

Diagnóstico da fragilidade ambiental do Alto curso da bacia hidrográfica do rio Pajeú – PE

Liwistone Galdino da Silva¹
Antonio Marcos dos Santos¹
Heverton Alves da Silva¹
Josiclêda Domicino Galvêncio¹

¹ Universidade Federal de Pernambuco – UFPE
Avenida Professor Moraes Rego, s/n
Cidade Universitária, CEP - Recife – PE, Brasil
lywistone@gmail.com
geo_fisica@yahoo.com.br
he.wasufpe@gmail.com
josiclea@hotmail.com

Abstract. This study aims to examine the degree of environmental instability, whose basic theory and method is an adaptation of the proposed ecodynamics, developed and disseminated Tricart (1977), as well as recent studies such as Empirical Analysis of the environmental fragility and disturbed areas developed by Ross (1994). This article aims at analyzing the typology and degree of environmental fragility of the river basin Pajeú in its upper course, which is located in Pernambuco state, Northeast Brazil, through the proposed methodology of the Empirical Analysis of the environmental fragility and Disturbances using is complex tools and techniques of remote sensing and geographic information system as instruments, such as image fusion of different sensors and satellites. To generate the classification of units ecodynamics took surveys of information relating to: land use (man-made element); relief structure represented by the steepness of the slopes and shapes; pedological structure represented by the climate and rainfall (elements of the Natural Physical Systems). Search with the results highlight the importance of the subject, the methodology and resources used for environmental planning, as well as support new studies on the region's semi-arid region based on adaptations to be made in the methodological basis employed in this scientific article.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, geology, sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

1.Introdução

Desde meados do século passado os efeitos do que se convencionou chamar de crise ambiental desperta entre os gestores públicos, na sociedade civil e entre os cientistas a necessidade de tomadas de decisões que visem proporcionar a estadia humana num ambiente terrestre menos impactante frente à tendência atual (Santos et al, 2010). No seio científico, várias são as propostas teóricas e metodológicas que vêm sendo desenvolvidas com o intuito de diagnosticar e apurar as fragibilidades dos mais diversificados ambientes levando em consideração as ocupações humanas e os Sistemas Físicos Naturais (Geossistemas), contribuindo assim, para ações governamentais.

Entre as propostas teórico-metodológicas encontra-se a Ecodinâmica, desenvolvida e divulgada por Tricart (1977), a qual trata-se de um modelo avaliativo das unidades territoriais com base no relação entre a pedogênese e a morfogênese, proporcionando sua classificação quanto ao grau de instabilidade ambiental. Nesta proposta, as Unidades de Paisagens podem ser classificadas em três categorias: os meios estáveis onde há predominância dos processos

pedogenéticos; os meios instáveis onde predominam os processos morfogenéticos e os meios integrados ou intermediários/transição entre as duas categorias citadas anteriormente.

Desde a divulgação do aporte teórico-metodológico da Ecodinâmica novas propostas de estudos com base na mesma vêm sendo desenvolvidos, principalmente, com a crescente acessibilidade dos dados e informações provenientes dos sensores orbitais. Entre os recentes estudos encontra-se a Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados desenvolvida por Ross (1994) e que vem sendo aplicada e adaptada a diferentes realidades paisagísticas, a exemplo dos estudos de Silveira (2005), Amaral (2005), Amaral e Ross (2009).

Amaral e Ross (2009) destacam que na proposta da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados faz-se o uso dos conceitos de Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e de Instabilidade Emergente, ambas classificadas em graus de fragilidade. Na primeira são relacionados os fatores naturais do território, enquanto que, para obtenção da Unidade de Instabilidade Emergente é relacionada à instabilidade potencial com a cobertura do solo e as intervenções proporcionadas pelas ações humanas.

Diante do exposto, anteriormente, centra-se o objetivo deste estudo, o qual visa analisar a tipologia do grau de fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Pajeú no seu alto curso através da proposta metodológica da Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados utilizando-se de ferramentas do sensoriamento remoto e de geoprocessamento. Busca-se com os resultados obtidos apontar a importância da temática, da metodologia e dos recursos empregados para o planejamento ambiental, assim como, subsidiar novos estudos na Região do semiárido brasileiro com base nas adaptações a serem realizadas na base metodológica empregada.

2. Metodologia de trabalho

A área de estudo está localizada entre as coordenadas de $37^{\circ}44'40''$ e $36^{\circ}59'59''$ de longitude oeste e entre $7^{\circ}16'5''$ e $7^{\circ}59'36''$ de latitude sul (Figura 1). Está inserida na Mesorregião do Sertão Pernambucano e exerce grande influência sobre a economia regional através do fornecimento de água para agricultura irrigada. De acordo com Lacerda et al. (2006) o clima predominante é o semiárido, com média anual pluviométrica variando entre 550 a 700 mm em boa parte da área de estudo e uma pequena faixa nas áreas mais elevadas ao norte e noroeste variando entre 700 a 850 mm. A temperatura média anual varia entre 22 a 23°C nas áreas elevadas a leste e noroeste e entre 23 a 24 °C na maior parte da área de estudo.

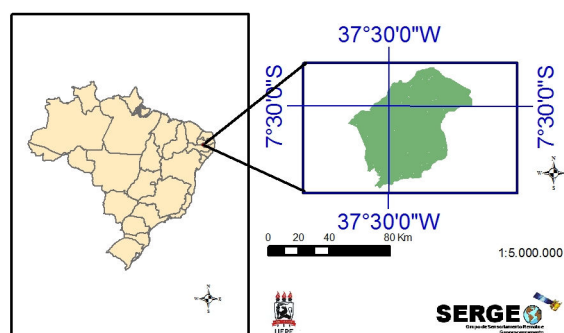


Figura 1: localização da área de estudo

Para gerar a classificação das unidades ecodinâmicas foram necessários levantamentos de informações referentes ao: uso do solo (elemento antrópico); estrutura do relevo representado pela declividade e formas das vertentes; da estrutura pedológica e do clima representado pela precipitação pluviométrica (elementos dos Sistemas Físicos Naturais).

O mapeamento do uso do solo procedeu-se com base na imagem orbital obtida pelo sensor LISS-3 (*Linear Imaging Self-Scanning Sensor - 3*) acoplado ao satélite *Resource Sat-1* e disponível pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial). A imagem data do mês de julho de 2009 (órbita 336 e ponto 081), com quatro bandas e uma resolução espacial de 23,5 metros. A escolha da imagem ocorreu devido à boa resolução espectral, a qual permite uma excelente visualização dos elementos espaciais em comparação com imagens obtidas por outros sensores a exemplo do TM e do ETM acoplados os satélites Landsat 5 e 7 respectivamente. Qualidade apontada no estudo de Jeganathan et al. (2010) como facilitadora para monitoramentos e análises ambientais.

A imagem selecionada foi georreferenciada e em seguida procedeu-se a classificação não-supervisionada utilizando o *software* ERDAS 9.3¹. Os dados obtidos após a classificação em formato *raster* foram transformados para dados *vetoriais* com auxílio do *software* ARCGIS 9.3². A nomenclatura adotada para cada classe de uso do solo mapeada foi baseada no Manual Técnico de Uso da Terra do IBGE (2006).

Durante o processo de classificação não-supervisionada houve áreas em que não foi possível identificar o tipo de uso do solo. Para solucionar o problema apresentado foi necessário a fusão da imagem gerada pelo sensor LISS-3 com um mosaico de 12 imagens originadas pelo sensor HRC (*High Resolution Câmera*) acoplado ao satélite CBERS-2B, todas datadas do mês de julho de 2009. A fusão entre imagens de satélite é apontada por Freitas et al. (2009) como uma técnica destinada à obtenção de qualidade de informações nas imagens, as quais não possuiria se fossem analisadas individualmente.

A fusão foi realizada com auxílio do *software* Arcgis 9.3 e o método adotado foi o IHS (*Hexacônica e Cilíndrica, Schatselarr*) considerado por Pohl et al. (1998) como o mais utilizado devido sua eficiência. A Figura 2 mostra a comparação entre a imagem do sensor LISS-3 não fusionada com a imagem resultante do processo de fusão ambas na escala de 1:8.000.

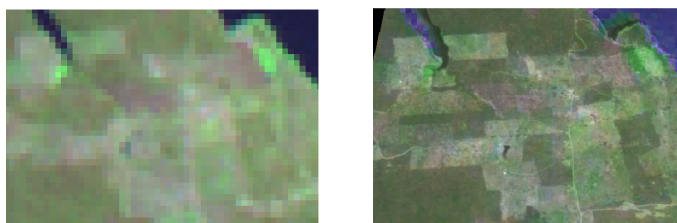


Figura 2: comparação entre a imagem do sensor LISS-3 sem fusão na escala de (esquerda) com a fusão entre as imagens dos sensores LISS-3 e HRC (direita)

Obtidas as informações sobre o uso do solo, o próximo passo foi a obtenção das variáveis dos Sistemas Físicos Naturais a serem utilizadas. Os dados da estrutura pedológica foram extraídos do banco de dados do ZAPE (Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco) no formato vetorial. As informações referentes à precipitação pluviométrica (fator clima) foram extraídas do estudo de Francis ET. al. (2006). Os dados referentes às características do relevo foram provenientes do processamento de duas imagens de radar (cartas SB-24-Z-C e SB-24-Z-D) geradas pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography*) com resolução espacial de 90 metros. A partir das referidas imagens, obteve-se a declividade da área de estudo e o modelo sombreado do terreno, o qual contribuiu na identificação das vertentes na área de estudo, processos realizados com auxílio dos *softwares* ENVI 4.5³ e do

¹ Licenciado para o Laboratório de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (SERGEO) da UFPE.

² Também Licenciado para o SERGEO.

³ Licenciado para o SERGEO/UFPE

Arcgis 9.3. Comparou-se, também, a base geomorfológica da EMBRAPA (ZAPE – Geodados) com o intuito de conhecer a estrutura do relevo do alto curso da bacia do rio Pajeú.

De posse dos dados necessários para a montagem do modelo de Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, procedeu-se a distribuição de pesos para cada classe das variáveis utilizadas levando em consideração os graus de: proteção do solo; fragilidade de acordo com o tipo de declividade e vertente; fragilidade dos domínios de solos e comportamento da distribuição pluviométrica anual. Os graus de fragilidades utilizados para ambas as variáveis foram: muito alto (peso 5); alto (peso 4); médio (peso 3), baixo (peso 2) e muito baixo (peso 1).

Findada a distribuição dos pesos, gerou-se a carta de fragilidade originada com subsídio do *software* Arcgis 9.3. Neste produto consta as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e Emergente seguindo os graus de fragilidades Médio, Alto e Muito Alto.

3. Resultados e discussão

Foram mapeadas 6 classes de uso do solo, que abrange desde a vegetação de caatinga densa aos solos expostos (Figura 3). A classe Formação Campestre representa a vegetação de caatinga densa concentradas em áreas de preservação e na Encosta Sententrional do Planalto da Borborema. Para esta classe o grau de proteção do solo é Muito Alto com peso 1. Já a classe Sistema Silvipastoril, bem distribuído por toda bacia, é representado pelas áreas com presença da vegetação de caatinga esparsa entremeadas com criações de animais, bovinos e principalmente, caprinos e as vezes praticas agrícola. Para esta classe o grau de proteção do solo é Alta com peso 2.

A classe Lavoura Permanente/ Lavoura Temporária com e sem Irrigação são representadas pelas áreas onde foram diagnosticadas cultivos de cereais como feijão, mandioca, milho, palmas entre outros. Estes cultivos ocorrem nas grandes áreas com o uso da irrigação, e em pequenas propriedades sem o uso diretamente deste recurso. Inclui, também, nesta classe de uso do solo os cultivos de vazantes nos leitos maiores dos rios aproveitando a umidade do solo e os recursos hídricos disponíveis. Para esta classe o grau de proteção do solo é média com peso 3.

A classe Pastagem representa as áreas onde pratica-se a pecuária de bovinos e caprinos. Inclui-se, também, nesta classe as áreas destinadas ao cultivo agrícola temporário, ou seja, aqueles implementados no período chuvoso. Como a imagem foi obtida no período de transição entre o chuvoso e o seco muitas áreas que, posteriormente, foram utilizadas para a agricultura e que na imagem apresentavam resquícios de cultivo agrícola foram classificadas como pastagem. O grau de proteção do solo para esta classe é Baixo com peso 2.

A classe Solo Exposto corresponde às áreas em que não foram identificados indícios de vegetação e pastagem. Incluem-se nesta classe as áreas urbanas e o grau de proteção do solo é Muito Baixo/inexistente com peso 1. A classe Água é representada pelos reservatórios não havendo atribuição de peso e, conseqüentemente, excluída da modelagem das Unidades Ecodinâmicas.

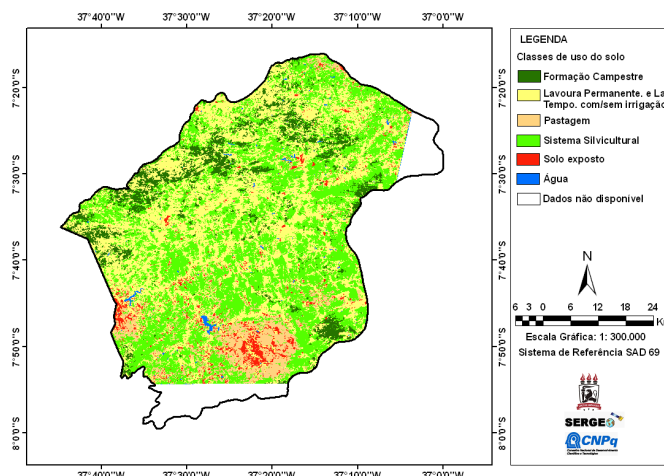


Figura 3: uso do solo no alto curso da bacia hidrográfica o rio Pajeú

O mapeamento da declividade da bacia foi sintetizado em 4 classes, correspondentes aos intervalos de: 0 a 3% (topos planos dos prediplanos e demais áreas com grau de fragilidade Muito Baixo - peso 1 as Vazeadas e Terraços Fluviais com grau de fragilidade Muito Alto - peso 5); 3 a 12% (patamares planos com grau de fragilidade Baixo - peso 2), 12 a 30% (vertentes retilíneas com declividades médias apresentando grau de fragilidade Médio - peso 3) e as declividades superiores a 30% (vertentes retilíneas com alta declividade e grau de fragilidade Muito Alto - peso 5) (Figura 4).

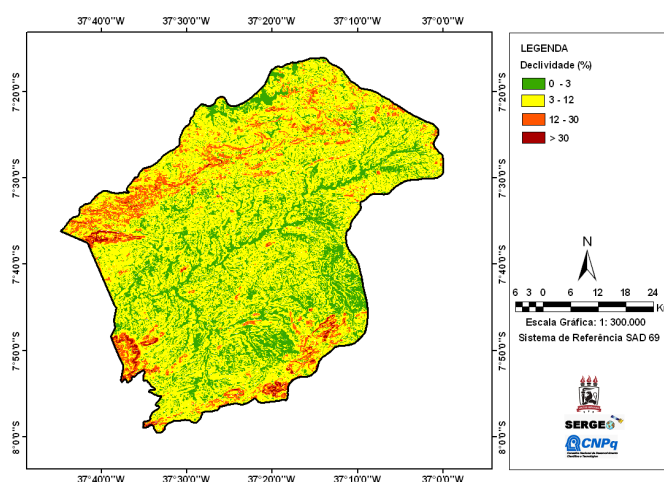


Figura 4: classes de declividade no alto curso da bacia hidrográfica o rio Pajeú

A estrutura pedológica da área de estudo é composta por 11 tipos de solos (Figura 5). Os pesos de vulnerabilidade foram baseados na proposta de Crepani et al. (2001), classificando com grau de fragilidade: Muito Alto - peso 5 os Neossolos (flúvico, quartizarênico, litólico e regolítico); Alto - peso 4 o Planossolo, os Argissolos (amarelo, vermelho e vermelho amarelo), o Luvissole e o cambissolo; Médio - peso 3 o Latossolo amarelo.

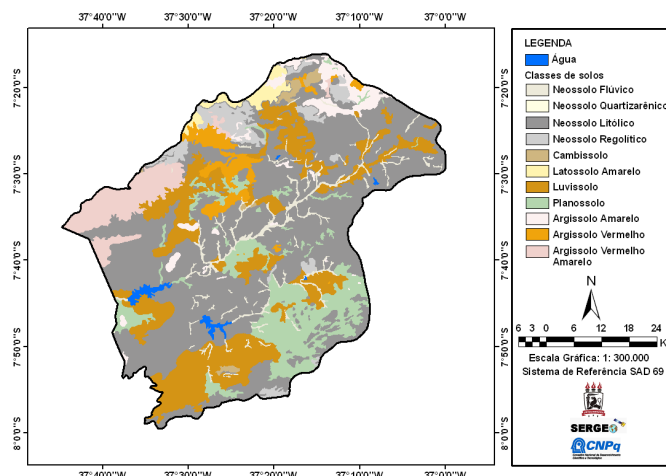


Figura 5: classes de solos no alto curso da bacia hidrográfica o rio Pajeú

A precipitação pluviométrica média anual em mais de 95% do alto curso da bacia do rio Pajeú varia entre 500 a 750 mm. O período chuvoso concentra-se entre os meses de janeiro a abril. Fatores que apontam para o grau de fragilidade considerado médio, isto levando em consideração a abordagem de Amaral e Ross (2009).

O cruzamento das variáveis discutidas anteriormente é apresentado no Quadro 1. Nele é possível observar algumas das combinações numéricas que deram origem a carta das Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potência e Emergente contendo três graus de fragilidade ambiental (Médio, Alto e Muito Alto). Levando em consideração a proposta metodológica de Ross (1994), o primeiro dígito refere-se a cobertura vegetal, visto que, será ele que diferencia as Unidades de Instabilidade Potencial da Emergente. Ou seja, as áreas com predomínio da Formação Campestre (caatinga densa) foram automaticamente consideradas como Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial. Conseqüentemente, as demais tipologias de uso do solo foram enquadradas como Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente. Os demais dígitos, por ordem, referem-se às variáveis solo, relevo e clima.

Quadro 1: combinações numéricas possíveis por grau de fragilidade das Unidades Ecodinâmicas

Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Potencial			Unidade Ecodinâmica de Instabilidade Emergente		
Médio	Alto	Muito Alto	Médio	Alto	Muito Alto
1313, 1313, 1333	1413, 1423, 1433, 1443	1513, 1533, 1543	2313, 2323, 2333	2413, 1423, 2443, 3313, 3323, 3413, 4443	2513, 1513, 3513, 3523, 4533, 5333, 5443

A carta das Unidades Ecodinâmicas é apresentada na Figura 6. Nota-se que as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial ocupam uma área inferior a 20% do alto curso da bacia do rio Pajeú. Nestas áreas a cobertura vegetal de Formação Campestre (caatinga densa) exerce um grau de proteção do solo Muito Alto, evitando assim que o solo seja atingido, em sua grande extensão, pela pluviometria, diminuindo as ações erosivas laminar e linear.

As Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial com grau de fragilidade Médio encontram-se nos topos planos dos pediplanos com presença do Latossolo Amarelo. Sua concentração ocorre em pequenas manchas no setor noroeste da bacia. As áreas onde foram mapeadas com grau de fragilidade Alto na referida Unidade Ecodinâmica estão concentradas ao oeste e noroeste da bacia. São áreas com presença de topos planos com declividade de 0 a 3% com predomínio dos Argissolos Vermelho e Vermelho Amarelo e dos Luvisolos. Quanto às áreas indenticadas com grau de fragilidade Muito Alto, estas se apresentam em manchas presentes em várias partes da bacia sobre as Vazeadas e Terraços Fluviais, assim como, entre as declividades menores e superiores a 30%. Os solos predominantes são os Neossolos Litólicos, com pequenas manchas de Argissolos Vermelho Amarelo e Vermelho. A fragilidade considerada Muito Alta ocorre principalmente pelo potencial de carregamento dos solos proporcionado pela variável chuva e declividade. Nas áreas de declividade considerada plana nos Terraços Aluviais este grau de fragilidade ocorre pelo potencial alto dos solos, quando descoberto, em carregar detritos para dentro dos correios proporcionando assoreamentos dos mesmos.

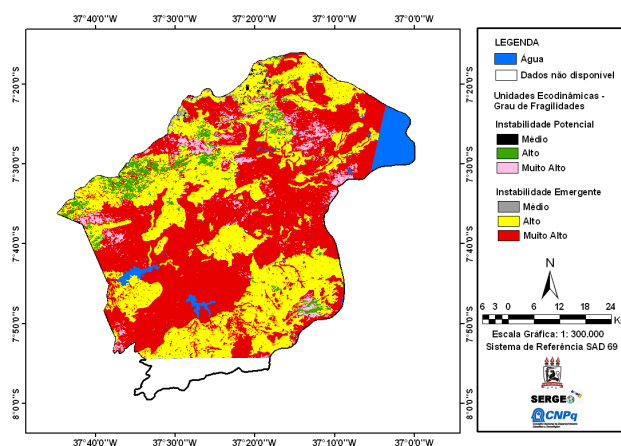


Figura 5: Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade potencial e Emergente para o alto curso da bacia hidrográfica do rio Pajeú

As Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente incluem os demais usos do solo não incluídos na classificação das Unidades de Instabilidade Potencial. De acordo com Silveira (2005) nestas unidades o uso do solo irá determinar o grau de proteção.

Na área de estudo as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergente ocupam a maior parte. O potencial de fragilidade Médio é identificado em pequenas manchas no setor noroeste da bacia sobre topos planos com declividade entre 0 a 3% e patamares planos com declividade entre 3 a 12% na presença do Latossolo Amarelo com cobertura vegetal esparsa consociada com as atividades pecuárias, ou seja, um Sistema Silvopastoril de acordo com as especificações do IBGE (2006).

O potencial de fragilidade Alto das Unidades Ecodinâmica de Instabilidade Emergente está presente em praticamente toda a bacia. São identificados sobre topos e patamares planos com predomínio dos Argissolos Vermelho, Vermelho Amarelo e Amarelo, do Luvisolo e Planossolo. Predominam como uso do solo a pastagem e as lavouras permanentes e temporárias com e sem irrigação. O alto risco ambiental centra-se em possíveis erosões lineares e laminares devido à exposição dos solos proporcionadas pelas práticas agropecuárias.

O potencial de fragilidade Muito Alto das Unidades Ecodinâmica de Instabilidade Emergente se destaca em extensão e distribuição na bacia. Abrange todos os tipos de vertentes e declividades. Em algumas áreas planas ocorrem associado com os Neossolos e nas declividades entre 12 a 30% e nas superiores a 30% ocorre com a presença de Argissolos e o Latossolo Amarelo. Os usos do solo predominantes são: pastagem, lavouras permanentes e temporárias com e sem irrigação e presença de solos expostos. As implicações ambientais centram-se sobre as práticas agrícolas em estruturas pedológicas rasas e sobre solos desenvolvidos, porém, neste caso, em áreas com declividades médias e altas o tornando a susceptibilidade a erosão muito alta. Destacam-se também a presença de solos expostos, os quais apresentam alto potencial de erosão laminar, principalmente nas áreas sobre os Neossolos.

4. Conclusões

As técnicas de sensoriamento remoto As técnicas de fusão de imagens possibilitaram a superação de deficiências que porventura determinadas imagens possam apresentar, quando se buscam maiores detalhes. De modo que as imagens sintéticas mostraram-se de grande utilidade e eficiência aos estudos do grau de fragilidade ambiental, embora se revelou necessário caso seja preciso um detalhamento maior e um resultado ainda mais preciso do que o necessário em um artigo científico, uma classificação supervisionada é aconselhável. A aplicação das variáveis escolhidas pelos autores revelou ser de grande eficiência nos estudos da ecodinâmica, realizados a partir das ferramentas e técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto aqui trabalhadas.

Referências Bibliográficas

Amaral, R. Unidades Ecodinâmicas: Análise da fragilidade ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio - SP. 2005. 170p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo. São Paulo. 2005.

Amaral, R.; Ross, J.L.S. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio – SP. **GEOUSP**, n.26, p.59-78, 2009.

Crepani, E.; Medeiros, J.S.; L.G.; Azevedo, L.G.; Hernandez Filho, P.; lorenzano, T.G.; Duarte, V. **Sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento Ecológico-Econômico**. São José dos Campos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 18p. (INPE-8454-RPQ/722).

FREITAS, D.M.; Bauch, M.A.; Nascimento, F.L. Fusão de Imagens Cbers-CCD com Cbers-HRC para obter uma melhor interpretação das subregiões e áreas antrópicas do Pantanal. In. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2., Corumbá. **Anais...** Corumbá, 2009. [CD-ROM]. IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 91p.

Jeganathan, C.; Kiran Gupta, V. K.; Raju, P.L.N. Comparison of MODIS vegetation continuous field — based forest density maps with IRS-LISS III derived maps. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v.37, n.4, p.539-549, 2010.

LACERDA, F. FERREIRA, M. A. F. SOUZA, W. M. DA. Climas do Estado de Pernambuco. In: Atlas de bacias hidrográficas de Pernambuco. Recife: Secretaria de Ciência , Tecnologia e Meio Ambiente do Estado de Pernambuco, 2006. p.16-17.

Pohl, C.; Van Genderen, J. L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 5, p. 823-854, 1998.
Revista do Departamento de Geografia, n.8, p.63-73, 1994.

Ross, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados.
Santos, A. M.; Galvêncio, J. D. & Moura, M.S.B. The water resources is the global climatic changes: speeches, impacts and conflicts. **Revista Geográfica Venezolana**, 2010 (*no prelo*).

Silveira, C.T. Estudo das Unidades Ecodinâmicas da Paisagem na APA de Guaratuba - PR: subsídios para o planejamento ambiental. 2005. 143p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005.

Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE, Secretaria de Planejamento da Presidência da República, 1977. 97p