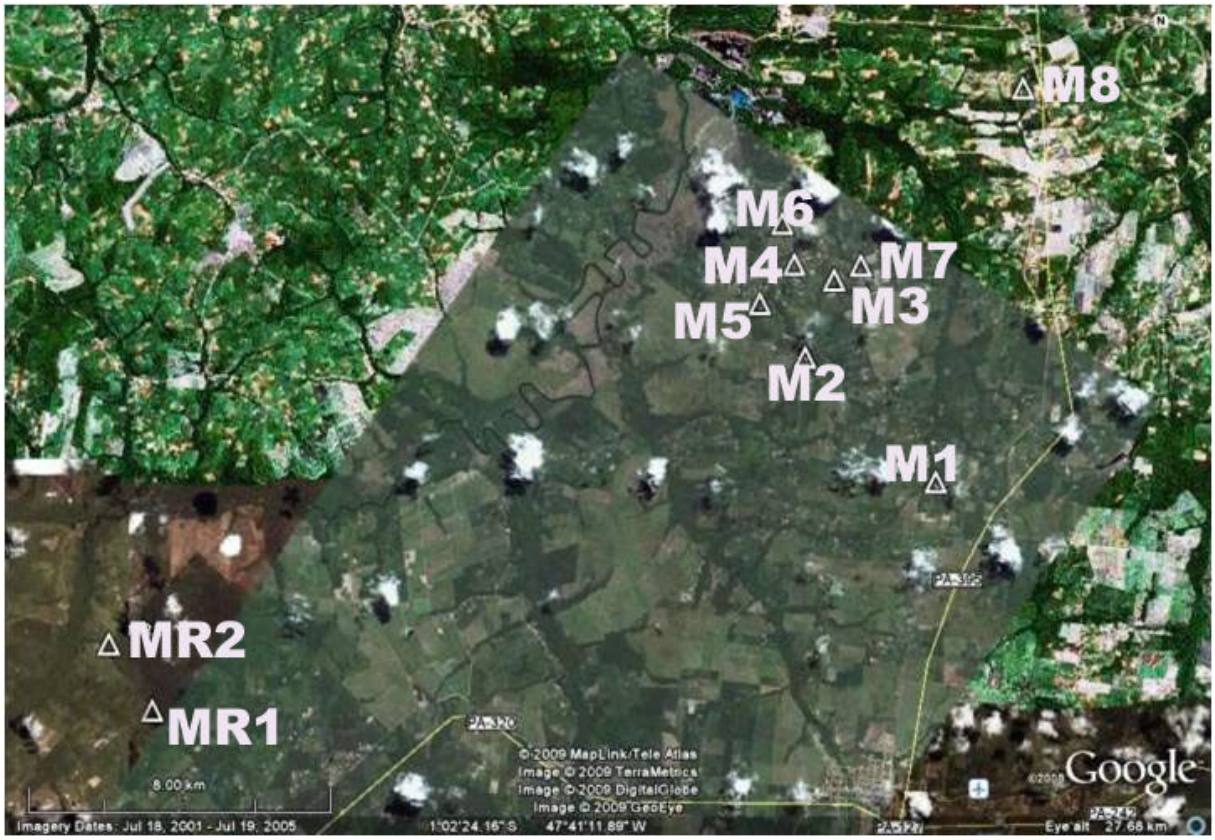

Figura 12. Microbacias selecionadas na área 1 e 2 (*Fonte: Google Earth, 2009*). *Os triângulos sinalizam os pontos de amostragem nos igarapés de cada microbacia.*

De acordo com a avaliação dos parâmetros físico-químicos das microbacias da Área 1, dentre todas as categorias selecionadas, a de Agricultura com derruba-e-queima apresentou na microbacia M7 o maior valor de pH (5,160) e o menor valor de oxigênio dissolvido (2,55).

Sendo, o maior valor de temperatura encontrado na categoria de Pastagem na microbacia M8 (T =28,40 ºC), onde foi observado falta de vegetação na margem (Tabela 3).

Na Área 3, em que foram selecionadas sete microbacias, os tamanhos das microbacias variaram na faixa de 80 a 280 ha (Figura 13). Perfazendo, uma na classe Agricultura de derruba-e-queima, SAF e mata de igapó; uma na de Pastagem; uma na de Agricultura de derruba-e-queima, capoeira e pastagem (com lavagem de malva); e duas microbacias nas demais classes de uso da terra (Tabela 3). A seleção de somente uma microbacia em determinadas classes de uso da terra ocorreu por não haver outras microbacias que se adequassem a esta classificação segundo os critérios de seleção adotados.

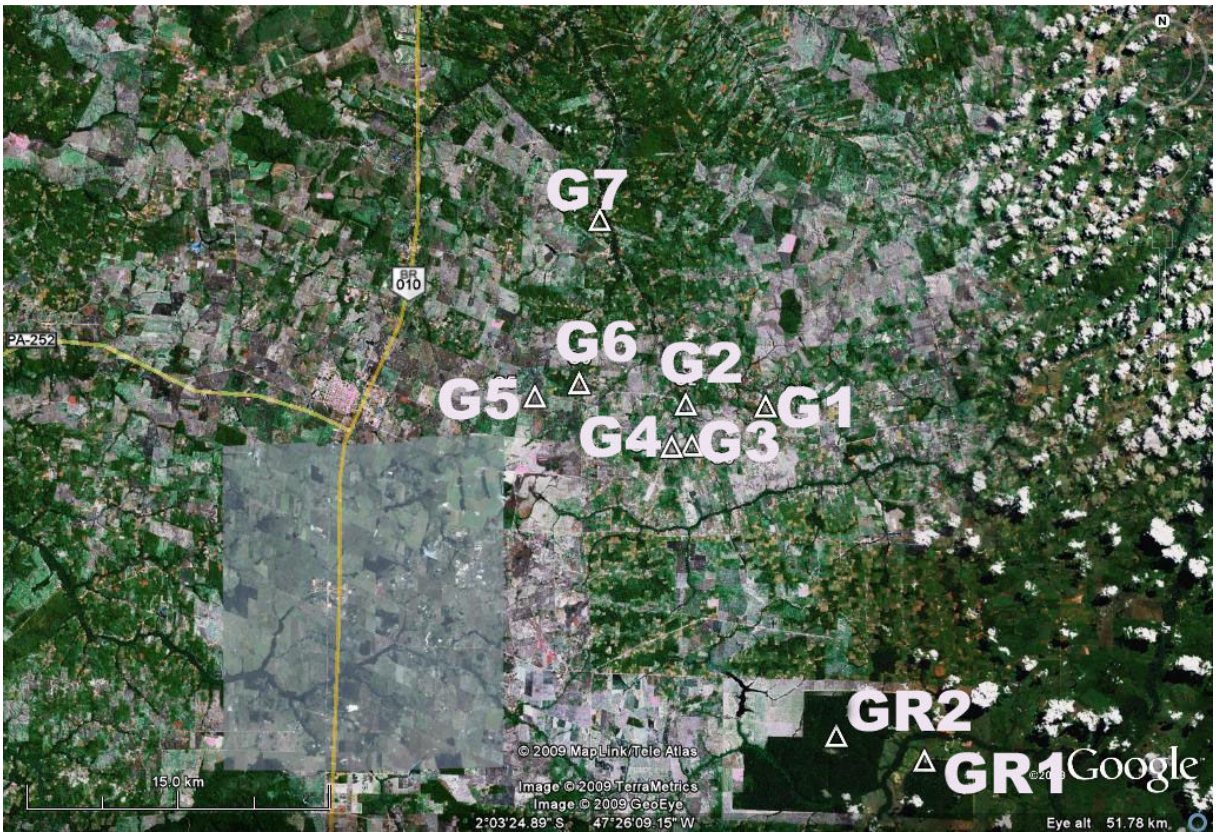

Figura 13. Microbacias selecionadas na área 3 e 4 (*Fonte: Google Earth, 2009*). *Os triângulos sinalizam os pontos de amostragem nos igarapés de cada microbacia.*

A microbacia selecionada na classe Pastagem (G5) na Área 3 reflete alto nível de degradação ambiental, de acordo com os dados de condutividade, oxigênio dissolvido e pH, apresentando os seguintes valores: CE = 50,30 µS cm^{-1}; pH = 5,51; OD = 0,85 mgl^{-1}. Sendo que, os valores de pH apresentaram relação com os valores de condutividade elétrica, pois nessa microbacia (G5) foram detectados os valores mais elevados de condutividade elétrica e pH (Tabela 3).

Na Área 4 foram selecionadas duas microbacias de referência: GR1 e GR2 (Figura 13). Essas duas microbacias estão localizadas, a 02º12'33,77''S e 47º17'40,81''W, e 02º11'53,66"S e 47º19'57,29''W, respectivamente. Sendo, pertencentes à bacia do Rio Arauaí, afluente do Rio Guamá. Como ocorreram com as duas microbacias de referência da Área 1, as microbacias de referência escolhidas na Área 4 também possuem as mesmas condições climáticas da Área 3 segundo a classificação de *Kôppen*. Todas as microbacias escolhidas apresentaram condições pedológicas semelhantes a das áreas a sempre comparadas.

TABELA 3. CARACTERÍSTICAS DAS MICROBACIAS SELECIONADAS NAS ÁREAS 1 E 3.

Igarapé-açu e Marapanim (Área 1) – Mesobacia Timboateua e Buiuna						
Uso da terra predominante	**Código do ponto**	**Parâmetros físico-químicos**				**Área (ha)**
		pH	**OD (mg l^{-1})**	**CE (µS cm^{-1})**	**T**	
SAF	M1	4,310	5,48	23,20	26,20	58
	M6	4,240	2,70	25,90	26,9	20
Agricultura com corte-e-trituração	M2	4,099	4,93	27,00	26,4	156
	M3	4,250	3,15	25,60	26,50	200
Pastagem	M4	4,728	5,44	19,60	26,40	45
	M8	4,190	5,86	23,10	28,40	73
Agricultura de derruba-e-queima	M5	4,593	5,91	18,40	25,60	70
	M7	5,160	2,55	20,80	25,10	125
Mãe do Rio e Irituia (Área 3) - Mesobacia Piripindeua						
Agricultura de derruba-e-queima, capoeira e pastagem (lav. Mandioca)	G1	4,980	3,06	21,20	26,30	80
	G3	4,570	3,00	17,30	27,40	110
Capoeira e pastagem	G2	5,010	3,27	18,80	26,00	114
	G4	4,280	4,10	18,30	26,00	80
Pastagem	G5	5,510	0,85	50,30	27,10	280
Agricultura de derruba-e-queima, capoeira e pastagem(lav. Malva)	G6	5,350	2,48	21,50	26,50	80
Agricultura com corte-e-trituração, SAF, mata de igapó	G7	5,420	2,95	21,70	26,40	20

As microbacias selecionadas apresentam facilidade de acesso com boas características para a realização de coleta de amostras de água fluvial, medidas hidrológicas (descarga fluvial) e avaliações de qualidade de água.

Dentro das microbacias selecionadas, serão monitorados e avaliados diversos parâmetros dos sistemas terrestres e de produção agropecuária, e quando for o caso, estudados, por meio de parcelas experimentais, outros processos de interesse do projeto de pesquisa , visando subsidiar a gestão participativa das mesobacias consideradas.

7. CONCLUSÃO

O estudo permitiu a seleção das melhores opções dentre as microbacias, componentes das mesobacias hidrográficas alvo de projeto de pesquisa no Nordeste Paraense, para facilitar a avaliação das relações entre o uso da terra e a qualidade da água de pequenos igarapés, no meio rural.

Os valores de pH nas microbacias da Área 1 e Área 3 variaram na faixa de 3,33 a 6,26 nas nascentes e canais principais, sendo que as nascentes apresentaram pH naturalmente mais ácidos em relação aos canais principais, e por isso áreas de nascentes não foram indicadas para comparação com águas fluviais encontradas em trechos mais a jusante dos pequenos igarapés a serem estudados.

A condutividade elétrica da água tendeu a covariar com os valores do pH. Por exemplo, na área 3 na classe Agricultura de derruba-e-queima, Capoeira e Pastagem (com lavagem de malva) observou-se o valor médio mais elevado de condutividade elétrica (27,14 $\mu S\ cm^{-1}$) e verificou-se também um valor médio elevado de pH (5,52).

Os valores de oxigênio dissolvido variaram amplamente, na faixa de 0,82 a 7,73 ($mg\ l^{-1}$) nas nascentes e nos canais principais das Áreas 1 e 3. Sendo que, os menores valores de oxigênio dissolvido foram encontrados na classe Pastagem nas microbacias da Área 3.

No total foram selecionadas oito microbacias na Área 1 e sete na Área 3. Sendo que, na Área 1 (Mesobacia dos igarapés contíguos Timboteua e Buiuna), perfazem quatro microbacias na sub-bacia do Timboteua e quatro na sub-bacia do Buiuna, ambos afluentes do Rio Marapanim. Na Área 3, as sete microbacias selecionadas são tributárias da Mesobacia do Igarapé Piripindeua, a qual se localiza na Bacia do Rio Guamá.

Após a verificação em campo das condições ambientais mais íntegras, duas microbacias adicionais foram escolhidas em fragmento florestal (Áreas 2 e 4), para servirem como bacias de referência. As microbacias indicadas na Área 2 são tributárias da mesobacia do Igarapé Inhanga, afluente do Rio Marapanim, e servirão para comparação com as microbacias da Área 1. Já as microbacias escolhidas na Área 4 são tributárias da bacia do Igarapé Arauaí, afluente do Rio Guamá. As microbacias da Área 4 poderão ser comparadas com as microbacias da Área 3.

Dessa maneira, foram selecionadas no total 19 microbacias para serem monitoradas em estudo subsequente ao presente trabalho. Sugere-se que estudos hidrogeoquímicos nas

microbacias selecionadas deverão embasar, de maneira eficiente, as ações do Projeto Gestabacias que visam promover uma gestão participativa das mesobacias em foco.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. D.; MARLOW, C. B. Effects of cattle grazing on shoot population dynamics of beaked sedge. In: PROCEEDINGS _ SYMPOSIUM ON ECOLOGY AND MANAGEMENT OF RIPARIAN SHRUB COMMUNITIES, INT-298, 1992, **Ogden. General Technical Report.** UT:US. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1992. p.89-91.

ALMEIDA, F.G.; BORGES, P.; CHAGAS, D.; QUEIRÓZ, M.A.S.; SANTOS, C.M.S. & SILVA, C.M.M.R. **Importância estratégica da água para o terceiro milênio.** – Universidade Federal Fluminense - UFF, Geographia - Ano IV – nº8 – Disponível em:<http://www.uff.br/geographia/>. Acesso em:22/10/2009.

AMBIENTE BRASIL. **Avaliação da Qualidade da Água.** Disponível em:<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=./agua/doce/index.html&conteuo=/agua/doce/artigos/qualidade.html> . Acesso em: 24/10/09.

APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 14. ed. Washington: American Public Health Association, 1975. 1143p.

APHA. **American Public Health Association. Standard methods for the examination of water and wastewater.** 19. ed. Washington: American Public Health Association, 1995. 140 p.

BRASIL -MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; **Conselho Nacional do Meio Ambiente-(Conama)**: Resolução Nº 357, de 17 de Março de 2005.

BOGGS, K.; WEAVER, T.; Response of riparian shrubs to declining water availability. In: PROCEEDINGS _ SYMPOSIUM ON ECOLOGY AND MANAGEMENT OF RIPARIAN SHRUB COMMUNITIES, INT-298, 1992, Ogden. **General Technical Report.** UT:US. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1992. p.48-51.

CLARY, W. P.; MEDIN, D. E. Vegetation, breeding bird, and small mammals biomass in two high-elevation sagebrush riparian habitats. In: PROCEEDINGS _ SYMPOSIUM ON ECOLOGY AND MANAGEMENT OF RIPARIAN SHRUB COMMUNITIES. INT-298, 1992,

Ogden. **General Technical Report.** UT:US. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station, 1992. p.100-110.

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

CORRÊA, J. M. Estrutura de comunidades de peixes de igarapés de três pequenas bacias de drenagem sob uso de agricultura familiar no nordeste Paraense. 2007. 92f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

DIAS-FILHO, M.B.; DAVIDSON, E.A.; REIS, DE C. C.J. Linking biogeochemical cycles to cattle pasture management and sustainability in the Amazon basin. In: MCCLAIN, M.E.; VICTORIA, R.L. AND RICHEY, R.E. (Ed). **The biogeochemistry of the Amazon basin.** Oxford: University Press, 2001. p.84-105.

DI LUZIO, M.; SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J.G.; NEITSCH, S.L. **ArcView interface for SWAT2000: user's guide.** Texas Water Resources Institute Report TR-193. Temple, 2002. 351p.

ELSENBEER, H et. al. Hydraulic conductivities of latosols under pastures, forest and teak in Rondônia, Brazil, **Hydrol. Proc.**, v. 13, p.1417-1422, 1999.

EROS/USGS. **Earth** Resources Observation and Science/ United States Geological Survey. **Base de dados da missão SRTM**. Disponível em: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/SRTM3/>. Acesso em: fev. 2008.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Model Builder for ArcView Spatial Analyst**. Redlands, ESRI Press, 2000. 182p.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 575p.

FEDERAL WATER POLLUTION CONTROL ADMINISTRATION. **Water Quality Criteria**. Report to the National Technical Advisory Committee to the Secretary of the Interior, 1968. 234p.

FERRACINI, V.L.; PESSOA, M.C.Y.P.; SILVA, A.S.; SPADOTTO, C.A. A análise de risco de contaminação das águas subterrâneas da região de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). **Pesticidas**: **Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente**, v. 11, p.1-6, 2001.

FREITAS, A. J. Gestão de recursos hídricos. In: SILVA, D. D. & PRUSKI, F. F. (Ed). **Gestão de recursos hídricos:** aspectos legais, econômicos, administrativos e legais. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. p. 659.

GASH, J.H.C.; NOBRE, C.A.; Roberts, M.J.; Victoria, R.L. Amazonian deforestation and Climate. **Wiley and Sons**, New York, USA, p. 612, 1996.

GAZZONI, D.L. **Água um recurso estratégico.** Disponlvel em: <http:// www.cnpma.embrapa.br> Acesso em: 22/10/2009.

GERGEL, S. E. et al. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. **Aquatic Science**, v.64, p.118-128, 2002.

GESTABACIAS. **Conservação de recursos naturais em mesobacias hidrográficas na Amazônia Oriental: iniciativas integradoras para promover o planejamento participativo da gestão ambiental no meio rural. Sistemas agroflorestais na Amazônia oriental: potencial de mitigação de efeitos das mudanças climáticas.** Embrapa, 2009.

GRADELLA, F. S. et. al. Análise preliminar dos elementos químicos e físicos da água da bacia hidrográfica do córrego João Dias, Aquidauana, MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande, Brasil, **Anais:** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2006. p.96-105.

HEM, J.D. Study and lnterpretation of the Chemieal Characteristics of Natural Water, Geological Survey. **Water-Supply Paper**. Washington, 1970. p. 363.

HOULAHAN, J. E.; FINDLAY, C. S. Estimating the 'critical' distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality. **Landscape Ecology**, v.19, p.677-690, 2004.

HUNSAKER C.T.; LEVINE D.A. Hierarchical Approaches to the Study of Water Quality in Rivers. **BioScience**, v. 45, p.193-203, 1995.

INPE/ DPI. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; Divisão de Processamento de Imagens. **Spring**: **Sistema de processamento de informações georreferenciadas**. Disponível em <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso em:24/10/2009.

KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L. and WARD, D.E. Fire in the Brazilian Amazon: 2. Biomass, nutrient pools, and losses in cattle pastures. **Oecologia**, v.113, p.415-427, 1998.
KRUSCHE, A. V. et al. Efeitos das mudanças do uso da terra na biogeoquímica dos corpos d'água da bacia do rio Ji- Paraná, Rondônia. **Acta Amazonica**. v.35, p.197-205, 2005.

LEOPOLDO, P. R.; FRANKEN, W.; SALATI, E. AND RIBEIRO, M. N. Towards a water balance in the Central Amazonian region. **Experientia**, v.43, p.222-233, 1987.

LIMA. E. **Recurso estratégico do século: água.** Disponlvel em: <http:// www.cnpma.embrapa.br>. Acesso em:24/10/2009.

LIMA, Walter de Paula . **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas.** 2.ed. Piracicaba: UPS, SP, 2008. 244 p.

LIMA, Lilianne Maia; SOUZA, Eliene Lopes de; FIGUEIREDO, Ricardo de Oliveira. Retenção do dimetoato e sua relação com pH e teores de argila e matéria orgânica nos sedimentos da zona nãosaturada de uma microbacia no nordeste paraense. **Acta Amazonica**, v.37, n.2 ,p. 187 – 194, 2007.

LIMA, J. E. F. W. **Recursos hídricos no Brasil e no mundo.** Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 46p.

MATTOS, L.M; SILVA, E.F. Influência das propriedades de solos e de pesticidas no potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas. **Pesticidas**: Revista de Ecotoxicologia e Meio Ambiente, v. 9, p.103-124, 1999.

MARKEWITZ, E; DAVIDSON, E.A.; FIGUEIREDO, A.R. DE O.; VICTORIA, R. L. AND KRUSCHE, A.V. Control of cation concentrations in stream waters by surface soil processes in an Amazonian watershed. **Nature,** v. 410, p.802-805, 2001.

MCKEE, J.E. & WOLF, H.W. **Water Quality Criteria**. California State Water Resources Control Board, 1971. 547p.

MEIXNER, F.X.; EUGSTER, W. Effects of landscape pattern and topography in emissions an transport. In: TENHUNEN, J.D. & KABAT, P. (Ed). **Integrating hydrology, ecosystem dinamics, and biogeochemistry in complex landscapes.** New York: Wiley and Sons, 1999. p.147-175.

MERTENS, B.; POCCARD-CHAPUIS, R.; PIKETTY, M.G. Crossing spatial analyses and livestock economics to understand deforestation process in the Brazilian Amazonia: the case of São Félix do Xingu in south Pará. **Agricultural Economics**, v.27, p.269-294, 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.

MEYER, J. L.; MCDOWELL, W. H.; BOTT, T. L.; ELWOOD, J. W.; ISHIZAKI, C.; MELACK, J. M.; PECKARSKY, B. L.; PETERSON, B. J.; RUBLEE, P. A. Elemental dynamics in streams. **Journal of the North American Benthological Society,** v.7, p.410-432, 1988.

MOLDAN, B.; CERNÝ, J. (Ed). **Biogeochemistry of small catchments:** a tool for environmental research. Chichester: John Wiley & Sons, 1994. p.419.

OMETO, J. P. H. B. et al. Effects of land use on water chemistry and macroinvertebrates in two streams of the Piracicaba river basin, south-east Brazil. **Freshwater Biology**, v.44, p.327-337, 2000.

ONGLEY, E. D. Control of water pollution from agriculture. **Documento eletrônico** (FAO irrigation and drainage paper, 55). Disponlvel em: <http:// www.fao.org/docrepIW2598E1w2598eOO.htm>. Acesso em: 19/10/2009.

PETTS, G. E. et al. **River conservation and management.** Chichester: USA, Wiley & Sons, 1992. 484p.

PETTS, G. E. et al. A perspective on the abiotic processes sustaining the ecological integrity of running waters. **Hidrobyologia.** v.422/423, p.15-27, 2000.

PIMENTEL, D.; EDWARDS, C. A. Pesticides and ecosystems. **BioScience**, v.32, p.595, 1982.

PORTELA , Rafaela Brito; RESENDE, Miriam Maria de. **Tratamento de águas de fontes naturais.** Uberlândia-MG: Faculdade de Engenharia Química-Universidade Federal de Uberlândia, 2008. 22p.

POWELL, S.T. Quality of Water. In: CHOW, V.T. (Ed.) **Handbook of Applied Hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1964. p.37.

RIBEIRO, Agostinho Lamarão de Castro. **Sistema de produção permanente de culturas anuais.** Disponível em:< http://www.ecoagri.net/sistema_producao.htm>. Acesso em: 10/11 /09.

RICHEY, E. J. et al. Organic matter and nutrient dynamics in river corridors of the Amazon basin and their response to anthropogenic change. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science,** v. 49, p. 98-110, 1997.

RIPA, M. N. et al. Agricultural land use and best management practices to control nonpoint water pollution. **Environmental Management**, 2006.

SALAS, W. A.; DUCEY, M. J.; RIGNOT, E.; SKOLE, D. Assessment of JERS-1 SAR for monitoring secondary vegetation in Amazonia: I. Spatial and temporal variability in backscatter across a chrono-sequence of secondary vegetation stands in Rondônia. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.7, p.1357-1379, 2002.

SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental:** teoria e prática. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SHARPLEY, A. N.; HEDLEY, M. J.; SIBBESEN, E.; HILLBRICHT-ILKOWSKA, A.; HOUSE, W. A.; RYSKOWSKI, I. Phosphorus transfers from terrestrial to aquatic systems. In: TIESSEN, H. (Ed.) **Phosphorus in the Global Environment, SCOPE 54.** NY: John Wiley, 1995. p.171-200.

SEPOF-PA. SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO, ORÇAMENTO E FINANÇAS. **Fisiografia.** Disponível em: <http://www.sepof.pa.gov.br/ >. Acesso em:27/10/09.

SILVA, A. A. DA; SOUSA FILHO, F. R. DE; CORTELETTI, J.; PINTO, W. DAS; SILVEIRA, J. L. DA; SILVA, S. R. M. DA; KASPER, A.; MARQUES, M. U. F. AND CAHETE, F. L. S. **A historical dynamics of reproduction of agriculture in Igarapé-Açu (Northeast of the State of pará): A study focusing on agrarian systems.** In: SHIFT-WORKSHOP, 3., 1999, Manaus. **Proceedings...**1999. p.67-82.

SNYDER, M. N.; GOETZ, S. J.; WRIGHT, R. K. Stream health rankings predicted by satellite derived land cover metrics: Impervious area, forest buffers and landscape configuration. **Journal of the American Resources Association**, v.41, n.3, p.659-677, 2005.

SOUZA, J.M.; LOCH, R.E.N. Como melhorar a qualidade do modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM – 3. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais.** São José dos Campos, SP: INPE, 2007. p.1369-1376.

SWANK, W. T.; D. A. GROSSLEY (Ed.). **Forest Hydrology and Ecology at Coweeta.** NY: Springer-Verlag, v.66, 1988. p.339-357.

TUCCI, C. E. M. Controle de enchentes. In: TUCCI, C. E. M. (Org.) **Hidrologia:** ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2000. 651-658p.

VALERIANO, M.M.; KUPLICH, T.M.; STORINO, M.; AMARAL, B.D.; MENDES JR. J.N.; LIMA, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. **Computers & Geosciences**, v.32, n.8, p.1169-1181, 2006.

VIEIRA, I.C.G.; ALMEIDA, A.S.; DAVIDSON, E.A.; STONE, T.A.; CARVALHO, C.J.R.; GUERRERO, J.B.; Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, p.470-481, 2003.

VITOUSEK, P. M.; MELILLO, J. Nitrate losses from disturbed ecosystems. **Science,** v.204, p.469-474, 1979.

WATRIN, O.S.; CRUZ, C.B.M.; SHIMABUKURO, Y.E. Análise evolutiva da cobertura vegetal e do uso da terra em projetos de assentamentos na fronteira agrícola amazônica, utilizando geotecnologias. **Geografia**, v. 30, n. 1, p.59-76, 2005.

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 (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais**. São José dos Campos, SP: INPE, 2007. p.7019-7.

ANEXOS

ANEXO A - Microbacias selecionadas na Área 1

SAF

M1

M6

Agricultura com corte-e-trituração

M3

M2

ANEXO A - Microbacias selecionadas na Área 1

Pastagem

M4

M8

Agricultura de derruba-e-queima

M5

M7

ANEXO B - Microbacias escolhidas na Área 2

MR1

MR2

ANEXO C - Microbacias Selecionadas na Área 3

Agricultura de derruba-e-queima, capoeira e pastagem (lav. Mandioca)

G1

G3

Capoeira e pastagem

G2

G4

ANEXO C - Microbacias Selecionadas na Área 3

Pastagem
G5

Agricultura de derruba-e-queima, capoeira e pastagem(lav. Malva)
G6

ANEXO C - Microbacias Selecionadas na Área 3

Agricultura com corte-e-trituração, SAF, mata de igapó
G7

ANEXO D - Microbacias escolhidas na Área 4

GR1

GR2