

Análise da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Fátima – TO

Warley da Costa Arruda ¹

Ricardo Ribeiro Dias ²

Eduardo Quirino Pereira ³

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA
Av. Efigênio Sales 2239 Cep 69.060-020
warleyarruda@hotmail.com

² Universidade Federal do Tocantins – UFT
Av. NS 15 ALC NO 14, Cep 77.020-210
ricdias@uft.edu.br

³ Secretaria do Planejamento e Meio Ambiental - SEPLAN-TO
Praça dos Girassóis s/nº Esplanada das Secretarias - Centro - Palmas – TO Cep 77.002-001
quirino@seplan.to.gov.br

Abstract. This paper aim describes the method planned to ecological-economic zoning (ZEE) and applied in a cerrado environment. The methodology for studying the vulnerability in the municipality of Fátima (TO) was based on Tricart's ecodynamic concepts (Tricart, 1977), on the Ecological and Economical Zoning integrated studies developed in Crepani et al. (2001). The digital processing of the Landsat images was used as an “anchor” for editing the Information Layers and for building the data base. Spatial analyses were carried out with the Spring and ArcGis. The results of the analysis obtained areas classified as middling stable/vulnerable to the natural erosion process (78,07%), moderately vulnerable (9,78%), vulnerable (2,7%) and moderately stable (9,45%).

Palavras-chave: remote sensing, GIS, vulnerability, watersheds, sensoriamento remoto, SIG, vulnerabilidade, bacias hidrográficas.

1. Introdução

Na Amazônia Legal, esforços têm sido realizados para promover o desenvolvimento sustentável dos recursos naturais. Um dos instrumentos governamentais usados na organização territorial é o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE), que tem por princípio organizar, planejar e abordar de forma sistêmica o uso dos recursos naturais (Decreto n.º 4297/2002; Crepani et al., 2001).

No Tocantins, dado às características peculiares do cerrado, que notadamente favorece a prática de atividades agropecuárias, vem se buscando o estabelecimento de referenciais de uso e ocupação das terras. Este processo teve início com a instituição do programa ZEE, coordenado e executado pela Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente (SEPLAN), através do qual se busca desenvolver trabalhos que sejam capazes de subsidiar o processo de ordenamento do território tocantinense e a tomada de decisão a nível governamental (Dias et al., 1996; Pereira e Brito, 1997; Pereira, 2000; Bellia et al., 2003).

Para se chegar aos referenciais de uso e ocupação das terras é preciso entender a dinâmica das paisagens frente aos processos de erosão natural (perda de solo) conforme os conceitos de ecodinâmica de Tricart (1977) e de Crepani et al. (2001) contidos na metodologia detalhada para execução do ZEE pelos estados da Amazônia Legal (MMA e SAE, 1997). Para a aplicação dessa metodologia é necessário um sistema integrado composto por imagens

Landsat/TM, mapas temáticos e um banco de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Visando contribuir com o planejamento do uso da terra no município de Fátima (TO), desenvolveu-se este trabalho de mapeamento da vulnerabilidade das paisagens à perda de solo empregando-se as técnicas de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e de integração de dados temáticos em escala 1:100.000 segundo os recortes de sub-bacias hidrográficas.

2. Material e método

O município de Fátima (383,30 km²) fica na região central do estado do Tocantins, especificamente na Área-Programa IX (Região Metropolitana de Palmas), entre as coordenadas geográficas 10° 40' 00" e 11° 00' 00" de latitude sul e 48° 45' 00" e 49° 05' 00" de longitude oeste (**Figura 1**). Distante da capital do estado (Palmas), por cerca de 140 km, Fátima é atravessado pela rodovia BR-153 (Belém-Brasília) e é o segundo menor dos municípios que compõem a Área-programa IX. Detentor de áreas com solos favoráveis ao desenvolvimento das atividades agropecuárias, o município apresenta-se com elevado grau de antropismo e atividades socioeconômicas cujo destaque é o setor terciário (comércio).

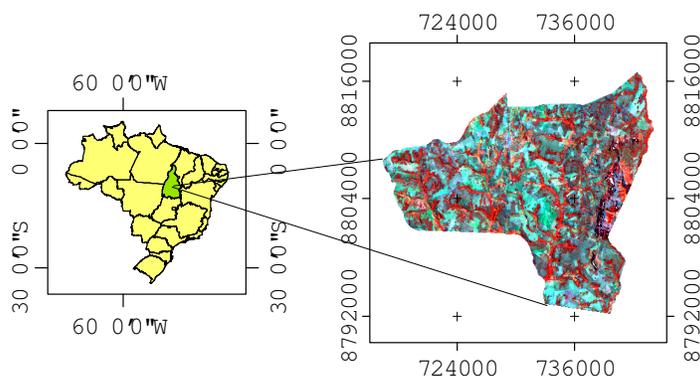


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

O mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo obedeceu as seguintes etapas:

Reunião e entrada de dados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) – promoveu-se a reunião de todos os dados disponíveis para o município de Fátima, tanto em meio digital quanto em papel: cartas topográficas (1:100.000); mapas temáticos (1:250.000) de geologia, relevo, solos, cobertura vegetal e uso da terra; e imagens de satélite TM/Landsat da base de dados da Seplan/DZE. Após a reunião dos dados, iniciou-se o processo de estruturação de uma base de dados, na escala 1:100.000, usando os sistemas Spring, ArcGIS e EASI/PACE.

Processamento digital de imagem – as imagens TM/Landsat foram georreferenciadas ao sistema de coordenadas UTM usando o EASI/PACE e um total de 40 pontos de controle distribuídos ao longo da rede de drenagem. Manipulou-se as imagens por meio dos realces de ampliação linear de contraste, composição colorida RGB, transformação IHS, decorrelação e transformação por componentes principais disponíveis no sistema EASI/PACE, buscando a identificação e seleção do melhor produto para extração das unidades territoriais básicas, conforme metodologia de Crepani et al. (2001).

Revisão, reinterpretação e elaboração de mapas temáticos – as atividades referentes à revisão e reinterpretação dos mapas já existentes foi realizada para a geração de mapas com contatos geológicos, geomorfológicos e de solos compatibilizados e coincidentes com as feições texturais e espectrais das imagens TM/Landsat. Elaborou-se mapas de declividade, dissecação vertical, dissecação horizontal, bacias hidrográficas e unidades territoriais básicas. Os mapas de geologia, solos e geomorfologia foram revisados aplicando-se as metodologias já consagradas para estes tipos de produtos cartográficos, ao passo que o mapa de declividade foi elaborado a partir do método descrito por De Biase (1992). Neste método constrói-se um ábaco e o desloca sobre as cartas topográficas entre duas curvas de nível, fazendo coincidir a direção das perpendiculares do ábaco com a linha de maior declive da vertente, procurando-se qual segmento do ábaco coincide com a distância entre as duas curvas de nível. A superfície da carta compreendida entre duas curvas de nível e duas linhas de maior declive, corresponde aos limites das classes.

O mapa de dissecação vertical, que equivale ao aprofundamento da drenagem, foi gerado considerando as classes propostas por Crepani et al. (2001). O mapa foi elaborado a partir da diferença de altitude do relevo em cada uma das unidades territoriais básicas, por meio da utilização das cartas topográficas, de declividade e de algumas medições altimétricas em campo. Para a elaboração do mapa de dissecação horizontal, dissecação do relevo pela drenagem, foram seguidos os passos: (i) complementação da rede de drenagem utilizando-se as imagens TM/Landsat; (ii) medição perpendicular das distâncias entre interflúvios; (iii) delimitação do perímetro das classes de dissecação.

O mapeamento da cobertura e uso da terra foi realizado com base na definição legenda preliminar, trabalhos anteriores de cobertura da terra e de vegetação, interpretação de imagens Landsat e segundo o sistema de classificação de Anderson et al. (1976) com modificações.

O mapa de microbacias hidrográficas foi gerado complementando-se a rede de drenagem das cartas topográficas por meio das imagens TM/Landsat. Na sequência, baseado nas curvas de nível, delimitou-se 7 (sete) microbacias de 2º e 3º ordem conforme Strahler (1952) equivalentes aos ribeirões: Conceição, Enseada, Feliciano, Manguinho, dos Bois, Faisqueiro e Gameleira.

Finalmente fechando a fase de confecção de mapas, elaborou-se o mapa de unidades territoriais básicas com o mapeamento das unidades por meio da interpretação de imagens de satélite e a partir de sua classificação em duas categorias básicas: unidades de paisagem natural e polígonos de ação antrópica.

Determinação dos valores de vulnerabilidade dos temas geologia, geomorfologia, solos, vegetação e climas – para a definição da vulnerabilidade dos mapas temáticos, utilizou-se os mesmos critérios de Crepani et al. (2001), quais sejam: (i) para geologia, a história da evolução geológica da região e as informações relativas ao grau de coesão das rochas; (ii) para geomorfologia, a análise dos índices morfométricos; (iii) para solos, a maturidade; (iv) para vegetação, a densidade de cobertura vegetal; (v) para o clima, a pluviosidade total, intensidade pluviométrica e distribuição sazonal.

Realização de trabalho de campo e reinterpretação de dados - foram observados 61 pontos em duas etapas de trabalhos de campo. O primeiro campo, com 32 pontos teve como principal objetivo subsidiar a identificação das classes de cobertura da terra para a elaboração de uma chave de interpretação, possibilitando o estudo comparativo das unidades de paisagem conhecidas com áreas desconhecidas localizadas na mesma imagem, e observações preliminares de solos, de geologia e de geomorfologia. No segundo campo, descreveu-se 29 pontos com o objetivo verificar os pontos de dúvida dos planos de informações de cobertura da terra, das associações de solos, dos contatos geológicos e observar o grau de intemperismo das rochas. Os mapas foram revisados e corrigidos de acordo com as informações de campo, tendo sido promovidos os ajustes necessários nas legendas dos mapas temáticos.

Elaboração do mapa de vulnerabilidade das paisagens à perda de solo - o mapa de vulnerabilidade das paisagens à perda de solo (**Figura 2**) foi elaborado utilizando o mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTB) com os valores de vulnerabilidade de cada um dos atributos geologia, solos, cobertura da terra, geomorfologia e clima. Montou-se uma tabela de atributos no programa ARCVIEW, para o plano de informação UTB. Inicialmente, criou-se campos para geologia, solos, cobertura da terra, geomorfologia e clima e de valores de vulnerabilidade para cada um dos temas mencionados. Em seguida, cada uma das UTBs foi classificada em termos do seu conteúdo temático e dos respectivos valores de vulnerabilidade de cada tema. Determinou-se a vulnerabilidade final das UTBs, de acordo com Crepani et al. (2001), calculando-se a média dos valores de vulnerabilidade de cada UTB. Finalizando o mapa, agrupou-se os valores de vulnerabilidade das UTBs mediante reclassificação de polígonos nas seguintes classes: vulnerável, moderadamente vulnerável, medianamente estável/vulnerável, moderadamente estável e estável.

3 Resultados e discussão

A discussão dos resultados foi dividida em três etapas: 1) banco de dados, 2) mapas de serviço e 3) mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo.

Banco de dados

Um dos objetivos deste trabalho foi a elaboração de uma base de dados geográfica, para o município de Fátima (TO), estruturada nos sistemas de informações geográficas ARC/Info e ARCVIEW. Esta base de dados, contendo 12 planos de informação, tem como principal função subsidiar: 1) as tomadas de decisão do poder executivo municipal, na elaboração de planos e programas, e 2) a continuidade do planejamento de uso e ocupação do solo do município.

Mapas de serviço

Os mapas de serviços foram elaborados em função da necessidade das informações em escala compatível com a do mapeamento da vulnerabilidade natural à perda de solo do município de Fátima. Além de permitir a elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo, estes mapas foram fundamentais para a melhor compreensão das interrelações dos componentes das paisagens do município.

Mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo

De acordo com a metodologia utilizada foram identificadas 4 (quatro) classes de vulnerabilidade natural à perda de solo: (1) Moderadamente Estável; (2) Medianamente Estável/Vulnerável; (3) Moderadamente Vulnerável e (4) Vulnerável.

A **Figura 2** ilustra a distribuição espacial das classes de vulnerabilidade, enquanto a **Tabela 1** mostra suas extensões em áreas e seus respectivos percentuais em cada microbacia.

Analisando a **Tabela 1**, verifica-se que as classes com as maiores extensões são, respectivamente: Medianamente Estável/Vulnerável (279,71 km²); Moderadamente Vulnerável (35,04 km²); Moderadamente Estável (42,22 km²) e Vulnerável (0,06 km²).

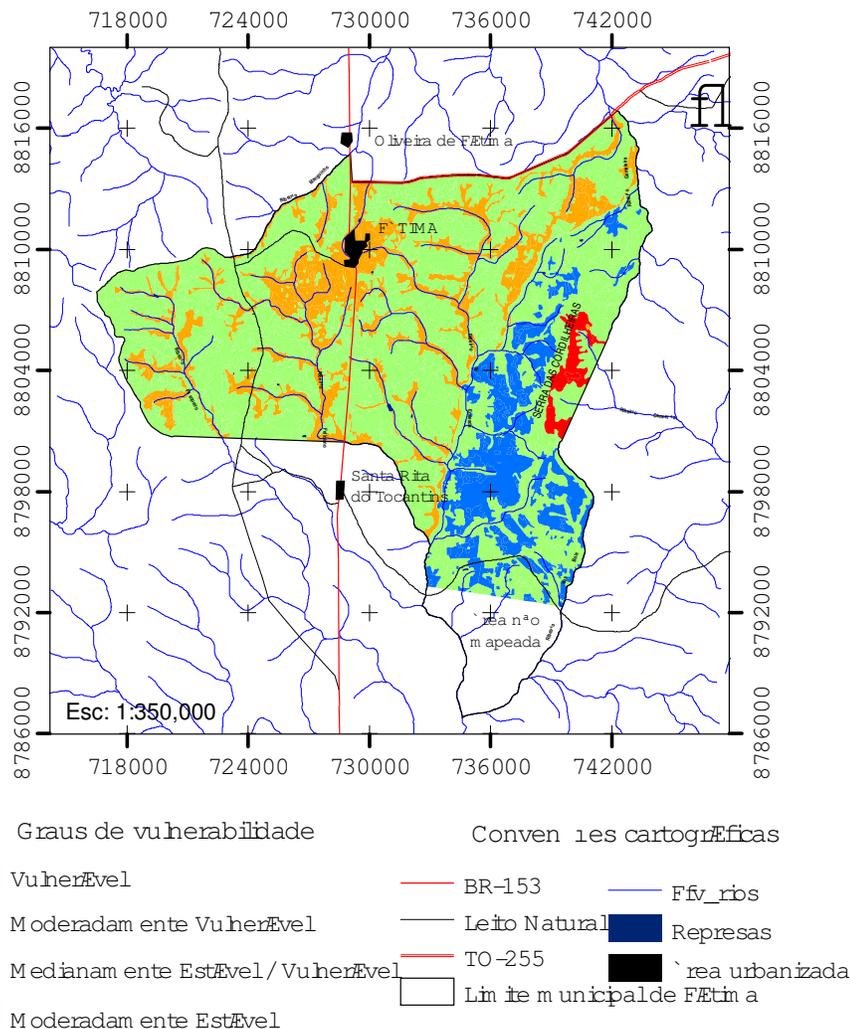


Figura 2 – Mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo da área de estudo.

Tabela 1 – Distribuição das classes de vulnerabilidade natural à perda de solo por microbacias das áreas mapeadas para o município de Fátima-TO.

Classes de Vulnerabilidade	ÁREA DAS MICROBACIAS														MUNICÍPIO	
	Ribeirão Conceição		Ribeirão dos Bois		Ribeirão Enseada		Ribeirão Faisqueiro		Ribeirão Feliciano		Ribeirão Gameleira		Ribeirão Manguinho		Área Total Classes	
	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%	ha
Vulnerável	0,7	6,0	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6,0
Mod. Vulnerável	59,4	488,0	2,8	63,0	5,8	1072,0	13,7	540,09	9,1	617,0	15,2	591,0	6,3	132,0	9,1	3503,0
Med. Estável Vulnerável	39,9	327,3	38,8	874,0	67,2	12551,3	82,8	3263,9	86,9	5689,6	83,6	3243,2	88,0	1841,8	72,8	27971,1
Mod. Estável	...	...	22,6	509,0	17,4	3255,0	3,5	137,0	4,0	268,0	1,2	44,0	0,5	10,0	11,0	4223,0
Área Urbanizada	...	...	...	...	0,0	14,2	...	...	...	...	...	...	5,1	108,2	0,3	122,4
Área não Mapeada	...	...	35,8	807,8	6,9	1670,9	...	...	...	...	...	...	...	...	6,8	2588,7
Represas	...	...	...	...	0,0	14,6	0,0	3,5	0,0	3,7	0,0	1,9	0,1	2,1	0,0	25,8
Área e % por microbacia	100,0	821,3	100,0	2253,8	100,0	18688,0	100,0	3944,4	100,0	6758,3	100,0	3880,1	100,0	2094,1	100,0	38440,0

A classe predominante, Medianamente Estável/Vulnerável, representa 78,07% (279,71 km²) da área mapeada e distribui-se por todas as microbacias, destacando-se as dos Ribeirões Enseada (125,51 km²), Feliciano (56,90 km²), Gameleira (32,43 km²) e Faisqueiro (32,64 km²), respectivamente. Esta classe corresponde às unidades abrangidas pelo Complexo Rio dos Mangues e Suíte Matança, por relevo plano a suave ondulado, Latossolos, Plintossolos, Petroplintossolos e solos hidromórficos, e por vegetação de pasto, campo cerrado, formação ciliar e campo.

A classe moderadamente vulnerável, com 35,04 km² corresponde a 9,78% da área mapeada e cobre pequenas áreas em todas as microbacias. Esta classe ocorre expressivamente nas microbacias dos Ribeirões Enseada (10,72 km²), Feliciano (6,17 km²), Faisqueiro (5,4 km²), Gameleira (5,91 km²) e Conceição (4,88 km²). Esta classe ocorre em unidades compostas, principalmente, por rochas da Formação Pimenteiras, Grupo Estrondo e Complexo Rio dos Mangues. Os solos que aparecem sobre estas litologias são predominantemente: Litólicos, hidromórficos e concrecionários.

As classes moderadamente estável e Vulnerável representam 11,81% da área do município e ocupam juntas 42,28 km². A primeira com 42,22 km² tem ocorrência nas microbacias dos Ribeirões dos Bois (5,09 km²), Enseada (32,55 km²), Faisqueiro (1,37 km²), Feliciano (2,68 km²), Gameleira (0,44 km²) e Manguinho (0,10 km²), enquanto a segunda só aparece na microbacia do Ribeirão Conceição com 0,06 km², aproximadamente. O grau de vulnerabilidade estável encontra-se sobre rochas da unidade litoestratigráfica Suíte Matança. Os solos que cobrem esta classe são os latossolos, principalmente latossolo vermelho-escuro. A vegetação que faz a proteção destes solos são predominantemente campo cerrado, encontradas em situação de relevo plano.

4. Conclusão

De acordo com os objetivos estabelecidos são permitidas as seguintes conclusões:

uma base de dados digitais estruturada em SIG permite uma maior agilidade, eficácia e a possibilidade da atualização das informações, bem como favorece a obtenção de subsídios de maneira organizada para o poder executivo municipal, na elaboração de planos, programas e projetos de desenvolvimento agropecuário e elaboração de plano diretor municipal. Além disto uma base de dados dá as condições de continuidade dos estudos de planejamento de uso e ocupação do solo do município, com o ordenamento ou reordenamento de atividades do meio rural;

mapas de serviços devem ser elaborados em mapeamentos de vulnerabilidade com a compatibilização de unidades visando reduzir o número de polígonos espúrios quando das combinações de mapas (sobreposição), e por permitirem uma melhor compreensão das interrelações dos componentes das paisagens da área de estudo;

a avaliação da vulnerabilidade em ambiente SIG é otimizada pelas facilidades de recuperação, reclassificação e operações de cruzamento, sobreposição e cálculo de área dos planos de informações;

as informações das imagens TM/Landsat 5, sensor de média resolução espacial, ainda se constituem em uma ferramenta fundamental no estudo das unidades de paisagens e na identificação dos limites dos mapas de serviços;

os resultados obtidos, demonstram que a metodologia usada para a obtenção do mapa de vulnerabilidade pode ser viável para uso em avaliações de fragilidade de unidades de paisagem, apesar de usar a média aritmética simples dos valores de vulnerabilidade de cada mapa temático. Tal fato é comprovado, uma vez que as classes de vulnerabilidade mapeadas mostraram-se compatíveis com as observações de campo efetuadas na área de estudo.

Agradecimentos

Ao Secretário da Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente (SEPLAN), Prof. Dr. Lívio William Reis de Carvalho e ao Diretor de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE), Ricardo Ribeiro Dias, pela amizade e pela disponibilização do Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Ao amigo e co-orientador Eduardo Quirino, aos demais colegas da instituição e ao professor DSc. José Ramiro Lamadrid Márón.

Referências

- Anderson, J.R.; Hardy, E.E.; Roach, J.T.; Witmer, R.E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Rio de Janeiro: IBGE, 1976. 78 p.
- ARCVIEW GIS for Windows. Version 3.2a [S.I.]: **Environmental Systems Research Institute, Inc.**, 1996-2000. 2 CD-ROM.
- BELLIA, V. et al. **Programa de gestão territorial do Norte do Estado do Tocantins**. Palmas: Seplan/DZE, 2003. Organizado por Ricardo Ribeiro Dias e Vitor Bellia. Projeto de Gestão Ambiental Integrada Bico do Papagaio. Zoneamento Ecológico-Econômico do Bico do Papagaio.
- BRASIL. Decreto 4297 de 10 de julho de 2002. Regulamenta o art. 9o, inciso II, da Lei no 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, 2002.
- Costa, J. B. S. Aspectos lito-estruturais e evolução crustal da região centro-oeste de Goiás. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35., v. 5, 1988, Belém. **Anais...**
- Crepani, E.; Medeiros, J. S. de ; Azevedo, L. G. de; Hernandez Filho, P.; Floreszano, T. G.; Duarte, V. **Sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 124 p. (INPE-8454-RPQ/722).
- De Biase, M. A. Carta clinográfica: métodos de representação e sua confecção. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n. 6, p. 45 - 60, 1992.
- Dias, R. R.; Rocha F. H.; Pereira, E. Q.; Martins, S. D.; Resende, C. A.; Silva, L. A. A análise ambiental da área de influência das rodovias TO-050, TO-280, TO-040, estado do Tocantins, através de técnicas de geoprocessamento. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 8., 1996, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1996.
- MMA; SAE. **Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal – MMA, Secretaria de Coordenação da Amazônia – SCA, Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República – SAE/PR, Responsáveis Técnicos Dra. Bertha K. Becker e Dr. Cláudio A. G. Egler, Laboratório de Gestão do Território da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1997.
- Pereira, E. Q. **Integração de parâmetros morfodinâmicos e adequação de uso das terras para o ordenamento territorial da bacia do Rio Muricizal – Tocantins**. 2000. 106 p. (INPE-12317-TDI/990). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2000.
- Pereira, E. Q.; Brito, R. B. **Análise da vulnerabilidade de unidades de paisagem natural à perda de solo, através da aplicação de sensoriamento remoto**. Palmas: UNITINS. 1997.
- SEPLAN. **Plano de Informação de Pedologia SC.22-ZB Palmas**. Sistema Estadual de Planejamento e Meio Ambiente. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (SEPLAN/DZE). Convênio Secretaria de Transportes e Obras/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/ Núcleo de Monitoramento Ambiental e de Recursos Naturais por Satélite/Sistema Estadual de Planejamento e Meio Ambiente. Campinas, NMA/EMBRAPA, 1997.
- Strahler, A. N. Dynamic basis of geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923 - 938, 1952.
- Tricart, J. **Ecocinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977. 91 p.