

**Definição de Índices de Integridade
Biótica no Meio Aquático em Bacias
Hidrográficas da Microrregião Bragantina
(PA) como Subsídio para Aferição da
Sustentabilidade de Sistemas de
Produção na Agricultura Familiar**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 307

**Definição de Índices de Integridade
Biótica no Meio Aquático em Bacias
Hidrográficas da Microrregião Bragan-
tina (PA) como Subsídio para Aferição
da Sustentabilidade de Sistemas de
Produção na Agricultura Familiar**

Pedro Gerhard

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Tv. Dr. Enéas Pinheiro, s/n.
Caixa Postal 48. CEP 66095-100 - Belém, PA.
Fone: (91) 3204-1000
Fax: (91) 3276-9845
www.cpatu.embrapa.br
sac@cpatu.embrapa.br

Comitê Local de Editoração

Presidente: *Gladys Ferreira de Sousa*
Secretário-Executivo: *Moacyr Bernardino Dias-Filho*
Membros: *Ana Carolina Martins de Queiroz, Luciane Chedid Melo Borges, Paulo Campos Christo Fernandes, Vanessa Fuzinato Dall'Agnol, Walkymário de Paulo Lemos*

Supervisão editorial: *Adelina Belém*
Supervisão Gráfica: *Guilherme Leopoldo da Costa Fernandes*
Revisão de texto: *Luciane Chedid M. Borges*
Normalização bibliográfica: *Adelina Belém*
Editoração eletrônica: *Orlando Cerdeira Bordallo Neto*
Foto da capa: *Pedro Gerhard*

1ª edição

Versão eletrônica (2007)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Amazônia Oriental**

Gerhard, Pedro

Definição de Índices de integridade biótica no meio aquático em bacias hidrográficas da microrregião Bragantina (PA), como subsídio para aferição da sustentabilidade de sistemas de produção na agricultura familiar / por Pedro Gerhard. -. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2007.

58p. : il. ; 21cm. - (Documentos/ Embrapa Amazônia Oriental, ISSN 1517-2201, 307).

1. Ecossistema aquático. 2. Indicadores biológicos. 3. Recursos naturais. 4. Bacia hidrográfica. 5. Uso da terra. 6. Nordeste paraense. 7. Agricultura familiar. 8. Práticas agrícolas sustentáveis. I. Título. II. Série.

Autor

Pedro Gerhard

Biólogo, Doutor em Ecologia de Agroecossistemas, pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA.

pgerhard@cpatu.embrapa.br

Apresentação

Atualmente, há grande preocupação em garantir a sustentabilidade dos sistemas de uso da terra na região Amazônica. Assim, é aumentada a demanda pelo desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, como forma de aferir formas de produção de baixo impacto ambiental. E, com isto, surge a necessidade da criação e da corroboração científica desses indicadores.

O presente documento é um relatório parcial de pesquisa elaborado durante o probatório do pesquisador Pedro Gerhard, focando o estudo do uso e cobertura da terra e de indicadores biológicos de integridade do ecossistema aquático em uma bacia do nordeste do Pará.

Certamente, a geração de conhecimentos sobre indicadores deverá contribuir para o desenvolvimento de práticas agrícolas sustentáveis, capazes de melhorar as condições de vida das comunidades rurais e, ao mesmo tempo, manter a rica oferta de recursos naturais dos ecossistemas amazônicos.

Jorge Alberto Gazel Yared

Chefe-Geral da Embrapa Amazônia Oriental

Sumário

Definição de Índices de Integridade Biótica no Meio Aquático em Bacias Hidrográficas da Microrregião Bragantina (PA) como Subsídio para Aferição da Sustentabilidade de Sistemas de Produção na Agricultura Familiar	9
Introdução	9
Métodos	12
Resultados e discussão	18
Conclusões e perspectivas	56
Referências	58

Definição de Índices de Integridade Biótica no Meio Aquático em Bacias Hidrográficas da Microrregião Bragantina (PA) como Subsídio para Aferição da Sustentabilidade de Sistemas de Produção na Agricultura Familiar

Pedro Gerhard

Introdução

Este relatório apresenta os resultados dos nove primeiros meses de atividades do Plano de Trabalho intitulado *Definição de Índices de Integridade Biótica no Meio Aquático em Bacias Hidrográficas da Microrregião Bragantina (PA) como Subsídio para Aferição da Sustentabilidade de Sistemas de Produção na Agricultura Familiar*. São apresentados resultados referentes às metas indicadas na Tabela 1. As metas listadas são aquelas com atividades previstas para os primeiros 9 meses de atividades. Essas metas representam 15 de um total de 17 metas previstas no Plano de Trabalho original.

O Plano de Trabalho (PT) divide-se basicamente em dois grupos de metas, que empregam duas ferramentas: geoprocessamento e biomonitoramento. As atividades relacionadas a essas metas estão alocadas, respectivamente, nos planos de ação 2 e 3. No primeiro ano do PT, concentram-se as metas do Plano de Ação 2, ligado ao geoprocessamento, com as metas de número 1 a 9. As atividades do Plano de Ação 3, ligadas ao biomonitoramento, serão concentradas no segundo ano do PT, em 2008.

Tabela 1. Metas previstas na proposta original ao Macroprograma 3 da Embrapa, com atividades previstas dentro dos primeiros nove meses de execução do plano e sua situação, entre: ✓ (finalizada), → (em andamento) e ⊙ (não iniciada).

#	Descrição da meta	Tempo para atingir	Aferidor de meta	Desempenho atual
1	Sistematizar banco de dados com informações georreferenciadas sobre as quatro bacias estudadas	Mês 1	Banco de dados organizado	✓
2	Processar e interpretar de forma preliminar as imagens de satélite relativas às bacias dos igarapés Timboteua e Referência* (3 anos)	Mês 4	Imagem de satélite processada e mapa preliminar de categorias de uso e cobertura produzido	✓
3	Realizar levantamento in situ de solos, vegetação e uso da terra nas bacias dos igarapés Timboteua e Referência	Mês 6	Levantamento de solos, vegetação e uso da terra realizado	✓
4	Produzir os mapas de unidades de solos nas bacias dos igarapés Timboteua e Referência	Mês 7	Unidades de solo mapeadas em produto digital	→
5	Produzir mapas de rede hidrográfica e modelo digital de terreno da bacia dos igarapés Timboteua e Referência	Mês 8	Mapas de rede hidrográfica e modelo digital de terreno finalizado	✓
6	Estudar a dinâmica do uso da terra na bacia dos igarapés Timboteua e Referência	Mês 8	Análises sobre a dinâmica do uso da terra concluídas	✓
7	Caracterizar a estrutura e composição da paisagem das quatro bacias de estudo através de métricas da paisagem	Mês 10	Análises sobre a estrutura e composição da paisagem concluídas	✓
8	Realizar mapeamento em campo de eventos de fragmentação da rede fluvial de cada uma das quatro bacias estudadas	Mês 6	Reconhecimento de eventos de fragmentação concluídos em campo	✓

Continua...

Tabela 1. Continuação.

#	Descrição da meta	Tempo para atingir	Aferidor de meta	Desempenho atual
9	Produzir mapas de fragmentação da rede fluvial das bacias estudadas	Mês 10	Eventos de fragmentação mapeados em produto digital	✓
10	Realizar campanha de amostragem de peixes e macroinvertebrados bentônicos nas bacias estudadas	Mês 1 (preliminar)** Mês 18 (todas amostras)	Campanhas de amostragem concluídas	✓
11	Triar as amostras de peixes e de macroinvertebrados bentônicos	Mês 2 (preliminar)** Mês 21 (todas amostras)	Amostras triadas e analisadas	✓
12	Analisar os dados das amostras de peixes e macroinvertebrados bentônicos de modo a produzir índices de integridade biótica	Mês 8 (preliminar)** Mês 22 (todas amostras)	Índices de integridade biótica formulados	∅
13	Compilar dados físico-químicos da água de igarapés existentes para as bacias estudadas	Mês 5	Banco de dados de parâmetros físicos e químicos de interesse compilados	✓
14	Realizar análises estatísticas de modo a testar a hipótese geral da proposta	Mês 8 (preliminar) Mês 24 (todas amostras)	Análises estatísticas finalizadas	∅
15	Redigir relatório de atividades trimestrais e final	Mês 4, 8, 12 e 16 e 20 (quadrimestrais) Mês 24 (final)	Relatórios finalizados impressos e encaminhados***	✓

* A Bacia Referência não foi estudada no momento.

** Preliminar = análise das amostras de peixes coletadas em três bacias, por outro projeto, já finalizado.

*** Relatórios trimestrais enviados ao CPD da Embrapa Amazônia Oriental.

Métodos

São descritos os métodos empregados nas atividades relativas a cada uma das metas listadas na Tabela 1. No enunciado das metas foram excluídas alusões à bacia “Referência” e, em alguns casos, os enunciados para os métodos referem-se a duas metas em conjunto. Não foram mencionadas as metas para as quais não foram realizadas atividades. A meta 15 não foi mencionada.

- Sistematização do banco de dados georreferenciados para as bacias dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua (Meta 1)

Foi estruturado um banco de dados a partir de dados e informações disponíveis para as bacias de estudo, incluindo mapas temáticos de diferentes temas e escalas. O tratamento e a análise do conjunto de dados e informações georreferenciadas das áreas de estudo foram conduzidas nos programas Spring 4.2 (INPE/ DPI, 2002), ArcView 3.3 (ESRI, 2002) e Envi 3.2 (ITT Co., 2005).

Como base cartográfica foram utilizadas imagens Landsat compactadas e georreferenciadas por processo de alta precisão (MrSID) e base planialtimétrica compilada a partir de dados digitais disponibilizados pelo IBGE, na escala de 1:100.000, contendo entre outros elementos, a rede de drenagem e a malha viária existentes nas áreas de estudo.

Para o levantamento multitemporal da cobertura vegetal e uso da terra, foram empregadas imagens digitais TM/Landsat, órbita/ponto 223/061, bandas TM 3, 4 e 5, referentes às datas de 09/07/2002, 16/07/2003 e 15/05/2004. Para o levantamento de solos foram utilizadas, além das referidas imagens TM/Landsat, imagens produzidas pela SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission, NASA-NGA, 2000). Essas imagens já se

encontravam disponíveis no Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

- Levantamento e mapeamento da cobertura vegetal e do uso da bacia do Igarapé Timboteua (Meta 2)

Foram realizados diversos passos visando a produção de mapas de uso e cobertura do solo nas três datas consideradas. Foram empregadas técnicas de processamento de imagens digitais incluindo: pré-processamento, realce, segmentação e classificação das imagens (ver detalhamento em WATRIN et al., 2005). Em seguida, foi conduzida uma análise visual das imagens segmentadas e classificadas, considerando as características das unidades de interesse e de informações obtidas em áreas próximas à de interesse. Tais áreas referem-se às definidas no projeto de pesquisa¹ finalizado recentemente nas bacias dos igarapés Cumaru e São João, próximas às bacias estudadas. Sendo assim, os limiares de área (valor 10) e similaridade (valor 6) para segmentação das imagens, a escolha do classificador (Bhattacharya), a definição da legenda, entre outros aspectos, foram os mesmos empregados naquele projeto, com vistas à publicação de um artigo integrado sobre as três bacias citadas: Cumaru, São João e Timboteua.

De posse de composições coloridas das imagens Landsat/TM referidas acima, foi realizada uma viagem a campo durante os dias 7 e 8/7/2007 para reconhecimento das feições visíveis nestas composições. Estas feições direcionaram a atribuição das categorias de uso e cobertura do solo previamente definidas sobre os polígonos obtidos pela segmentação das imagens, em um processo de coleta de amostras de “aquisição e “teste”. Esta etapa de treinamento é própria do *software* Spring e anterior à classificação das imagens. O desempenho das amostras foi aferido pelo limiar de 99,9% e, quando necessário, as amostras de

¹ Projeto “Análise da Dinâmica do Uso da Terra e Zoneamento Agroecológico em Microbacias Hidrográficas no Nordeste Paraense”, do Macroprograma 3 da Embrapa (Código SEP 03.04.3.52.00.).

teste foram rearranjadas ou eliminadas. A classificação pelo algoritmo Bhattacharya empregou o mesmo limiar de 99,9%, e, assim, foram produzidas as imagens classificadas. Posteriormente, a partir do mapeamento para as geoclasses (definidas no banco de dados), foram realizadas edições temáticas de modo a refinar as informações presentes nas imagens selecionadas e assim obter as imagens temáticas finais de uso e cobertura do solo para cada ano envolvido no estudo.

Durante o processo de classificação das imagens dos três anos distintos, foi necessário proceder a um ajuste da extensão dos fragmentos de matas. O ajuste considerou a regra lógica de que todo fragmento desta categoria presente na imagem classificada do ano de 2004 deveria estar presente também nos dois anos anteriores, 2002 e 2003. Este procedimento foi conduzido por meio de uma ferramenta (*script* Legal) disponível no Spring.

O recorte dos limites da bacia do Igarapé Timboteua foi baseado em dados do relevo da área, derivados do SRTM. O recorte foi efetuado através da ferramenta de análises hidrológicas SWAT2000 (Soil and Water Assessment Tool 2000, disponível em <http://www.brc.tamus.edu/swat/soft_model_2000soft.html>), que funciona acoplada ao SIG ArcView 3.3. Para tanto, foi alocado um ponto de descarga (foz) da bacia na junção do Igarapé Timboteua com o Rio Marapanim. Os limites da bacia são, portanto, definidos por toda área que drena para este ponto específico. Não foi empregado, no momento, o expediente de “forçar” o traçado da bacia pelos canais digitalizados das cartas DSG.

- Levantamento e mapeamento de classes do solo da bacia do Igarapé Timboteua (Metas 3 e 4)

Esta atividade foi coordenada pelo Dr. Benedito Néilson R. da Silva, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental. Em uma excursão à área de estudo, entre os dias 11 e 13/9/2007, foram amostrados 12 perfis de solo

com trado holandês, além de outros 18 pontos de checagem de tipologia do solo. As amostradas foram tomadas com base em uma interpretação visual das imagens SRTM da área focada, divididas por cotas altimétricas de 20 metros de intervalo. Foram realizados pelo menos dois perfis em cada um dos intervalos de 20 metros de altitude. Este número também foi balizado pelo fato de que outros levantamentos de solo já haviam sido realizado nas bacias dos igarapés Cumaru e São João, que distam não mais do que três dezenas de quilômetros da bacia do Igarapé Timboteua.

As 53 amostras obtidas nos perfis foram encaminhadas para o Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental para análises de químicas, físicas e granulométricas.

- Mapeamento da rede hidrográfica e da malha viária da bacia do Igarapé Timboteua (Meta 5)

Os mapas da rede hidrográfica e da malha viária em um polígono retangular envolvendo a bacia do Igarapé Timboteua foram obtidos das cartas topográficas Castanhal e Marapanim (DSG, 1982), em escala 1:100.000, que foram digitalizados em um *scanner* comum. Os traçados da rede e da malha foram digitalizados em tela e, posteriormente, corrigidos, considerando-se as discrepâncias entre o registro dos mapas topográficos e das imagens Landsat. Estradas claramente destacadas nas imagens Landsat/TM e que não foram representadas nas cartas topográficas foram digitalizadas em tela. Toda digitalização em tela foi realizada, em média, na escala de 1:25.000.

- Dinâmica de uso da terra da bacia do Igarapé Timboteua (Meta 6)

Os mapas de uso e cobertura do solo produzidos para a bacia do Igarapé Timboteua nas três datas consideradas foram quantificados quanto à composição percentual das categorias identificadas. Foram avaliadas as

matrizes de mudança de categorias entre as classes envolvidas, que apresentam os percentuais de área que uma classe foi convertida em outra entre os anos analisados. Para tanto, foi empregada uma rotina embutida no Spring, denominada “tabulação cruzada”. A dinâmica ou estabilidade de cada bacia foram quantificadas individualmente e comparadas entre si. As análises seguiram os métodos usados por Watrin et al. (2005).

- Caracterização da paisagem das bacias dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua (Meta 7)

Os itens anteriores analisaram cada uma das paisagens (i.e, as bacias) quanto à proporção de categorias de uso do solo. Nesta atividade, foi analisada a composição e a configuração espacial nas três bacias, considerando os fragmentos de todas as classes de uso e cobertura do solo. Para tanto, foram computados métricas relacionadas ao número e extensão em área de fragmentos, diversidade e dominância, contágio e justaposição, além de métricas relacionadas com a forma, como densidade de bordas e dimensão fractal da paisagem. Para tal, foi empregada a extensão LANDIC (CARRÃO et al., 2001).

- Fragmentação da rede hidrográfica das bacias dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua (Metas 8 e 9)

A caracterização das áreas estudadas seguiu com o mapeamento, análise e interpretação da configuração de elementos da paisagem em relação à rede hidrográfica das três bacias estudadas. Duas categorias de elementos foram estudadas: (1) uso e cobertura da terra na zona ripária (2) eventos de fragmentação da rede hidrográfica por ação antrópica. As bacias foram percorridas de carro na sua maior extensão possível, quando foi registrado, nos cruzamentos da malha viária com a rede hidrográfica, o modo como este contato modificou os canais em seu entorno. Cada um destes cruzamentos foi registrado com um aparelho receptor de GPS. Estes eventos foram representados em um mapa digital.

- Realizar campanha de amostragem de peixes e macroinvertebrados bentônicos nas três bacias estudadas (parcial, envolve apenas as amostras de peixes) (Meta 10)

Em março de 2007, foi realizada campanha de amostragem de peixes em oito pontos de coleta nas bacias dos igarapés Cumarú, São João e Timboteua. As capturas foram realizadas com uma rede de arrasto durante uma hora por estação, aproximadamente

- Triar as amostras de peixes e de macroinvertebrados bentônicos (parcial, envolve apenas as amostras de peixes) (Meta 11)

Estas amostras de peixes referem-se a oito pontos de amostragem visitados pelo mestrando Jean Michel Corrêa, enquanto desenvolvia seu plano de dissertação². As amostras foram triadas com auxílio do laboratório de Biologia de Organismos Aquáticos da Universidade Federal Rural da Amazônia.

- Compilação de dados físicos e químicos da água, disponíveis para as bacias estudadas (Meta 13)

Os dados referentes às análises de parâmetros físicos e químicos dos pontos de amostragem de água do projeto Agrobacias Amazônicas, diretamente relacionados à execução desta proposta (oito pontos de amostragem durante um ano), foram coligidos em uma planilha eletrônica para organização e análise visual dos dados.

² A dissertação tem o título “Estrutura de comunidades de peixes de igarapés de três pequenas bacias de drenagem sob uso de agricultura familiar no nordeste paraense”, e é desenvolvida dentro do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA, convênio UFPA/MPEG/Embrapa), sob orientação do Dr. Ricardo Figueiredo e co-orientação do Dr. Pedro Gerhard.

Resultados e discussão

São apresentados os resultados referentes às metas listadas no item anterior. A meta 1, que tem seus resultados difusos ao longo das demais metas, não terá um tópico destacado. A meta 10 mostra seus resultados por meio da meta 11, isto é, os resultados da triagem das coletas realizadas.

As bacias estudadas até o presente são as dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua, localizadas nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, na região nordeste do Estado do Pará (Fig. 1).

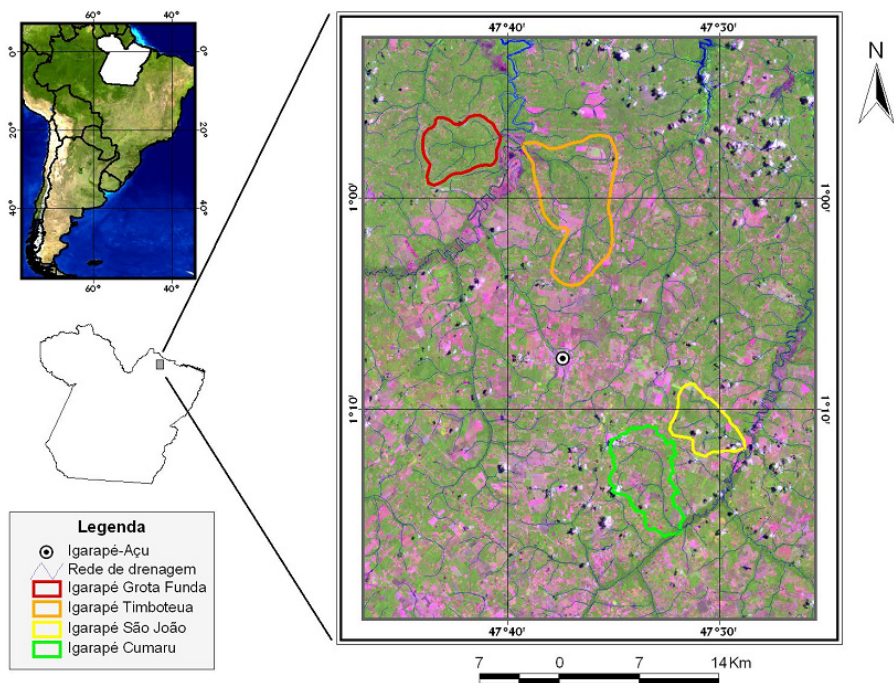


Fig. 1. Mapa de localização das quatro bacias tratadas por esta proposta. A bacia do igarapé Grota Funda refere-se à bacia de Referência. Detalhes no texto.

- Levantamento e mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra relativos à bacia do Igarapé Timboteua (Meta 2)

O processo de classificação das imagens Landsat/TM para os anos de 2002, 2003 e 2004 foi conduzido de modo a produzir imagens temáticas com desempenho médio superior a 99,53%. O processo foi eficiente na discriminação de nove categorias de uso da terra e cobertura vegetal do solo. Foram discriminadas, também, as nuvens e a sombras de nuvens. A legenda empregada é exposta na Tabela 2. Exemplos das categorias presentes na legenda são ilustrados pelas Fig. 3 a 12. Alguns alvos tiveram detecção problemática, como no caso de fragmentos de campo cerrado (Fig. 12) visualizado nas visitas à área de estudo. Este foi classificado como Pasto sujo. Entretanto, esta feição **não** ocorreu na bacia do Igarapé Timboteua, mas sim em seu entorno.

A legenda utilizada pode ser compreendida dentro de um esquema hierárquico, em que as categorias utilizadas estão alocadas nos níveis de sistemas antrópicos ou naturais e, dentro destes, em um sub-nível de sistemas de uso e sistema de pousio, como segue:

1 - Ambientes antrópicos

1.1 - Áreas sob uso

1.1.1 - Solo sob preparo

1.1.2 - Cultura agrícola

1.1.3 - Pasto limpo

1.1.4 - Pasto sujo

1.2 - Áreas em pousio

1.2.1 - Capoeira baixa

1.2.2 - Capoeira alta

2 - Ambientes naturais (ou com baixo impacto antrópico)

2.1 - Floresta antropizada

2.2 - Campo higrófilo

2.3 - (Campo cerrado)

Logicamente, trata-se de um esquema conceitual. As transições entre os diferentes estados discretos (as categorias da legenda) podem ser muito variados. Por exemplo, a categoria Pasto sujo é muito ampla, e pode representar tanto um estágio sob uso, mas pouco intensivo, quanto uma área em estágio inicial de pousio. A Fig. 2 busca ilustrar as possíveis transições entre as categorias de uso e cobertura do solo consideradas neste trabalho.

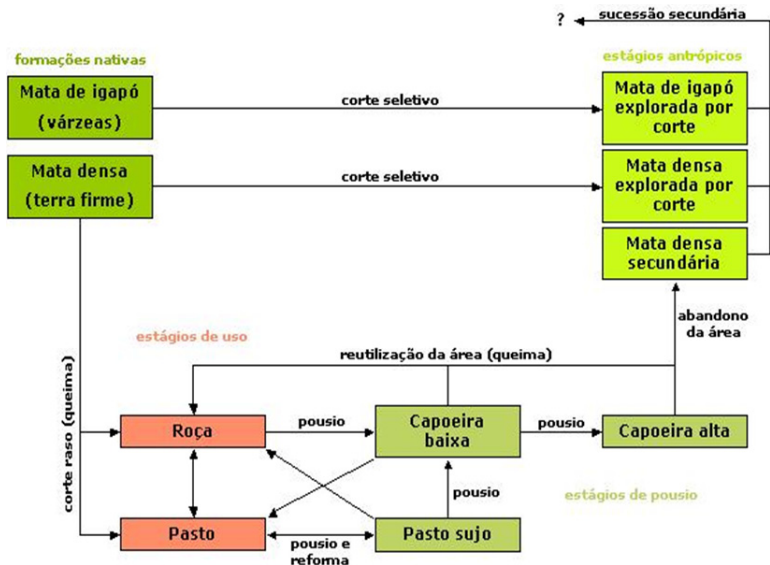


Fig. 2. Diagrama ilustrando as transições entre as categorias de uso e cobertura do solo consideradas neste trabalho, característico de áreas da região nordeste do Estado do Pará.

Tabela 2. Categorias, descrição e aspecto em composições coloridas e realçadas das bandas 3, 4 e 5 (RGB-543) do sensor TM do satélite Landsat das categorias utilizadas no mapeamento de uso e cobertura do solo no retângulo que envolve a bacia do Igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Categoria	Descrição	Aspecto
Solo sob preparo	Área sob preparo com destino provável de cultivo agrícola ou pastagem. É possível que algumas destas áreas contenham alguma cultura implantada há pouco tempo, mas o predomínio da superfície é de solo exposto. Fig. 3.	Cor lilás ou rosa-choque forte e muito brilhantes. Textura lisa.
Cultura agrícola	Área manejada para plantio de culturas anuais e semiperenes, tais como: milho, feijão, caupi, mandioca, pimenta-do-reino, maracujá, melancia, abóbora. A fração de solo exposto é significativa na maior parte destes cultivos. Na maior parte do tempo é formação de duração curta, entre alguns meses e dois anos. Podem ocorrer indivíduos esparsos de palmeira inajá (Maximiliana regia). Fig. 4.	Cor rosa ou lilás, mas opacas. Textura lisa. Fragmentos com área reduzida.
Pasto limpo	Pastagem manejada para uso direto pelo gado bovino. Há predomínio de gramíneas, especialmente do gênero <i>Bracharia</i> . A densidade de herbáceas é, em geral, pequena. Podem ocorrer indivíduos esparsos de palmeira inajá. Fig. 5.	Cor varia entre o verde muito claro ao rosa suave. Textura muito lisa. Forma tendendo à retangular.
Pasto sujo	Vegetal típica de estágio sucessional inicial. Esta categoria inclui desde pastos degradados, com presença de estrato herbáceo significativo, como também estágios mais avançados, com presença significativa do estrato arbustivo. Esta categoria pode representar também, áreas de cultivo agrícola abandonadas há cerca de um ano ou mais. Podem ocorrer, no estrato arbóreo, muitas palmeiras inajá. Fig. 6. Campo cerrado foi muitas vezes classificado nesta categoria.	Cor variando entre o verde-acastanhado, azul e o lilás. Textura de lisa a muito rugosa. Fragmentos com forma aproximada de retângulos, quando a área é extensa ou irregular quando esta é reduzida.

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Categoria	Descrição	Aspecto
Capoeira baixa	Vegetação florestal secundária intermediária, entre dois a dez anos após corte raso, e altura do dossel variando entre dois a dez metros. Há grande quantidade de indivíduos de porte arbustivo e a densidade de indivíduos é elevada. O porte é homogêneo, bem como o diâmetro na altura do peito. Fig. 7.	Cor verde claro. Textura lisa.
Capoeira alta	Vegetação florestal secundária tardia, com mais de dez anos de idade após corte raso e altura do dossel de mais de dez metros. O dossel apresenta-se de forma homogênea. Praticamente inexistem árvores emergentes e os indivíduos com diâmetro na altura do peito superior a 50 cm são raros. Fig. 8.	Cor variando entre verde escuro e médio (verde-bandeira). Textura tendendo à lisa.
Floresta antropizada	Floresta ombrófila densa e floresta de igapó mostrando algum grau de perturbação antrópica, especialmente corte seletivo de árvores. Altura superior a 15-20 metros. Dossel apresenta-se em mais de um estrato, com árvores emergentes de mais de 25 metros. Podem ocorrer árvores de mais de um metro de diâmetro na altura do peito. Fig. 9.	Cor verde escuro a verde muito escuro. Textura rugosa. A forma é, em geral, alongada, pois os fragmentos estão ao longo dos igarapés e rios.
Campo higrófilo	Campos naturais de vegetação de gramíneas e herbáceas nativas, como <i>Ludwigia</i> sp., <i>Axonopus</i> sp. e <i>Eleocharis interstincta</i> *. Estão presentes em áreas baixas (várzeas), são sazonalmente alagados e estão usualmente próximos aos rios de maior porte, como o Marapanim. Fig. 10.	Cor entre rosa lilás ou azul. Textura de rugosa a muito rugosa. Forma pode ser
Corpos d'água	Canais e meandros abandonados de rios de grande porte e lagoas marginais inundadas. Pode ocorrer associação com a feição anterior. Fig. 11.	Coloração variando de azul turquesa ao preto, e, eventualmente lilás escuro. Forma característica.
Nuvem/sombra	Nuvens e sombras de nuvens projetadas sobre a área de estudo. Na imagem de 2004, ocorreu névoa (bruma) dispersa na porção norte da área de estudo.	Cor branca (nuvens) e preta (sombras).

* Material identificado pelo Laboratório de Botânica – Herbário da Embrapa Amazônia Oriental.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 3. Categoria "Solo exposto", representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 4. Categoria "Cultura agrícola", representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 5. Categoria "Pasto Limpo", representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 6. Categoria "Pasto sujo", representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 7. Categoria “Capoeira baixa”, representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açú e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 8. Categoria “Capoeira alta” (em segundo plano), representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açú e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 9. Categoria “Floresta antropizada” (em segundo plano), representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 10. Categoria “Campo higrófilo”, representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 11. Categoria “Corpos d’água”, representada nos mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua, municípios de Igarapé-Açú e Marapanim, PA.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 12. Campo cerrado composto de poáceas, ciperáceas e lixeira (*Curatella americana*), nas proximidades da Vila de Matapiquara, município de Marapanim, PA.

Nas Fig. 13 a 15, são apresentados os mapas de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Timboteua. Na Tabela 3, são apresentados os valores das áreas ocupadas por cada uma das categorias nos 3 anos estudados. Foi realizada, também, uma quantificação simplificada da legenda, agregando as classes de pastagens e capoeiras (Tabela 4) e, por grandes categorias de ambientes naturais e antropizados, áreas sob uso e áreas sob pousio (Tabela 5).

Nas Fig. 13 e 15 e na Tabela 3, é possível ver que a paisagem da bacia é caracterizada por predomínio de Capoeira alta, seguida de Capoeira baixa (à exceção de 2002) e, em seguida, de Pasto sujo. O cultivo para agricultura representa uma área bastante reduzida a todo o momento considerado (Tabela 4), mas as pastagens apresentam-se como elementos conspícuos. Entretanto, como definido acima, a categoria Pasto sujo apresentou-se como a mais variada em termos de resposta espectral, rugosidade e forma (Tabela 2), provavelmente em decorrência do fato de ser um dos estados

Tabela 3. Valores absolutos (em hectares) e porcentagens em relação ao total de áreas das categorias de uso e cobertura do solo na bacia do Igarapé Timboteua, em três anos distintos.

Categorias	Hectares			Porcentagem		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004
Solo sob preparo	308,50	216,90	304,14	4,04	2,84	3,99
Cultura agrícola	126,89	116,58	165,75	1,66	1,53	2,17
Pasto limpo	444,91	505,58	590,84	5,83	6,63	7,75
Pasto sujo	1.390,25	1.339,49	1.262,56	18,23	17,56	16,55
Capoeira baixa	1.007,59	1.921,60	1.348,61	13,21	25,19	17,68
Capoeira alta	3.365,39	2.392,69	3.110,81	44,12	31,37	40,78
Floresta antropizada	868,41	718,52	466,32	11,38	9,42	6,11
Campo higrófilo	90,81	65,43	63,84	1,19	0,86	0,84
Corpos d'água	17,05	27,76	52,74	0,22	0,36	0,69
Nuvem	8,33	323,57	262,51	0,11	4,24	3,44
Total	7.628,13	7.628,13	7.628,13	100,00	100,00	100,00

mais lábeis dentro das possibilidades de conversão para outros estados (Fig. 13). Fato semelhante, mas de menor intensidade, ocorre com a Capoeira baixa. A Tabela 5 indica que a maior parte da bacia pode ser considerada antropizada, mas mais da metade está em fase de pousio. A área sob uso direto, considerando a categoria Pasto sujo, é de cerca de um terço da área total da bacia. Notável é a redução dos ambientes nativos.

Tabela 4. Porcentagens de categorias agregadas de uso e cobertura do solo presentes na bacia do Igarapé Timboteua em três anos distintos.

Categorias	2002	2003	2004
Cultura e solo exposto	5,71	4,37	6,16
Pasto	24,06	24,19	24,30
Capoeira	57,33	56,56	58,46
Floresta antropizada	11,38	9,42	6,11
Campos	1,19	0,86	0,84
Corpos d'água	0,22	0,36	0,69
Nuvem	0,11	4,24	3,44
Total	100,00	100,00	100,00

Tabela 5. Porcentagens de categorias agrupadas por grandes categorias de uso e cobertura do solo presentes na bacia do Igarapé Timboteua em três anos distintos.

Categorias	2002	2003	2004
Uso	29,77	28,56	30,46
Pousio	57,33	56,56	58,46
Nativos e antropizados	12,57	10,28	6,95
Água	0,22	0,36	0,69
Nuvem	0,11	4,24	3,44
TOTAL	100,00	100,00	100,00

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

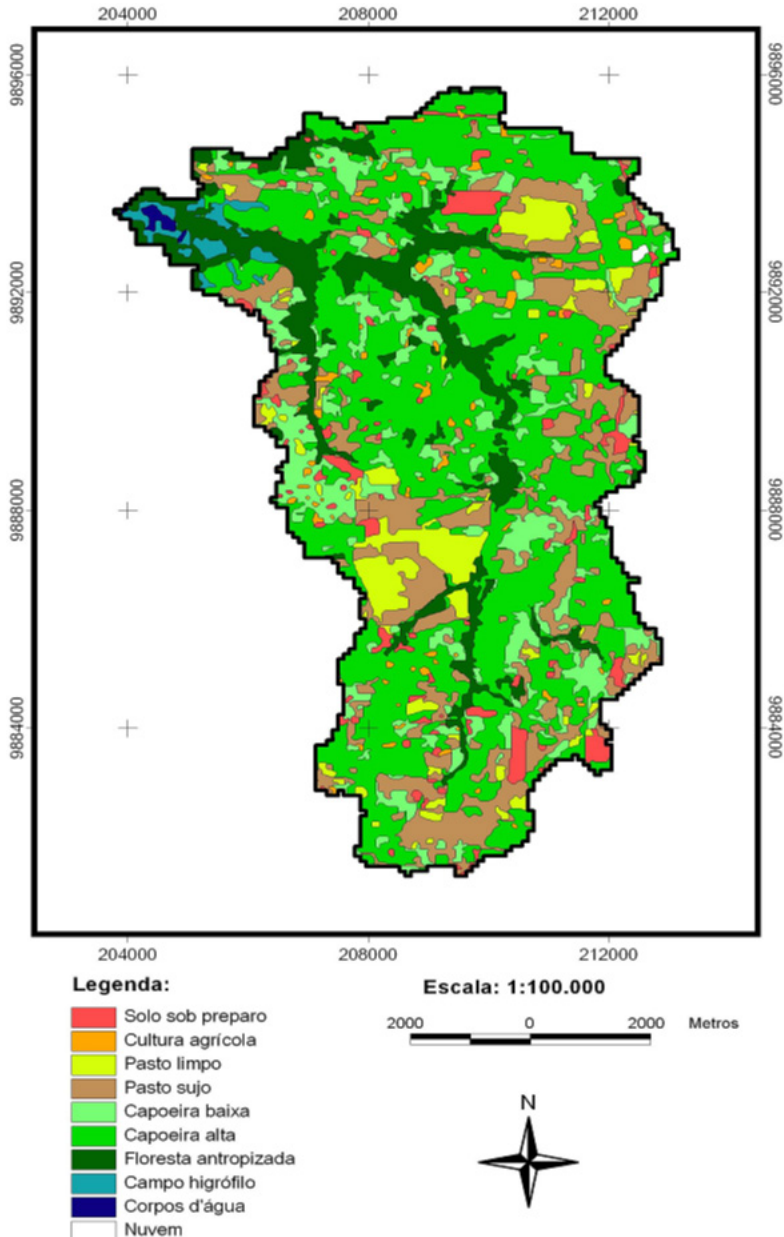


Fig.13. Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Igarapé Timboteua no ano de 2002. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S.

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

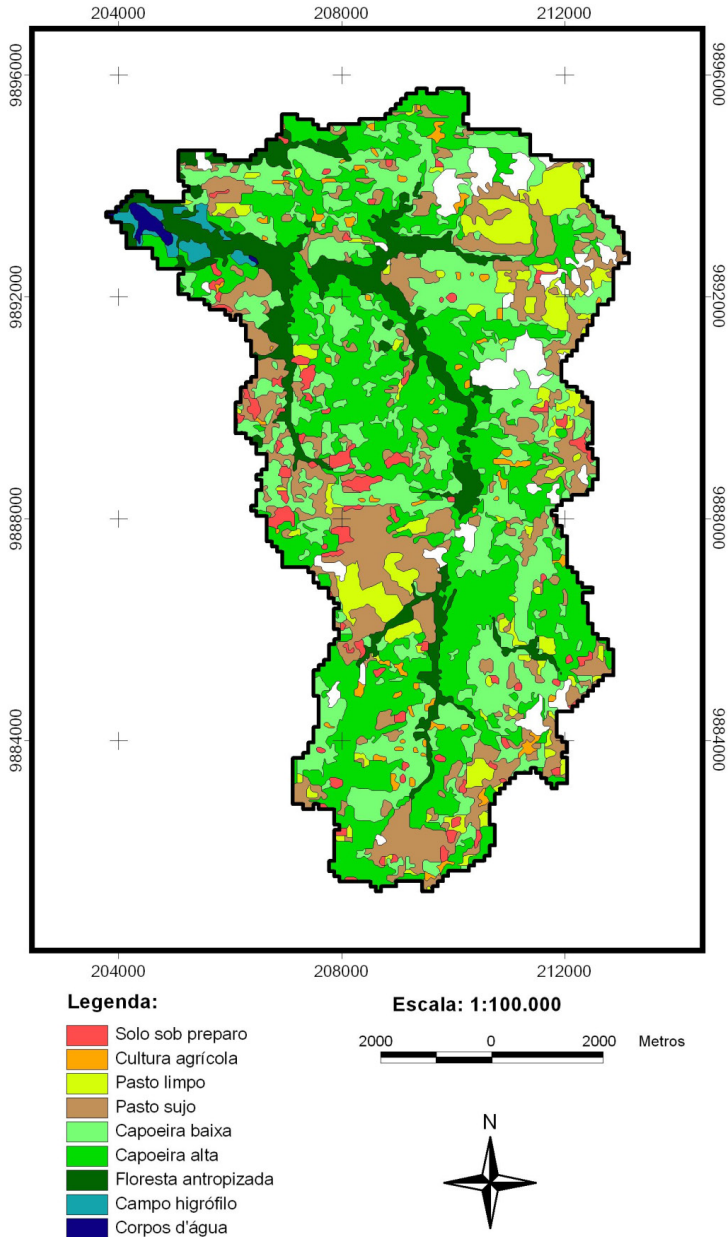


Fig. 14. Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Igarapé Timboteua no ano de 2003. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S.

Fonte: Laboratório de Sensoriamento Remoto da Embrapa Amazônia Oriental.

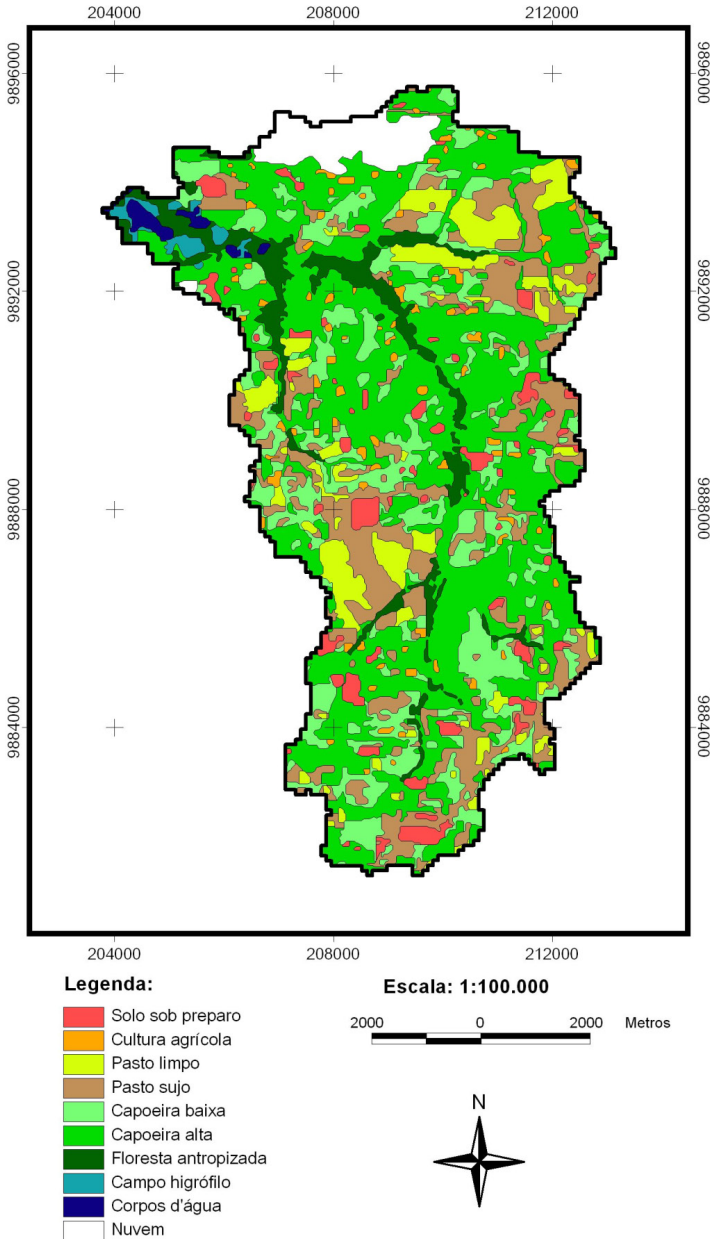


Fig. 15. Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do Igarapé Timboteua no ano de 2004. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S.

- Levantamento e mapeamento de classes do solo da bacia do Igarapé Timboteua (Metas 3 e 4)

Na Tabela 6, são mostrados os detalhes dos perfis de solos e das amostras coletadas na campanha de levantamento de solos. Como mencionado anteriormente, as amostras estão em análise no Laboratório de Solos da Embrapa Amazônia Oriental. A maior parte das amostras foi coletada em fragmentos de vegetação florestal: Capoeira alta, Floresta antropizada e Mata de igapó. Foram coletadas amostras em um campo higrófilo e em um campo cerrado.

Segundo observações em campo do Dr. Benedito Néelson R. da Silva, na bacia do Igarapé Timboteua, os solos assemelham-se aos das bacias dos igarapés Cumaru e São João: predominam os Latossolos Amarelos porém, provavelmente, com teor de argila superior. Em alguns perfis e pontos de checagem de tipos de solos, ocorrem também os Gleissolos (hidromórficos indiscriminados), principalmente nos igapós e fundos de vales abertos. Em um ponto de floresta antropizada foi observado solo do tipo Neossolo Quartzarênico. Em alguns pontos da bacia foram constatados afloramentos de conglomerados e matações lateríticos.

- Mapeamento da rede hidrográfica e da malha viária da bacia do Igarapé Timboteua (Meta 5)

Na Fig. 16 é possível observar o mapa da rede hidrográfica da bacia do Igarapé Timboteua e a rede hidrográfica que está representada de duas formas distintas: 1) **rede digitalizada** e editada, a partir das cartas topográficas do DSG e 2) **rede adensada**, criada artificialmente pelo SWAT2000. Esta última foi gerada tendo como parâmetro uma área de contribuição para surgimento de nascentes igual a 20 hectares. O processo é chamado, aqui, de “adensamento de rede” e o resultado, de “rede adensada”.

Tabela 6. Detalhes dos perfis de solos amostrados na bacia do Igarapé Timboteua, município de Igarapé-Açu e Marapanim, PA.

Número do perfil	Coordenadas		Números das amostras	Total de amostras	Ambiente de coleta do perfil	Profundidades das amostras
	Latitude	Longitude				
1	1°4'0.5"	47°36'24.8"	1, 2, 3, 4, 5	5	Capoeira baixa com cerca de 10 anos de idade	Intervalo de 20 cm, de 0 a 100 cm
2	1°1'53.7"	47°35'0.1"	6, 7, 8, 9, 10	5	Capoeira baixa para alta, de 15-20 anos	Idem
3	0°57'58.4"	47°34'58.3"	11, 12, 13, 14, 15	5	Capoeira antiga de 20 anos, transição para mata	Idem
4	0°56'43.3"	47°36'58.7"	16, 17, 18, 18, 20	5	Capoeira alta e antiga, de mais de 20 anos	Idem
5	0°56'43.4"	47°38'8.8"	21, 22, 23, 24, 25	5	Campo cerrado de ciperáceas com "lixreira"	Idem
6	0°56'57.5"	47°39'17.9"	26, 27, 28	3	Campo higrófilo	26 (0-15cm), 27 (15-30cm), 28 (30-50 cm)
7	0°58'1.4"	47°37'13.6"	29, 30, 31, 32, 33	5	Capoeira alta, com mais de 15 anos	Intervalo de 20 cm, de 0 a 100 cm
8	1°2'24.8"	47°37'21.4"	34, 35, 36	3	Capoeira antiga em zona ripária transição igapó	Intervalo de 20 cm, de 0 a 60 cm
9	1°2'35.2"	47°37'27.4"	37, 38, 39, 40, 41	5	Capoeira baixa, com 5-6 anos de idade	Intervalo de 20 cm, de 0 a 100 cm
10	0°59'58.1"	47°38'4.7"	42, 43, 44, 45, 46	5	Capoeira baixa, com pouco mais de 5 anos	Idem
11	0°58'11.7"	47°38'40.9"	47 e 48	2	Floresta densa antropizada transição para igapó	47 (0-15 cm), 48 (15-40 cm)
12	0°58'28.2"	47°37'43.4"	49, 50, 51, 52, 53	5	Capoeira muito antiga, transição para mata densa	Intervalo de 20 cm, de 0 a 100 cm
Total de amostras				53		

A Fig. 16 aponta também, as discrepâncias observadas entre as redes oriundas das duas fontes, e também entre estas e o limite da bacia.

As discrepâncias observadas devem-se a diversos fatores. Em primeiro lugar, a rede digitalizada veio de uma base de dados de escala 1:100.000 enquanto a rede adensada foi criada no limite de maior detalhes permitido pelo SWAT2000, partindo de um MDT de 90 metros de resolução. Outra fonte de discrepância diz respeito aos erros presentes no próprio MDT, oriundo dos dados do SRTM. Os erros podem ser de diversas naturezas, como: erros de registro horizontal e vertical da imagem, erros associados à captação das formas do relevo pelo feixe radar e influências da própria cobertura vegetal (altura de copa). Daí a discrepância na foz da bacia determinada por ambos os modelos. Estes erros serão corrigidos em uma etapa posterior, que visa justamente aprimorar os dados SRTM, aqui utilizados de forma bruta. No momento, será utilizada para as análises apenas a rede digitalizada.

Durante o trabalho de campo, foram checados os cruzamentos da malha viária sobre a rede de **drenagem adensada**. Note-se que nem toda a malha foi percorrida, portanto, não foram checadadas todas as nascentes. Dos 13 cruzamentos mapeados (malhas ´ rede adensada), em nove deles foi verificada a existência de canais de drenagem ativos, isto é, com água fluindo. Isto representa 69% de acerto da modelagem de canais com área de contribuição de 20 hectares. Esta observação em campo tem implicações diretas na modelagem futura das redes de drenagem, bem como nos estudos sobre as áreas de preservação permanente ao longo de redes de drenagem.

A malha viária existente no interior e no entorno da bacia do igarapé Timboteua está representada na Fig. 17, que detalha a fonte de cada uma das estradas e travessas representadas.

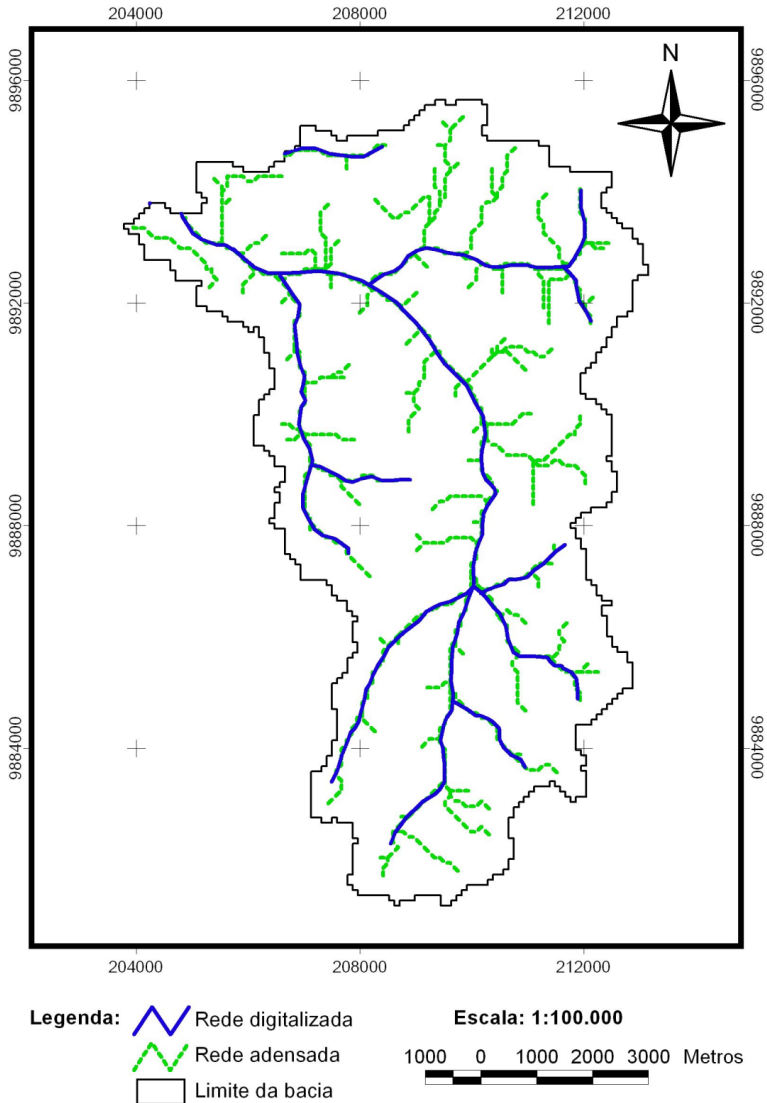


Fig. 16. Rede hidrográfica digitalizada e rede adensada na da bacia do Igarapé Timboteua. As letras apontam para: A) foz do Igarapé Timboteua no rio Marapanim, conforme determinado pela leitura da imagem SRTM; B) a foz conforme indicado pelas cartas DSG 1:100.000 e C) um canal que, segundo as cartas DSG não pertence à bacia do igarapé Timboteua mas que, pelo MDT derivado do SRTM, está em área de contribuição desta bacia. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S.

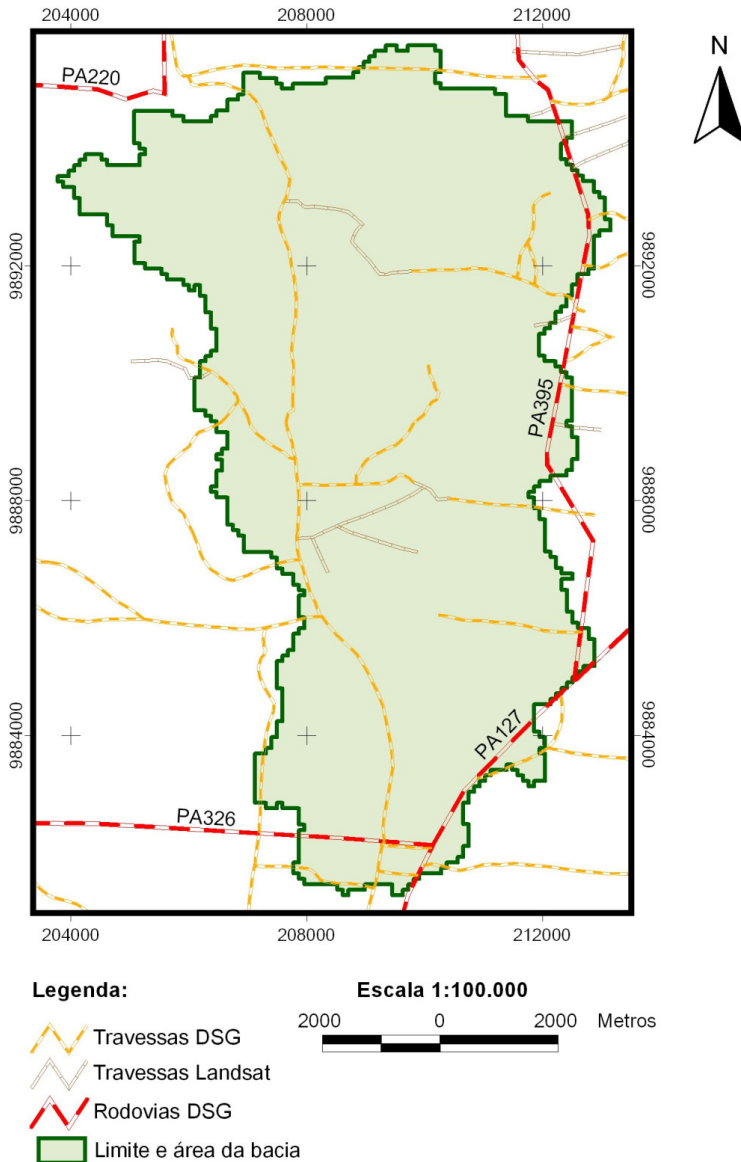


Fig. 17. Malha viária da bacia do Igarapé Timboteua. A legenda indica as travessas digitalizadas das cartas DSG 1:100.000, as travessas digitalizadas sobre composições coloridas RGB543 de bandas do satélite Landsat e rodovias digitalizadas das mesmas cartas DSG. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S.

- Dinâmica de uso da terra da bacia do Igarapé Timboteua (Meta 6)

Na Fig. 18, observa-se as porcentagem de cobertura das diferentes categorias de uso e cobertura do solo da bacia nos três anos estudados.

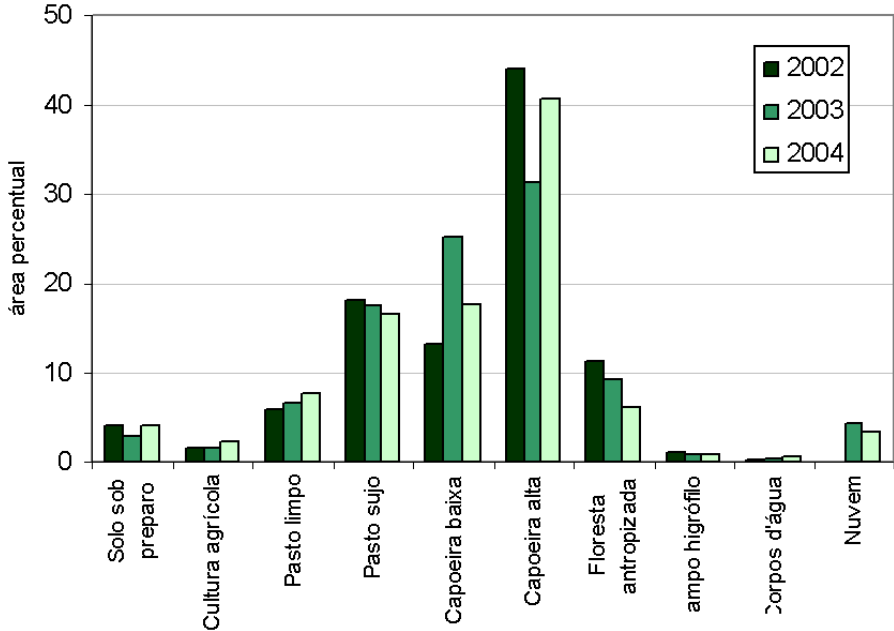


Fig. 18. Áreas percentuais das categorias de uso e cobertura do solo da bacia do Igarapé Timboteua, calculadas para os anos de 2002, 2003 e 2004.

A análise da dinâmica do uso da terra da bacia do IgarapéTimboteua foi realizada com base em tabulações cruzadas entre os anos 2002 e 2003 e entre 2003 e 2004. Os resultados das tabulações são apresentadas em matrizes pelas Tabelas 7 e 8. Na Tabela 7, tomando-se a somatória da diagonal principal, conclui-se que 53 % da paisagem manteve-se inalterada entre os anos 2002 e 2003. Da Tabela 8 conclui-se que no intervalo entre 2003 e 2004, 49 % da área da bacia manteve-se inalterada. Na Tabela 9, é possível visualizar as cinco maiores taxas de conversão percentual entre classes, ranqueadas nos dois intervalos considerados.

As conversões entre categorias com maior impacto sobre a paisagem são calculadas pela área convertida em relação à área total da bacia. Entre 2002 e 2003, a maior mudança em área na bacia do IgarapéTimboteua foi na classe Capoeira alta (19 %), que foi convertida principalmente em Capoeira baixa (11 %) e em Pasto sujo (3 %). Nesse mesmo período, uma grande porcentagem de Pasto sujo (11 %) foi alterada, principalmente para Capoeira baixa (5 %). Já no período seguinte, as maiores alterações foram observadas para a categoria Capoeira baixa (17 %), convertida especialmente em Capoeira alta (10 %). Novamente, a categoria Pasto sujo foi significativamente alterada (10 %), especialmente para capoeira baixa (4 %).

Tabela 7. Matriz de conversão entre categorias de uso e cobertura do solo entre os anos de 2002 (linhas) e 2003 (colunas). Foi destacada a diagonal principal da matriz, que representa a área da categoria que se manteve inalterada entre os anos considerados.

	Floresta antropizada	Capoeira alta	Capoeira baixa	Solo sob preparo	Cultura agrícola	Pasto limpo	Corpos d'água	Pasto sujo	Campo higrófilo	Nuvem	Total
Floresta antropizada	712,2	96,0	28,8	0,5	1,3	8,9	2,6	2,4	4,7	2,0	859,4
Capoeira alta	0,0	1.960,8	821,1	73,0	56,6	94,4	0,0	205,2	1,2	168,9	3.381,2
Capoeira baixa	0,0	177,6	568,4	36,5	13,5	32,1	0,0	145,2	0,0	47,5	1.020,9
Solo sob preparo	0,0	23,9	54,9	28,9	11,3	38,6	0,0	134,9	0,0	19,9	312,4
Cultura agrícola	0,0	18,2	43,5	8,2	6,9	11,2	0,0	41,6	0,0	5,1	134,6
Pasto limpo	0,0	13,0	27,0	26,2	3,1	137,2	0,0	225,4	0,0	20,0	451,7
Corpos d'água	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0	1,2	0,0	17,9
Pasto sujo	0,0	104,2	381,7	48,1	26,0	189,6	0,0	578,0	0,0	59,7	1.387,3
Campo higrófilo	0,0	8,4	4,3	2,3	0,5	7,2	8,9	3,6	55,8	0,0	91,0
Nuvem	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	2,7	9,6

Tabela 8. Matriz de conversão entre categorias de uso e cobertura do solo entre os anos de 2003 (linhas) e 2004 (colunas). Foi destacada a diagonal principal da matriz, que representa a área da categoria que se manteve inalterada entre os anos considerados.

	Floresta antropizada	Capoeira alta	Capoeira baixa	Solo sob preparo	Cultura agrícola	Pasto limpo	Corpos d'água	Pasto sujo	Campo higrófilo	Nuvem	Total
Floresta antropizada	459,6	139,2	18,5	2,7	4,8	9,4	10,1	11,3	13,1	43,5	712,2
Capoeira alta	0,3	1.765,4	212,1	117,1	56,9	21,6	0,0	108,8	3,2	117,4	2.402,8
Capoeira baixa	0,0	782,3	654,9	32,4	61,7	83,9	0,0	230,2	0,0	84,4	1.929,8
Solo sob preparo	0,0	14,7	38,9	28,3	6,0	42,8	0,0	89,7	0,0	3,3	223,7
Cultura agrícola	0,0	28,2	31,2	8,7	8,1	6,3	0,0	26,1	0,0	10,5	119,2
Pasto limpo	0,0	33,6	49,3	16,4	2,3	218,7	0,0	198,7	0,0	0,2	519,2
Corpos d'água	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	26,2	0,0	1,9	0,0	28,3
Pasto sujo	0,0	179,5	286,5	103,4	31,1	170,2	0,0	560,2	0,0	11,5	1.342,3
Campo higrófilo	0,0	3,5	0,3	0,0	0,0	0,0	16,7	0,5	41,9	0,0	62,8
Nuvem	0,0	165,2	50,9	11,6	7,6	37,1	0,0	53,2	0,0	0,2	325,8

- Caracterização da estrutura da paisagem das bacias dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua (Meta 7)

Nesta meta, foi caracterizada a estrutura da paisagem por meio de índices de composição e configuração dos fragmentos das categorias de uso e cobertura do solo das bacias dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua para o ano de 2004 (Tabelas 10 e 11). Os mapas de uso e coberturas das bacias dos igarapés Cumaru e São João utilizados nesta caracterização foram produzidos pelo projeto coordenado pelo Dr. Orlando Watrin, denominado acima. São apresentados nas Fig. 19 e 20.

Na Tabela 9, são apresentadas as métricas de composição e configuração da paisagem, calculadas por meio da extensão LANDIC para o ano de 2004, para as três bacias, consideradas paisagens independentes. Já na Tabela 10, são apresentadas outras métricas, calculadas para cada categoria presente nas bacias.

Tabela 9. Cinco maiores taxas de conversão percentual entre classes de uso e cobertura do solo na bacia do igarapé Timboteua, considerando dois intervalos de estudo.

Ordem	Período 2002-2003		Período 2003-2004	
	conversão	taxa	conversão	taxa
1	nuvem — pasto sujo	63	nuvem — capoeira alta	51
2	pasto limpo — pasto sujo	50	capoeira baixa — capoeira alta	41
3	solo sob preparo — pasto sujo	43	solo sob preparo — pasto sujo	40
4	cultura agrícola — capoeira baixa	32	pasto limpo — pasto sujo	38
5	cultura agrícola — pasto sujo	31	campo higrófilo — corpos d'água	27

Tabela 10. Métricas de configuração e estrutura da paisagem referentes ao uso e cobertura do solo no ano de 2004 para três bacias dos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, PA. Área total em hectares, perímetro em quilômetros, justaposição e maior polígono em porcentagem, densidade em número de fragmentos por 100 hectares, densidade de borda em metros por hectare. Outras métricas são adimensionais.

Métricas	Cumaru	São João	Timboteua
Riqueza	8	8	10
Diversidade	1,32	1,54	1,74
Dominância	0,76	0,54	0,56
Área	4.170,33	2.603,34	7.636,39
Perímetro	252,27	189,83	562,33
Contágio	0,79	0,74	0,74
Dimensão fractal	1,20	1,21	1,15
Justaposição	61,62	64,64	63,51
Maior polígono	45,10	27,31	29,15
Densidade de elementos	7,03	8,18	8,26
Densidade de borda	60,49	72,92	73,64

Tabela 11. Métricas de composição e configuração da paisagem calculados para os fragmentos de cada classe de uso e cobertura no solo encontradas em três bacias hidrográficas do nordeste paraense, no ano de 2004. Área total e média em hectares, perímetro em quilômetros, densidade em número de fragmentos por 100 hectares, densidade de borda em metros por hectare.

Classes	Bacia	Riqueza	Área total	Área média	Perímetro	Densidade de fragmentos	Densidade de borda
Solo sob preparo	Cumaru	3	5,29	1,76	1,59	0,07	0,38
	São João	14	58,27	4,16	13,48	0,54	5,18
	Timboteua	71	311,27	4,38	59,02	0,93	7,73
Cultura agrícola	Cumaru	118	371,55	3,15	78,17	2,83	18,74
	São João	54	74,43	1,38	24,99	2,07	9,60
	Timboteua	99	168,05	1,70	51,55	1,30	6,75
Pasto limpo	Cumaru	19	216,18	11,38	29,78	0,46	7,14
	São João	25	277,19	11,09	35,51	0,96	13,64
	Timboteua	59	586,05	9,93	75,73	0,77	9,92
Pasto sujo	Cumaru	74	584,55	7,90	82,43	1,77	19,77
	São João	38	368,79	9,71	53,69	1,46	20,62
	Timboteua	109	1.268,93	11,64	211,34	1,43	27,68
Capoeira baixa	Cumaru	19	2.518,93	132,58	198,34	0,46	47,56
	São João	20	1.285,34	64,27	123,95	0,77	47,61
	Timboteua	165	1.336,79	8,10	241,29	2,16	31,60
Capoeira alta	Cumaru	40	228,62	5,72	46,73	0,96	11,20
	São João	49	368,44	7,52	70,43	1,88	27,05
	Timboteua	71	3.123,91	44,00	319,60	0,93	41,85
Floresta antropizada	Cumaru	16	182,99	11,44	37,11	0,38	8,90
	São João	12	134,36	11,20	27,30	0,46	10,49
	Timboteua	38	458,65	12,07	75,55	0,50	9,89
Campo higrófilo	São João	1	36,52	36,52	2,66	0,04	1,02
	Timboteua	10	61,43	6,14	12,12	0,13	1,59
	Corpos d'água	7	52,52	7,50	8,57	0,09	1,12

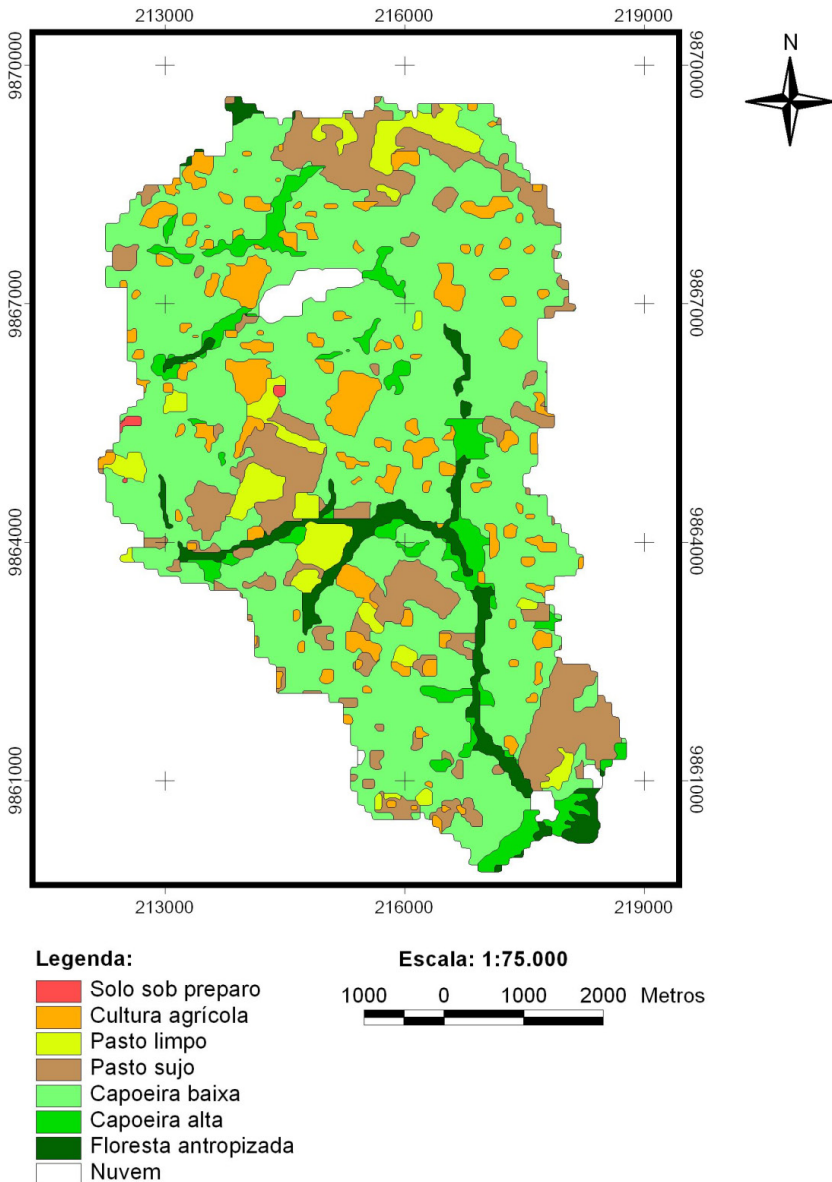


Fig. 19. Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé Cumaru no ano de 2004. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S. Fonte: "Projeto Análise da Dinâmica do Uso da Terra e Zoneamento Agroecológico em Microbacias Hidrográficas no Nordeste Paraense", coordenado pelo Dr. Orlando Watrin.

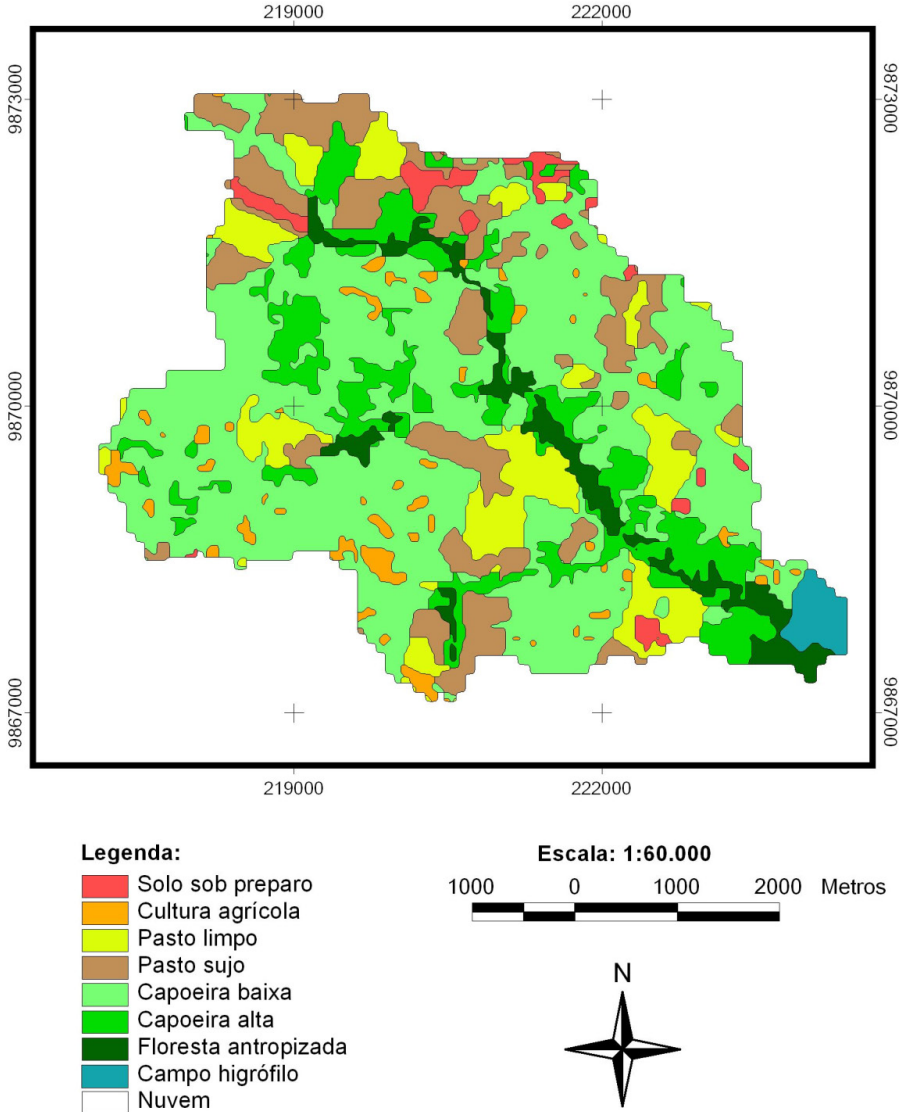


Fig. 20. Mapa de uso e cobertura do solo da bacia do igarapé São João no ano de 2004. Coordenadas no sistema UTM, datum WGS84, zona 23S. Fonte: "Projeto Análise da Dinâmica do Uso da Terra e Zoneamento Agroecológico em Microbacias Hidrográficas no Nordeste Paraense", coordenado pelo Dr. Orlando Watrin.

- Fragmentação da rede hidrográfica das bacias dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua (Metas 8 e 9)

A fragmentação da rede, no presente, foi avaliada de duas formas: 1) fragmentação da rede por cruzamentos com estradas e 2) fragmentação da rede por distúrbios na cobertura vegetal na área ripária.

A primeira foi calculada por meio de um cruzamento entre os mapas de rede hidrográfica e da malha viária (Fig. 16 e 17, para bacia do Igarapé Timboteua, respectivamente). Os mapas das demais bacias foram cedidos pelo projeto do Dr. Orlando Watrin. O número de cruzamentos por bacia estudada pode ser acompanhado pela Tabela 12. Aspectos da interferência dos cruzamentos d'água sobre os canais da rede fluvial são visualizados nas Fig. 21 e 22.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 21. Aspecto de alagamento causado por aterro de uma estrada no cruzamento com um igarapé. Porção alagada à montante do cruzamento, com vegetação arbórea em senescência.

Foto: Pedro Gerhard



Fig. 22. Aspecto de um cruzamento de estrada sobre um igarapé. Desnível provocado pela colocação das manilhas, ocasionando queda d'água artificial à jusante do cruzamento.

Tabela 12. Número de cruzamentos e densidade de cruzamentos (número por 100 hectares) da malha viária sobre a rede hidrográfica de três bacias hidrográficas do Nordeste Paraense.

Bacia	Número de cruzamentos	Densidade de cruzamentos
Cumarú	10	0,24
São João	6	0,23
Timboteua	12	0,16

A fragmentação da rede, verificada por meio da integridade da vegetação ripária foi calculada tabulando as áreas das classes de uso e cobertura do solo em cinco faixas tampão equidistantes de 30 metros de largura em ambas as margens do rio, até 150 metros. Os resultados são

apresentados em valores percentuais e cumulativos (e.g., de zero a 30 metros, de zero a 120 metros etc.) nas Tabelas 13 a 15 e na Fig. 23, uma para cada bacia estudada neste estudo.

Comparem-se, na faixa de 30 metros, os valores de floresta antropizada somado ao de capoeira alta, que são as coberturas mais íntegras e próximas ao estado nativo nas zonas ripárias. A bacia do Igarapé Cumaru apresenta 54% desta vegetação na zona ripária de 30 metros, a do Igarapé São João 64% e a do Timboteua 62%. Isto representa um déficit de cobertura íntegras nestas áreas de 71 ha, 33 ha e 94 ha, respectivamente. Estes valores não consideram a legislação completa das áreas de preservação permanente, que determina a preservação de um raio de 50 m no entorno da nascente (olho d'água). Porém, isto não esgota a questão da necessidade de recomposição da vegetação ripária nestas áreas, em decorrência da discrepância entre os canais existentes e aqueles mapeados na escala 1:100.000.

Tabela 13. Valores cumulativos de áreas percentuais das classes de uso e cobertura do solo em faixas tampão ao longo da rede de drenagem da bacia do Igarapé Cumaru, no ano de 2004. As faixas são equidistantes de 30 metros a partir de ambas as margens dos canais.

Classes de uso e cobertura	30	60	90	120	150
Cultura agrícola	1,32	1,97	2,79	3,70	4,47
Pasto limpo	0,73	0,73	1,17	1,24	1,50
Pasto sujo	2,94	4,01	4,79	5,05	5,70
Capoeira baixa	35,24	37,14	40,51	44,53	47,69
Capoeira alta	22,76	21,19	20,21	18,64	17,32
Floresta antropizada	31,42	29,57	25,34	21,79	18,55
Nuvem	5,58	5,39	5,19	5,05	4,76
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 14. Valores cumulativos de áreas percentuais das categorias de uso e cobertura do solo em faixas tampão ao longo da rede de drenagem da bacia do igarapé São João, no ano de 2004. As faixas são equidistantes de 30 metros a partir de ambas as margens dos canais.

Classes de uso e cobertura	30	60	90	120	150
Solo sob preparo	0,00	0,00	0,06	0,19	0,30
Cultura agrícola	0,94	1,02	1,11	1,31	1,27
Pasto limpo	0,75	1,94	2,84	3,62	4,53
Pasto sujo	5,65	6,75	8,08	8,92	10,41
Capoeira baixa	28,63	29,42	29,55	31,17	32,21
Capoeira alta	23,92	26,27	27,21	26,76	26,29
Floresta antropizada	40,11	34,41	30,78	27,56	24,46
Campo higrófilo	0,00	0,19	0,37	0,47	0,52
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Tabela 15. Valores cumulativos de áreas percentuais das categorias de uso e cobertura do solo em faixas tampão ao longo da rede de drenagem da bacia do igarapé Timboteua, no ano de 2004. As faixas são equidistantes de 30 metros a partir de ambas as margens dos canais.

Classes de uso e cobertura	30	60	90	120	150
Solo sob preparo	0,83	0,76	0,83	0,85	0,94
Cultura agrícola	2,31	2,11	1,88	1,86	1,85
Pasto limpo	5,94	5,23	5,70	5,62	6,57
Pasto sujo	10,89	10,37	11,07	12,09	12,58
Capoeira baixa	16,17	16,44	15,39	14,88	14,76
Capoeira alta	30,20	33,22	33,61	34,28	34,79
Floresta antropizada	31,52	30,10	29,62	28,70	26,70
Campo higrófilo	0,66	0,59	0,61	0,72	0,77
Corpo d'água	1,49	1,18	1,27	1,01	1,04
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

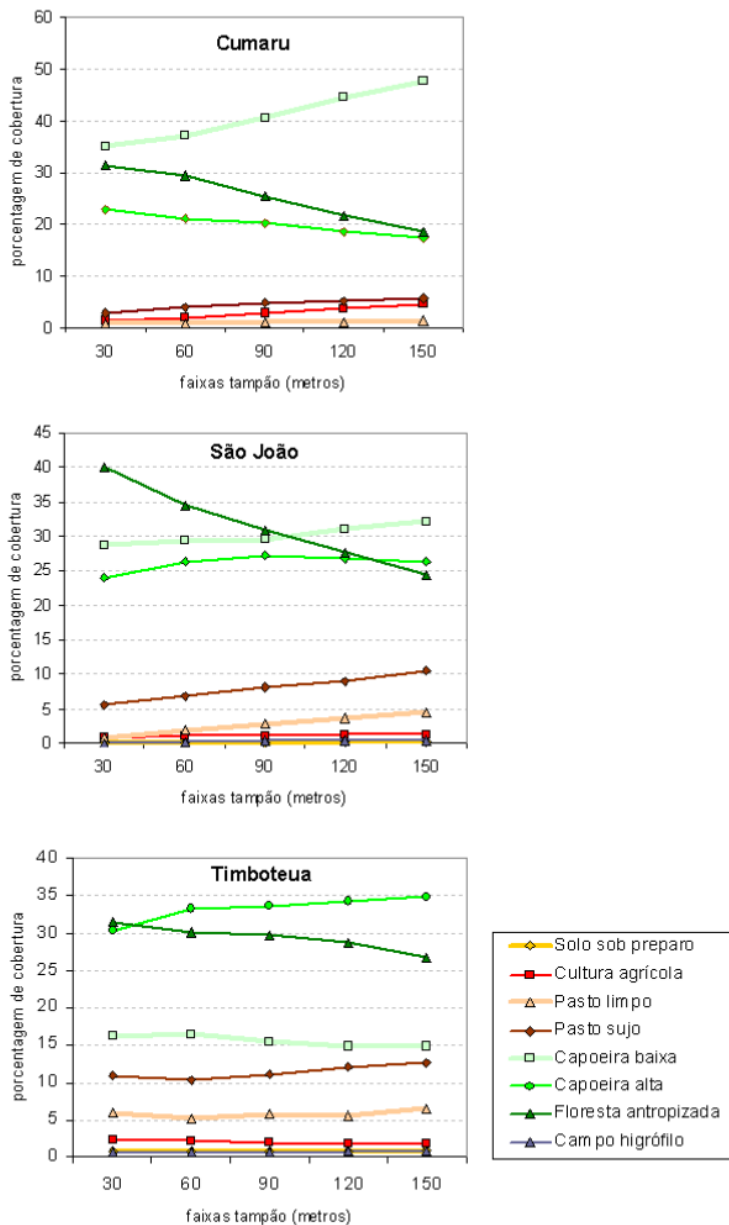


Fig. 23. Valores cumulativos de áreas percentuais das categorias de uso e cobertura do solo em faixas tampão ao longo da rede de drenagem da bacia dos igarapés Cumaru, São João e Timboteua.

- Triar as amostras de peixes e de macroinvertebrados bentônicos (parcial envolve apenas as amostras de peixes) (Meta 11)

A seguir, é apresentada a lista de espécies de peixes capturadas durante a execução do plano de dissertação de Jean Michel Corrêa, portanto, são dados oriundos de seu trabalho, reproduzidos com autorização do autor e do orientador. A lista é fruto de nove ocasiões de amostragem realizadas entre maio de 2006 e março de 2007. A identificação foi realizada em conjunto com Jean Michel Corrêa, membros do Laboratório de Biologia de Organismos Aquáticos da Ufra e o autor desta proposta. A lista é apresentada baseando-se em Backup e Menezes (2003).

Ordem CHARACIFORMES

Família ANOSTOMIDAE

Leporinus sp.

Família CHARACIDAE

Astyanax bimaculatus (Linnaeus, 1758)

Astyanax mutator Eigenmann, 1909

Astyanax sp. 1

Astyanax sp. 2

Astyanax sp. 3

Bryconops alburnoides Kner, 1858

Bryconops caudomaculatus (Günther, 1864)

Bryconops sp.

Hemigrammus levis Durbin, 1908

Hyphessobrycon heterorhabdus (Ulrey, 1894)

Hyphessobrycon minimus Durbin, 1909

Hyphessobrycon sp.

Iguanodectes spirulus (Günther, 1864)

Metynnis sp.

Moenkhausia chrysargyrea (Günther, 1864)

Moenkhausia collettii (Steindachner, 1882)

Poptella sp.

Pristella maxillaris (Ulrey, 1894)

Família ERYTHRINIDAE

Hoplías malabaricus (Bloch, 1794)

Família CURIMATIDAE

Curimatopsis crypticus Vari, 1982

Curimatopsis sp.

Família LEBIASINIDAE

Nannostomus beckford Günther, 1872

Nannostomus eques Steindachner, 1876

Nannostomus harrisoni (Eigenmann, 1909)

Nannostomus sp.

Pyrrhulina australis Eigenmann & Kennedy, 1903

Pyrrhulina brevis Steindachner, 1876

Pyrrhulina filamentosa Valenciennes, 1846

Pyrrhulina sp.

Ordem GYMNOTIFORMES

Família APTERONOTIDAE

Parapteronotus hasemani (Ellis, 1913)

Ordem SILURIFORMES

Família HEPTAPTERIDAE

Mastiglanis asopos Bockmann, 1994

Família CALLICHTHYIDAE

Corydoras sp.

Família LORICARIIDAE

Farlowella sp.

Ordem BELONIFORMES

Família BELONIDAE

Potamorrhaphis guianensis (Jardine, 1843)

Ordem CYPRINODONTIFORMES

Família RIVULIDAE

Rivulus sp.

Ordem SYNBRANCHIFORMES

Família SYNBRANCHIDAE

Synbranchus marmoratus Bloch, 1795

Ordem PERCIFORMES

Família CICHLIDAE

Acaronia nassa (Heckel, 1840)

Aequidens sp.

Apistogramma eunotus Kullander, 1981

Crenicara punctulatum (Günther, 1863)

Crenicichla labrina (Spix & Agassiz, 1831)

Satanoperca jurupari (Heckel, 1840)

Foram coletados 2.117 indivíduos, distribuídos entre sete ordens, 13 famílias, 27 gêneros e 43 espécies. Ocorreu forte domínio da ordem Characiformes (piabas e matupiris), contando com 70% das espécies e 91% dos indivíduos capturados. Seguindo a frequência relativa em espécies esperada para comunidades de peixes da região Neotropical, principalmente a ordem Siluriformes (bagres), mas também a ordem Gymnotiformes (tuviras) foi pouco representada. Duas hipóteses podem ser levantadas para explicar esta discrepância: 1) Características locais dos habitats amostrados determinam maior disponibilidade para os Characiformes e 2) Houve viés de amostragem. As capturas foram centradas no uso da rede de arrasto, que não é efetivo na coleta de espécies de comportamento críptico como os bagres e tuviras. Portanto, uma forma direta de testar a segunda hipótese é ampliando a diversidade de métodos de captura de peixes.

- Compilação de dados físicos e químicos da água, disponíveis para as bacias estudadas (Meta 13)

Estes dados foram coletados no âmbito do projeto Agrobacias Amazônicas citado acima e da parceria desse com o Projeto Milênio LBA (Institutos do Milênio / CNPq), sob a coordenação do Dr. Paulo Artaxo (USP). Os dados são aqui reproduzidos com autorização dos autores. Os dados são muito variados e provenientes de diversos pontos de amostragem, além daqueles onde foram realizadas as amostragens.

Aqui, é apresentada a Tabela 16, que relaciona apenas um resumo dos dados obtidos nos mesmos pontos de amostragem de Jean Michel Corrêa. Os parâmetros foram amostrados mensalmente entre maio de 2006 e março de 2007. Diversos métodos foram empregados para a determinação das variáveis representadas na tabela. Estas variáveis serão relacionadas, futuramente, com as informações coligidas das amostras das comunidades bióticas a serem amostradas no ano de 2008 (Meta 14 do plano de trabalho original).

Tabela 16. Igarapé, classificação hierárquica (Ordem) de Strahler, profundidade (Prof), vazão (Q) e valores médios de pH, temperatura superficial da água (T), condutividade (Cond), oxigênio dissolvido (OD), coletados em oito pontos em três bacias hidrográficas do Nordeste Paraense. nd = valor não determinado.

Igarapé	Ordem	Prof (cm)	Q (m ³ s ⁻¹)	pH	T (°C)	Cond (S.cm ⁻¹)	OD (mg/l)
IGCU-A	1	28,11	nd	4,07	26,86	26,61	2,82
IGCU-B	1	29,44	nd	4,00	26,27	25,74	3,41
IGCU-C	3	89,78	nd	4,73	25,90	20,94	6,30
IGCU-D	3	117,67	0,59	4,60	25,76	20,88	6,51
IGSJ-A	1	22,00	nd	3,90	26,49	29,08	4,20
IGSJ-B	1	32,78	0,32	4,25	26,18	19,27	5,31
IGPA-A	1	26,89	nd	4,07	25,99	19,37	4,54
IGPA-B	1	37,00	0,06	4,26	26,59	19,33	3,45

Fonte: Projeto Agrobacias Amazônicas (ROSA, 2007).

Conclusões e perspectivas

Tendo em vista o desenvolvimento das análises já realizadas, diversas outras possibilidades de análises futuras e considerações foram tecidas:

Há necessidade de investimento em imagens de satélites mais recentes, de modo a ser possível proceder à necessária checagem da classificação em campo, a fim de se construir “matrizes de confusão” da classificação realizada, visando seu incremento.

Há necessidade de definição de classes temáticas para a classificação das imagens que levem em conta as dificuldades de detecção de alguns alvos muito variáveis, como as pastagens e os diversos estágios de capoeiras. Para tanto, pode ser necessário, em paralelo, utilizar outros classificadores e/ou outras combinações de bandas espectrais para processamento digital das imagens já disponíveis.

A rotina de adensamento de drenagem determina que as quantificações de cobertura vegetal nativa em áreas ripárias sejam revisadas, após a checagem da existência e da extensão dos canais gerados artificialmente. Isto acarreta em diversas implicações no uso e zoneamento da paisagem das bacias hidrográficas.

O ponto anterior depende, entretanto, da existência de dados de relevo de qualidade e, se possível, de maior resolução espacial do que os usualmente empregados para a região. Para tanto, o estão previstas ações de aquisição de dados, georreferenciamento dos dados, análise e correção de falhas nos dados por técnicas geoestatísticas e interpolação dos dados por ‘krigagem’, visando ganhos na resolução espacial da ordem de três vezes.

Tendo sido obtidos os dados de relevo e executadas as atividades de geração de rede de drenagem adensada, as análises de configuração da paisagem em relação à rede deve ser refeita. Também surge a oportunidade de se realizar outras análises de composição e configuração por zonas de altitude e, daí, do contexto destas variáveis em relação à malha viária.

Os dados de relevo podem ter grande relevância para estudos integrados com outras equipes de pesquisadores da Embrapa Amazônia Oriental ou outras, nas áreas de hidrologia de bacias, ecologia florestal, entre outras.

Não menos importante é a consideração de se investir em novos produtos de sensoriamento remoto, como imagens de alta resolução. As imagens de satélites com sensores ativos, tipo radar, não poderão ser desprezadas, mesmo em curto prazo. Novos satélites desta categoria têm sido lançados, com potencial de aquisição de imagens de alta resolução, de até um metro. É indiscutível o potencial do emprego destas imagens, especialmente na região Nordeste do Pará, recoberta por nuvens ou névoa na maior parte do ano.

Referências

BUCKUP, P. A. ; MENEZES, N. A. (Eds.). **Catálogo dos peixes marinhos e de água doce do Brasil**. 2.ed. 2003. Disponível em: <<http://www.mnrj.ufrj.br/catalogo/>>. Acesso em: 13 julh. 2007.

CARRÃO, H.; CAETANO, M.; NEVES, N. LANDIC: cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. In: ENCONTRO DE UTILIZADORES DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA, 6., 2001, Oeiras, Lisboa. **Anais...** Lisboa: Associação dos Utilizadores de Informação Geográfica – USIG, 2001.

ROSA, M. B. S. **Dinâmica do carbono em pequenas bacias de drenagem sob uso de agricultura familiar na Amazônia Oriental**. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

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.

Embrapa

Amazônia Oriental

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



CGPE 6782