

## **Zoneamento Ambiental da Microbacia do Igarapé Buiúna-Timboteua, Nordeste do Estado do Pará**

Rodrigo Rafael Souza de Oliveira<sup>1</sup>  
Adriano Venturieri<sup>2</sup>  
Amanda Pinoti Belluzzo<sup>2</sup>  
Alessandra Rodrigues Gomes<sup>1</sup>  
João Felipe Sobrinho Kneipp Cerqueira Pinto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE/CRA  
Caixa Postal 96 - 13416-000 - Belém - PA, Brasil  
{alessandra.gomes, rodrigo.oliveira}@inpe.br

<sup>2</sup> Empresa de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Amazônia Oriental  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - Belém - PA, Brasil  
rodrigo.rafaelso@hotmail.com, adriano.venturieri@embrapa.br,  
amanda.belluzzo@gmail.com, jfkneipp@gmail.com

**Abstract.** The mesoregion of the Northeast of the state of Pará is one of the oldest colonization areas in the Amazon, being the current landscape characterized by a high degree of anthropization, result of the processes of occupation and productive activities that were strengthened through time and in a disorderly way. These aspects can be observed in the watershed Timboteua Buiúna which presents dynamics of use and occupation of landscapes very diversified. Considering the need for an integrated analysis of natural elements, such as geology, geomorphology, soils types, climate, declivity with anthropic activities. Was used as base methodology the Tricart (1977) adapted by Crepani (2001) which emphasizes the use of geotechnologies to perform a correlation of the factors, aiming generate a letter of soil vulnerability to erosion, with the necessary adjustments to the peculiarities and specificities of the basin analyzed. With the purpose to analyze how the relationship between the patterns of use and land cover with the vulnerability of the soil erosive processes, with necessary adjustments to the peculiarities and specificities the microbasin analyzed.

**Palavras-chave:** pedogenesis, morphogenesis, geoprocessing, watersheds, vulnerability, erosion, pedogênese, morfogênese, geoprocessamento, microbacias hidrográficas, vulnerabilidade, erosão.

### **1. Introdução**

A natureza está em constante transformação, onde os processos e fenômenos ocorrem instantaneamente, em busca de se alcançar a homeostasia, ou seja, uma estabilidade do sistema [aberto] mediante a interação de múltiplos fatores e agentes que interagem em um equilíbrio dinâmico, por estarem correlacionados. Onde cada elemento, passivo ou ativo na dinâmica do meio exerce um papel essencial. Esta teia de processos ocorre, em sua maioria, de forma sincronizada e harmônica. No entanto, o homem enquanto agente ativo na natureza tem um grande potencial para a alteração desses processos e transformação da paisagem.

O nordeste do Estado do Pará, por exemplo, é a sub-região amazônica que apresenta os maiores níveis de alteração da paisagem e perda de biodiversidade na Amazônia, seu histórico é marcado por um número considerável de iniciativas públicas e privadas de incentivo a ocupação, através de projetos de colonização, incentivos fiscais, indução de migrações e criação de redes rodoviárias que iniciaram mudanças significativas nas estruturas política, socioeconômica e na paisagem natural da região, acarretando em alterações no regime hidrológico, perdas de biodiversidade e emissões de gases do efeito de estufa (PENTEADO, 1967; NASCIMENTO, 2009).

Esses aspectos podem ser observados na microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna, que apresenta dinâmica de uso e ocupação da paisagem com características peculiares devido à influência que a antiga estrada de ferro Belém-Bragança exerceu sobre a região e a sua

consequente ocupação por pequenos produtores rurais. Além da implantação de pequenos e médios latifúndios de terra baseados na atividade pecuarista.

Considerando que as atividades antrópicas promovem a desestabilização dos sistemas naturais, como nas microbacias hidrográficas, tais efeitos devem ser acompanhados e monitorados periodicamente. As metodologias que integram o uso de geotecnologias ocuparam lugar de destaque e assumem papel proeminente nos estudos ligados ao ordenamento territorial, na medida em que aumenta o investimento em pesquisas que visam ao mapeamento físico-biótico e sócio-econômico, diante da necessidade de mensuração dos impactos ambientais causados pelo homem.

O processo de erosão em áreas agrícolas pode ocasionar sérios danos à produtividade, fertilidade do solo, qualidade da água, dentre outros fatores (Gomes, 2000). Portanto, torna-se necessário estabelecer planos de ocupação no intuito de atenuar os impactos da ocupação do solo pelas atividades antrópicas, elaborando propostas que além de apontar as áreas mais vulneráveis aos processos erosivos, abordem tipos recomendáveis de utilização do solo. Assim, o zoneamento ambiental se constitui enquanto um instrumento eficaz para organização e gerenciamento do espaço e utilização do solo.

Neste sentido, as técnicas e os produtos de sensoriamento remoto e geoprocessamento constituem ferramentas importantes que podem auxiliar, entre outros aspectos, na tomada de decisão para a gestão territorial e implementação de políticas públicas. Logo, o objetivo deste trabalho é apresentar uma análise da relação existente entre as diferentes formas de uso e cobertura da terra e as feições fisiográficas para a identificação do grau de vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos na microbacia do Igarapé Timboteua-Buiúna e, apresentar uma proposta de zoneamento ambiental para a microbacia.

## 1. Metodologia de Trabalho

Foi elaborado um Banco de Dados Geográfico para as áreas de estudo com o suporte dos softwares Arc Gis e SPRING, com informações georreferenciadas diversificadas que subsidiaram o trabalho, tais como: as Cartas planialtimétricas (MI-337 e MI-385) da Diretoria de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro (DSG) disponibilizadas pelo IBGE; imagens TM/Landsat 5 (3R, 4G, 5B) órbita-ponto 223/61 do ano de 2008, para o mapeamento dos padrões de cobertura vegetal e uso da terra, bem como as bases cartográficas de drenagem, estradas, localidades, sedes municipais, dentre outras da base cartográfica de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, presente na biblioteca virtual do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

Sendo realizado, posteriormente, um detalhamento dessas bases de suas escalas originais (1:100.000) para a escala de trabalho (1:50.000), considerando o sistema de projeção WGS 1984 UTM 23 Zona Sul, para tanto, foram utilizadas imagens TM/ Landsat 5 (3R,4G e 5B). Os limites das microbacias foram estabelecidos de forma automatizada, através de modelagem com base em dados georreferenciados do relevo, derivados de produtos *Shuttle Radar Topography Mission* (DTED 90 metros), onde o limite é traçado com base nos valores altimétricos presentes nas imagens de radar, tal como estabelecido na metodologia utilizada por Watrin et al (2009).

Para a análise da vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos, foi utilizada a metodologia proposta por Tricart (1977), adaptada por Crepani *et al.* (2001). Assim, foram compilados para as microbacias de estudo os seguintes mapas temáticos: uso e cobertura do solo, pedologia, geomorfologia, geologia, declividade e clima (precipitação anual).

Cada unidade geoambiental foi analisada individualmente, considerando-se os processos que influenciam o desenvolvimento da pedogênese e/ou morfogênese frente à morfodinâmica e expressando, assim, sua vulnerabilidade à erosão.

Unidade	Relação Pedogênese/Morfogênese	Peso
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Tabela 1 – Adaptada Crepani (2001).

Posteriormente, foi atribuído um determinado peso de fragilidade para cada feição, baseado em Crepani *et al.* (2001): as unidades geoambientais mais estáveis receberam valores mais próximos de 1,0 (prevalece a pedogênese); as intermediárias valores ao redor de 2,0 (há equilíbrio entre pedogênese e morfogênese) e as mais vulneráveis, valores próximos de 3,0 (prevalece a morfogênese), conforme é apresentado na tabela 1. Assim, foram gerados pesos de fragilidade considerando as unidades geoambientais presentes na microbacia de estudo (Tabela 1).

Uso e Cobertura		Pedologia		Declividade (%)	
Classes	Pesos	Classes	Pesos	Classes	Pesos
Floresta Antropizada	1,0	PAd - Argissolo Amarelo	2,0	0 - 3,5	1,0
	3,0	PVAd - Argiloso vermelho-amarelo	3,0	3,5 - 5,8	1,1
Campos Aluviais					
Capoeira Alta	1,5	GXbd - Gleissolo Háptico	1,2	5,8 - 8,2	1,2
Capoeira Baixa	1,9	CXbd - Cambissolo Háptico	1,5	8,2 - 10,3	1,3
	2,5	ESKg - Espodossolo Ferrihumilúvico	2,0	10,3 - 12,9	1,4
Cultura Agrícola					
Solo Sob Preparo	3,0	AR - Afloramento Rochoso	3,0	12,9 - 15,1	1,5
Pasto Limpo	2,0			15,1 - 17,4	1,6
Pasto Sujo	2,5			17,4 - 19,8	1,7
Corpos d'água	1,5				
Geologia		Geomorfologia		Precipitação (mm)	
Classes	Pesos	Classes	Pesos	Classes	Pesos
Formação Ipixuna	1,0	Dissecação Convexa 22	1,5	2300 - 2500	1,5
Grupo Barreiras	1,5	Dissecação Tabular	2,0		

Tabela 2. Pesos de vulnerabilidade à erosão associados às unidades geoambientais.

Fonte: Adaptada Crepani (2001).

Após a reclassificação das unidades geoambientais, realizou-se a álgebra entre os mapas temáticos selecionados. Os novos temas gerados foram convertidos para o formato “GRID” e, então, foi extraída uma média aritmética entre os valores de cada “Geoclasse”, resultando em um valor final. Esse valor representa a posição de cada unidade geoambiental na escala de vulnerabilidade à erosão (Tabela 3). Para tanto, foi utilizada a sub-ferramenta “raster calculator” do programa ArcGIS, sendo inserida a seguinte expressão (Equação 1):

$$V = \frac{\sum(G, GEO, C, P, D, UC)}{6} \quad (1)$$

Onde: V = vulnerabilidade; G = geologia; Geo = geomorfologia; C = clima; P = Pedologia; D = declividade; e UC = uso e cobertura do solo.

De posse da média entre os mapas temáticos gerados (expressa em valores decimais), realizou-se a padronização da legenda temática com o grau de vulnerabilidade das feições,

conforme apresentado na Tabela 2. O produto final obtido, após essa operação, foi o mapa de vulnerabilidade dos solos à erosão para a área de estudo.

Intervalos	Valor representativo	Grau de Vulnerabilidade
1,0 – 1,4	14	Estável
1,5 – 1,9	19	Moderadamente estável
2,0 – 2,4	24	Moderadamente vulnerável
2,5 – 3,0	30	Vulnerável

Tabela 3 – Escala de vulnerabilidade a erosão das unidades territoriais.  
Fonte: Adaptada Crepani (2001).

Por fim, foi realizado o planejamento territorial para a microbacia em estudo, considerando uma nova operação algébrica, que é expressa pela soma entre o mapa de vulnerabilidade natural dos solos à erosão e o mapa de uso e cobertura do solo, no qual são correlacionadas as informações espaciais entre as unidades geoambientais obtidas (Tabela 4). Como produto final, foi gerado o mapa para o planejamento territorial da área de estudo e, com isso, fez-se possível a realização das quantificações em área das classes formadas.

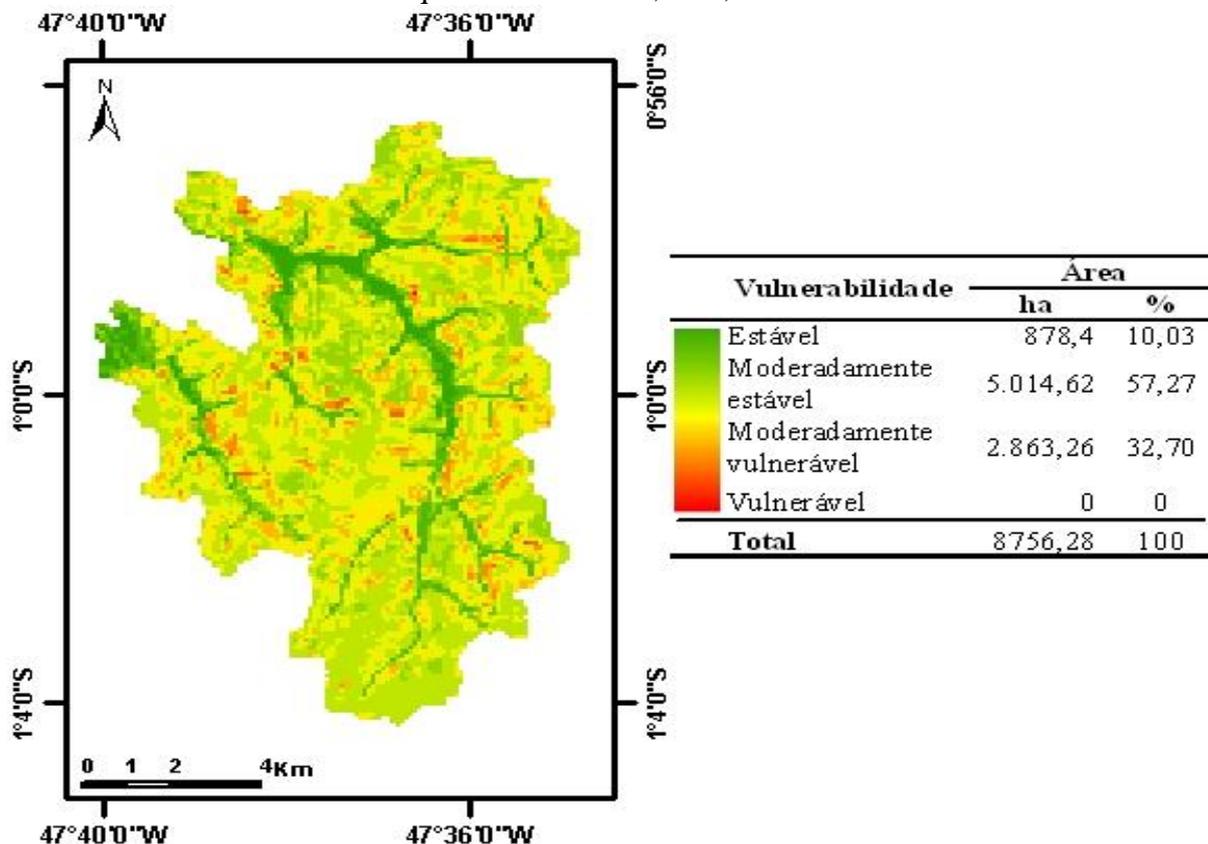
Destinação das Áreas	Estabilidade	Uso/cobertura do solo
Preservação	Independente do grau de vulnerabilidade	Independente do uso
Prioritárias a recuperação e preservação	Alta Vulnerabilidade	Tipologias Florestais
Prioritárias a recuperação e conservação	Moderadamente Vulnerável	Solo Exposto/sob preparo
Uso monitorado	Moderadamente Estável	Uso consolidado
Uso sustentável	Estável	Capoeira Baixa

Tabela 4. Definição das unidades de mapeamento do Zoneamento Ambiental.

Após a obtenção dos resultados dos mapeamentos temáticos, foram realizadas quatro visitas às áreas de estudo visando realizar a validação dos resultados alcançados. Logo, a primeira visita técnica, teve como objetivo realizar o reconhecimento dos padrões de uso e cobertura do solo presentes nas duas microbacias objetos da pesquisa. É importante ressaltar, que todo apoio logístico e financeiro foram fornecidos pela Embrapa Amazônia Oriental juntamente com o CNPq, que forneceu uma bolsa de pesquisa para o projeto Gestabacias, onde desenvolveu esta pesquisa.

## 1. Resultados e Discussão

A Mesobacia do igarapé Timboteua-Buiúna é caracterizada como moderadamente estável aos processos erosivos, posto que em 57,27% de sua área total foram encontrados valores de vulnerabilidade dos solos que variam entre 1,4 e 1,9.



**Figura 17:** Mapa Vulnerabilidade da microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna.

**Fonte:** Embrapa, 2010.

Concorreu para tal comportamento o fato de a estrutura litológica, bem como a geomorfologia da área de estudo, caracterizar-se por apresentar relativa estabilidade frente aos processos de dissecação. Isso possibilita que a Mesobacia não tenha seus processos morfodinâmicos intensificados.

Cabe ressaltar, ainda, que as áreas moderadamente estáveis estão concentradas nas regiões onde são desenvolvidas as atividades produtivas, sobretudo pastagens cultivadas (pasto sujo), mas também pequenos cultivos agrícolas e às áreas de pousio agrícola (capoeira baixa).

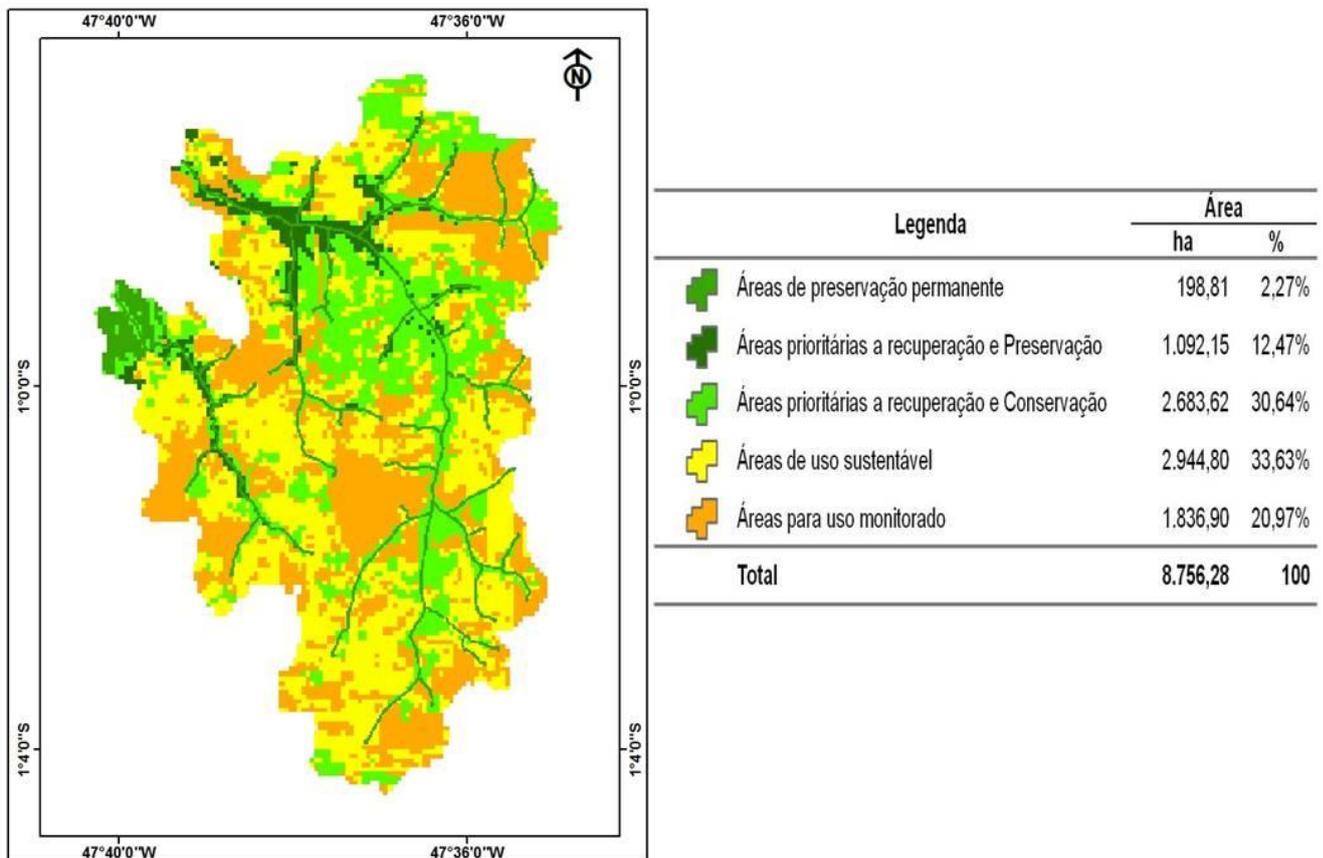
As unidades mais estáveis (10,03%) estão associadas às áreas com tipologia florestal. Segundo Guerra (1998), tal comportamento deve-se ao fato de que a cobertura vegetal, com alta biomassa, evita o contato direto das gotas de chuva com o solo e diminui os efeitos do escoamento superficial laminar. Portanto, a presença da vegetação relativamente densa, em associação com outras variáveis ambientais consideradas neste trabalho, acaba colaborando para minimizar os processos erosivos.

As unidades geoambientais consideradas moderadamente vulneráveis aos processos erosivos (32,70% do total) estão situadas, em sua maioria, em áreas de pastagens cultivadas (pasto limpo) e de vegetação secundária (capoeira baixa), além de uma menor parcela localizada nas calhas dos igarapés tributários do Timboteua-Buiúna. No caso das pastagens,

apesar de a princípio o sistema radicular vigoroso minimizar os impactos do escoamento superficial da água pluvial (infiltração), pela sua alta capacidade de retenção hídrica, existem outras forças atuando para potencializar os processos erosivos como o pisoteio do gado e a baixa biomassa aérea, características das gramíneas.

Na Figura 19, é apresentado o mapa de Zoneamento Ambiental para o planejamento territorial da microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna. A partir desses produtos pode-se perceber que a unidade territorial mais representativa para a microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna são as áreas indicadas para Uso Sustentável, que ocupam uma parcela de 33,63% do total da área da microbacia. Estas áreas foram classificadas como estáveis frente aos processos erosivos. Principalmente por apresentar uma quantidade significativa de cobertura vegetal e se encontrarem em condições fisiográficas favoráveis a implantação e expansão das atividades antrópicas. Para esta microbacia, tendo em vista as características de uso e ocupação do solo, estas áreas tem significativo potencial para expansão da produção agropecuária dos pequenos e médios produtores familiares presentes na microbacia.

Na microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna, estas áreas indicadas ao Uso Monitorado, representam 20,97% do total da microbacia. Sendo que, neste caso estas áreas estão localizadas em pastagens manejadas (Pasto limpo e Pasto sujo) bem como áreas de agricultura, apresentando moderada estabilidade aos processos erosivos, por estar em condições fisiográficas que favorecem os processos pedogenéticos, tais como: relevo plano a suave ondulado, baixa declividade do terreno, solos classificados como estáveis, dentre outras características.



**Figura 19:** Zoneamento Ambiental da microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna.

**Fonte:** Embrapa, 2010.

As Áreas Prioritárias à Recuperação e Conservação ocupam uma parcela modesta da microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna, onde esta classe ocupa 30,64% da área. Esta classe, referem-se às unidades consideradas moderadamente vulneráveis. Caso estejam submetidas a intervenções antrópicas, sugere-se que essas áreas sejam prioritariamente destinadas à recuperação e direcionadas então à conservação. No entanto, no caso de ocorrerem em áreas de ocupação consolidada e produtiva, recomenda-se que as mesmas sejam direcionadas a averbação como áreas de Reserva Legal (RL), ou tenham seus usos menos intensificados e mais restritos.

Por sua vez, as áreas de maior vulnerabilidade (independentemente do uso), bem como as áreas com tipologias florestais, foram rotuladas como Áreas Prioritárias à Recuperação e Preservação 12,47% da área da microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna. No caso de terem passado por intervenções antrópicas predatórias, tais áreas necessitam primeiramente ser recuperadas para que só então possam ser destinadas à preservação. Assim, seu uso deve ser restringido à regeneração florestal, a partir de reflorestamento ou a implantação de sistemas agroflorestais (SAF's), ou mesmo averbação como RL.

As Áreas de Preservação Permanente, que corresponde a apenas 2,27% da área da microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna, independente do grau de vulnerabilidade a erosão, bem como do tipo e uso e cobertura do solo em que se encontrem, devem ser preservadas, ou no caso de submetidas à intervenção antrópica, recuperadas, pois além de poderem alcançar alto grau de vulnerabilidade aos processos erosivos, as mesmas são resguardadas pelo Código Florestal Brasileiro, sendo que a supressão dessas áreas fere aos interesses e bem comum da sociedade, o que é constitui enquanto crime ambiental.

## 7. CONCLUSÕES

A retirada da cobertura vegetal pelas atividades antrópicas torna o solo mais vulnerável aos processos intempéricos, fazendo com que esses atuem com maior intensidade sobre essas áreas, fragilizando-as. Esses processos podem ser intensificados ainda mais quando ocorrem em áreas localizadas em encostas ou mesmo nos vales encaixados, quando situados em altitudes mais elevadas.

Os processos intempéricos podem ser encontrados nas mais variadas formas de uso do território, no entanto, uma utilização predatória dos ambientes e recursos nele presentes, pode ocasionar uma aceleração desses processos, que será proporcional às condições fisiográficas sob as quais as unidades geoambientais se encontram.

Apesar de localizadas em áreas bastante antropizadas pela colonização relativamente antiga, tanto a microbacia do igarapé Timboteua-Buiúna quanto a do igarapé Peripindeua podem ser classificadas como moderadamente estáveis, haja vista os resultados do prognóstico realizado de vulnerabilidade dos solos à erosão. A relativa estabilidade das unidades geoambientais possibilita que prevaleçam, em grande parte da microbacia, os processos pedogenéticos em detrimento dos processos morfogenéticos.

Os processos intempéricos podem ser encontrados nas mais variadas formas de uso do território, no entanto, uma utilização predatória dos ambientes e recursos nele presentes, pode ocasionar uma aceleração desses processos, que será proporcional às condições fisiográficas sob as quais as unidades geoambientais se encontram.

As áreas menos vulneráveis à erosão estão localizadas em áreas com cobertura vegetal relativamente preservada e de altitude mais baixa, comportamento esse inverso ao observado para as áreas que possuem vulnerabilidade mais elevada, onde prevalece a morfogênese em detrimento dos processos pedogenéticos.

No contexto do Zoneamento Ambiental, a microbacia do igarapé Timboteua-buiúna, uma parcela significativa de sua área total foi indicada para uso sustentável, tendo em vista a

grande quantidade de áreas com vegetação secundária, que já estão inseridas indiretamente ou diretamente no processo produtivo. Vale salientar que nessas análises, além de questões relacionadas ao uso da terra e à vulnerabilidade dos solos à erosão, deve-se também considerar a legislação ambiental vigente e as diretrizes nela estabelecidas.

### **Referências Bibliográficas**

Andreoli, C.V. e Souza, M.L.P. Gestão ambiental por bacias hidrográficas. In: MAIMON, D.(Coord.). **Ecologia e Desenvolvimento**. APED. Rio de Janeiro. p. 99-118. 1992.

Adger, W.N. 2006. "Vulnerability". *Global Environmental Change*, 16, 268-281.

Barrella, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: Rodrigues, R.R.; Leitão Filho; H.F. (Ed.) **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

Botelho, R.G.M. Planejamento ambiental em microbacias hidrográficas. In: Guerra, A.J.T; Silva, A.S.; Botelho, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p 269 –300.

Calijuri, M.C.; Bubel, A.P.M. Conceituação de Microbacias. In: Lima, W de P.; Zakia, M.J.B. (Orgs.) **As florestas plantadas e a água. Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento**. São Carlos: Ed. RiMA, 2006. 226p.

Cecílio, R.A.; Reis, E.F. **Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas**. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural, 2006. 10p.

Cristofolletti, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Rev. Geomorfol**, Campinas, v.18, n.9, p.35-64, 1969.

Crepani, E.; Medeiros, J.S.; Azevedo, L.G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001. 25p.

ESRI. ArcGIS: a complete integrated system. Disponível em <<http://www.esri.com/software/arcgis/>>. Acesso em: jan. 2010.

Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977. 91p.

Watrin, O.S.; Gerhard, P.; Maciel, M.N.M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização de base econômica familiar, no Nordeste do Estado do Pará. **Geografia**. v. 34, n. 3, set/dez. 2009.