

Aplicações de geoprocessamento no estudo dos geossistemas e Zoneamento Ecológico-Econômico de Serra das Almas (CE/PI)

Marcos Wellausen Dias de Freitas¹
Vitor Celso de Carvalho¹
Edison Crepani¹
José Simeão Medeiros¹
Silvana Andreoli Espig¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil.
{freitas, vitor, andreoli, crepani, simeao}@ltid.inpe.br

Abstract: This paper reports the utilization of GIS and remote sensing in methodologies of integrated environmental analysis such as Geosystems and Ecologic-Economic Zoning (ZEE) applied in the environmental planning. The objective was the mapping of the geosystems and a map of soil loss natural vulnerability of Serra das Almas (CE/PI, Brazil), related with the knowledge of the Caatinga biome in Brazil.

Palavras-chave: geoprocessamento, geossistemas, Zoneamento Ecológico-Econômico, geoprocessing, geosystems, Ecologic-Economic Zoning (ZEE).

1. Introdução

Este estudo insere-se num esforço nacional para aumentar o conhecimento do **bioma Caatinga**, apontado como um dos menos conhecidos, mais complexos e impactados do território nacional. Propõe-se a contribuir de uma forma local e particular para aumentar a quantidade de informações cartográficas atuais e detalhadas dos seus ambientes. Esta deficiência compromete a realização de estudos integrados que são fundamentais para um planejamento e gestão ambientais de cunho sustentável. Ele representa uma continuidade e aprofundamento da estratégia integrada, com o uso de **sensoriamento remoto** e **geoprocessamento**, para o levantamento da biodiversidade deste bioma proposta por um grupo interinstitucional de pesquisadores que desenvolveram o Subprojeto BIOCAAT – “*Análise das variações da biodiversidade do bioma caatinga com o apoio de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas para suporte de estratégias regionais de conservação*”, do Projeto PROBIO – “*Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira*” (DCBio/SBF/MMA), associado ao Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT / Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e a Associação Caatinga (ONG) e financiado pelo Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD.

Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho é gerar uma carta de vulnerabilidade natural à perda de solo a fim de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da região Nordeste do país, com o uso do SIG Terra View, desenvolvido pelo INPE. Bem como, contribuir para aprofundar o mapeamento e a caracterização dos geossistemas (unidades de paisagem) de parte de uma das áreas-piloto estudadas naquele subprojeto, denominada Serra das Almas (fronteira CE/PI), e considerada como representativa daquele bioma. Foram utilizadas, de forma complementar, a metodologia de análise geográfica integrada dos Geossistemas ou Ecologia da Paisagem (Bertrand, 1972) e de Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE (Crepani et al., 2001).

2. Materiais e metodologia

2.1 Área de estudo

A área de estudo com aproximadamente 405 km², está situada entre as coordenadas geográficas de 5°02'S 41°00'W e 5°16'S 40°49'W. Corresponde a uma zona de transição entre as ecorregiões do Complexo Ibiapaba-Araripe (Setor Ocidental) e da Depressão Sertaneja Setentrional (Setor Oriental) e representa a frente da cuesta da Ibiapaba e seu reverso imediato. Está inserida no interior da Área Prioritária para Pesquisa Científica n.6 do PROBIO e inclui nos seus limites a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) de Serra das Almas, que foi considerada por Velloso et al. (2002) como uma área de muito alta importância biológica.

2.2 Materiais

Como base para este estudo foram utilizados os resultados em nível de semidetalhe (escala de 1:100.000) obtidos por Carvalho e Pinheiro Júnior (2004), em particular: o mapeamento da dinâmica da cobertura vegetal por fitofisionomia com seus respectivos estágios sucessionais e uso da terra; o mapeamento dos geossistemas; a base cartográfica nos formatos matricial e vetorial (Carta de Crateús MIR-890, SB-24-V-C-III, da DSG de 1988); o mosaico de imagens Landsat-7 ETM+, já tratadas e com mascaramento de nuvens, na forma de composição colorida com as bandas 3, 4 e 5, além da banda pancromática. Para todos os processamentos de dados foi utilizado o SIG SPRING, na versão 4.01 beta, e para a construção de banco de dados de consulta espacial o SIG Terraview na versão 3.0.

2.3 Metodologia

O mapa de geossistemas mencionado acima foi recortado em função dos limites estabelecidos neste trabalho. A área recortada sofreu um processo de edição para a delimitação de uma nova unidade de paisagem que recebeu o nome de Geossistema Aluvial. Este ambiente foi definido através de um processo interativo de interpretação visual da imagem de satélite e vetorização no SIG com o suporte cartográfico.

De forma semelhante, o mapa da dinâmica da cobertura vegetal também foi recortado e reclassificado através de programação em LEGAL. A classificação dinâmica foi remanejada agrupando os estágios mais próximos de sucessão. Desta forma, os estágios sucessionais conservado e avançado foram agrupados numa única classe temática conservada; os estágios intermediário e inicial foram agrupados na classe “sucessão”; mantendo-se separadas as áreas de agricultura e solo exposto.

A Modelagem Numérica do Terreno (MNT) foi realizada através de dois métodos: grade triangular a partir de grade retangular (TIN) e krigeagem a partir de isolinhas e pontos cotados. O mapa de declividade foi obtido a partir da geração de grade de declividade (em porcentagem) e o fatiamento da tal grade nos intervalos de classe definidos por Crepani (2001).

A metodologia de mapeamento da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo foi desenvolvida por Crepani et al. (2001), com o objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico e seus mecanismos de planejamento territorial. Para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem ou geossistemas, foram integrados os planos de informação dos Geossistemas, da Cobertura Vegetal e Uso do Solo, e de Declividade. Cada classe de cada tema foi associada a valores que indicam o grau de vulnerabilidade à perda de solo. Tal integração foi feita via Álgebra de Mapas, com programação em LEGAL, em três etapas: (1) operação de

ponderação para geração de grade com os valores de vulnerabilidade para cada classe; (2) operação de média aritmética a fim de gerar uma outra grade que contenha os valores médios de vulnerabilidade final; e (3) operação de fatiamento, para geração do mapa temático de vulnerabilidade à perda de solos. No SPRING foi criado um mapa cadastral das unidades de vulnerabilidade. Este mapa foi atualizado, via programação em LEGAL através do operador de Maioria Zonal, com as informações ou classes temáticas de Geossistemas, Declividade e Vulnerabilidade. Este PI cadastral foi exportado para o software Terraview 3.0, no qual foi montada uma tabela de consulta espacial.

3. Resultados

3.1 Caracterização geral

A área estudada representa uma transição estrutural entre a Província da Borborema e a Província do Parnaíba. Do ponto de vista morfogenético, pode ser considerada uma transição entre a Depressão Sertaneja ou Depressão Cristalina Exumada (alto curso do rio Potí), e a Cuesta da Ibiapaba (médio curso ou boqueirão do rio Potí), como pode ser visto no MNT da figura 1. Dos métodos avaliados para a sua obtenção pode-se dizer que os seus resultados foram complementares. A grade TIN foi melhor para a produção do mapa de declividade (figura 4). A krigeagem foi superior para a visualização em 3-D (Figura 1a), a produção de um mapa hipsométrico e a realização de perfis topográficos (figura 1b).

Os geossistemas (figura 2) da área de estudo foram delimitados através da integração entre variáveis físicas (clima, geologia e geomorfologia), ecológicas e sociais (cobertura vegetal e uso do solo, como pode ser visto na figura 3), com informações de RADAMBRASIL (1981), IBGE (1973) e Carvalho e Pinheiro Jr. (2004).

3.2 Geossistemas da Província da Borborema

Mais precisamente inserida no Geoambiente das Encostas das Serras Cearenses, este geoambiente faz parte da Região Morfoestrutural da Depressão Sertaneja, correspondendo a um conjunto de superfícies aplainamento incluindo áreas mais dissecadas, com vales estreitos, de altitudes variando de 300 a 700 metros. Constitui a borda mais ocidental da Unidade Geomorfológica das Depressões Periféricas da Ibiapaba-Araripe, mais especificamente da Paisagem da Depressão Sertaneja Setentrional. Particularmente pelas suas características geomorfológicas, pedológicas e cobertura vegetal, ele foi subdividido em três geossistemas:

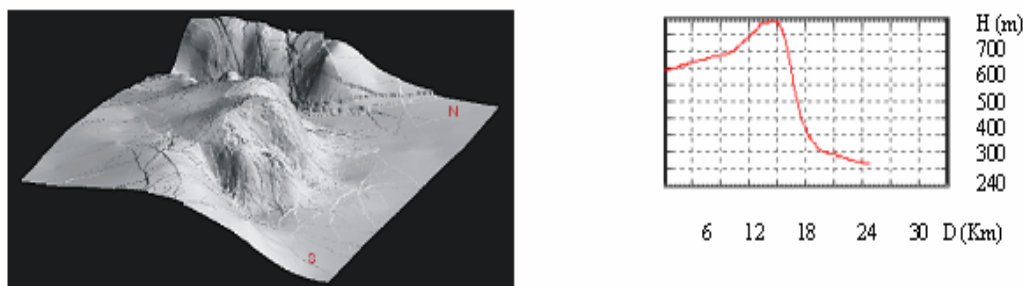


Figura 1: MNT no sentido N-S, mostrando a Depressão Sertaneja (a E) e a Cuesta da Ibiapaba (a W); e perfil topográfico no sentido E-W.

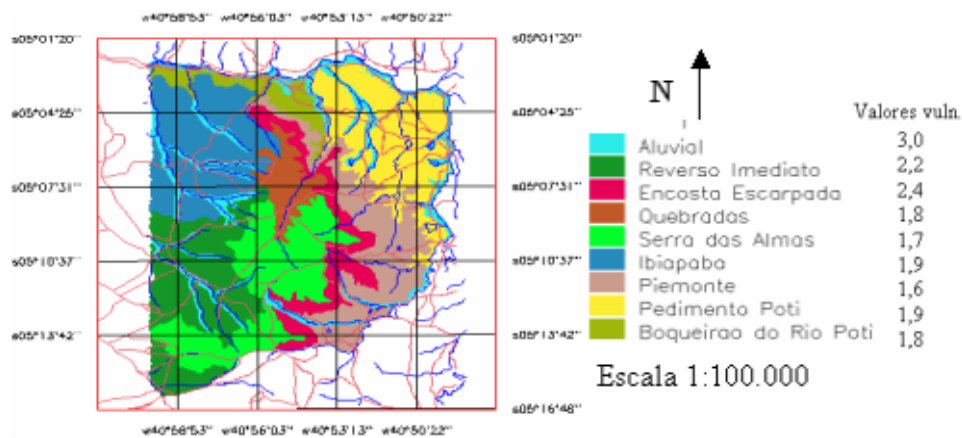


Figura 2: Mapa dos geossistemas e valores de vulnerabilidade.

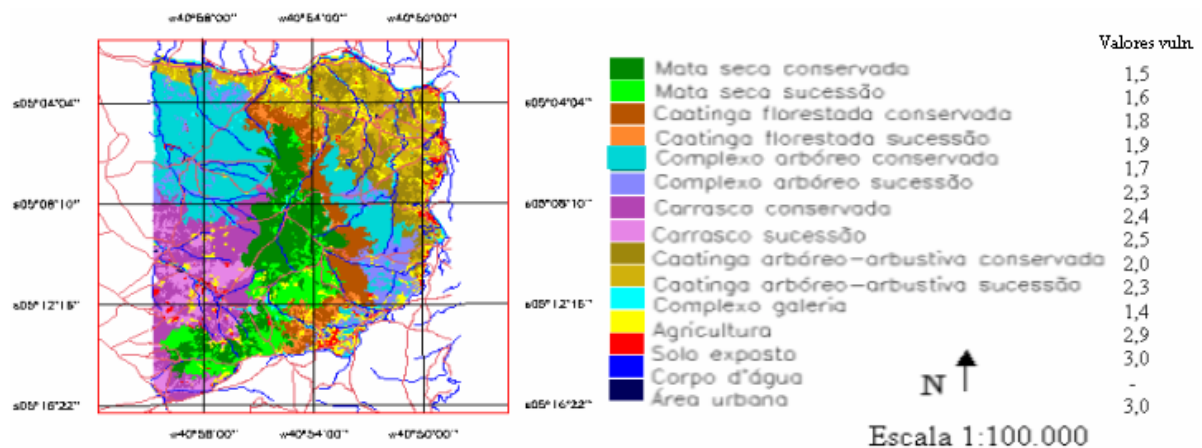


Figura 3: Mapa de cobertura vegetal e uso do solo e valores de vulnerabilidade.

(1) Baixada do rio Potí ou Sertão da Ibiapaba: Apresenta um clima tropical megatérmico semi-árido moderado (Ppt = 708 mm) de chuvas de verão-outono (janeiro a maio) e 7 meses secos (junho a dezembro). Corresponde à rampa de colúvio do boqueirão do rio Potí onde as altitudes variam de 250 a 300 metros. Esta paisagem é caracterizada por um Modelado de Dissecção Tabular (Dt51), com um relevo plano a suavemente ondulado de topos planos, interflúvios de muito grande amplitude (5) e de muito fraca intensidade de aprofundamento da drenagem (1). Os solos dominantes são as Areias Quartzosas álicas (AQa12), cobertos naturalmente pela Savana-Estépica Arbórea aberta ou, popularmente, Caatinga Arbóreo-Arbustiva. Neste setor de colúvio ocorre uma intensa ocupação agropecuária constituída principalmente por atividades agrícolas de subsistência tradicional e pecuária extensiva.

(2) Pedimentos de Potí ou Sertão de Potí: Vigora neste ambiente condição climática igual ao do geossistema anterior, apesar de um ligeiro aumento na precipitação média anual (Ppt = 718 mm). Com altitudes (250-300m) e um modelado (Dissecção Tabular, Dt41) semelhantes ao do geossistema anterior, diferencia-se por apresentar interflúvios ligeiramente menores, ou seja, de grandes amplitudes (4), porém com o mesmo grau muito fraco de aprofundamento da drenagem (1). Diferencia-se também do anterior pela predominância dos solos Planossolos Solódicos (PLS34) e pela cobertura vegetal do tipo Savana-Estépica Florestada ou Caatinga Arbórea. O uso

da terra também muda com domínio da agricultura comercial (algodão), mas ainda com a presença comum da agricultura de subsistência em convivência com a pecuária.

(3) Piemonte da Serra das Almas ou Sertão de Tucuns: O clima nesta paisagem torna-se bem mais úmido que os das áreas anteriores, podendo ser caracterizado como um clima tropical megatérmico subúmido-úmido (Ppt = 1.002,8 mm) com chuvas de verão-outono e 7 meses secos. Seu relevo suave ondulado a plano (com altitudes de 300 a 400 m), pode ser também incluído no Modelado de Dissecação Tabular (Dt41), descrito na unidade anterior. Mas, neste ambiente dominam os solos Podzólicos Vermelho-Amarelo eutróficos (PE17-20), cobertos naturalmente pelo mesmo tipo vegetação do geossistema anterior, ou seja, do tipo Caatinga Arbórea densa, caracterizada localmente pelas mesmas árvores dos sertões, porém adquirindo porte mais elevado. Semelhança também observada no uso da terra onde se destaca o domínio da agricultura comercial (algodão), associado ao de subsistência, em convivência com a pecuária.

3.3 Geossistemas da Província do Parnaíba

A Província do Parnaíba (Setor Ocidental de Serra das Almas), localmente é representada pela Bacia Sedimentar do Parnaíba. Mais especificamente, ele ocupa a maior parte (79%) da área original e uma pequena parte do Geoambiente das Chapadas Intermediárias e Baixas. Esses ambientes são originários dos depósitos sedimentares da bacia do Maranhão-Piauí e litologias da Formação Serra Grande, constituídas por arenitos siluro-devonianos e conglomerados. Esta unidade geoambiental foi subdividida em 5 geossistemas, apresentados a seguir:

(1) Geossistema do Anfiteatro de Ibiapaba ou do Boqueirão da Ibiapaba: Vigora neste ambiente um clima tropical megatérmico semi-árido moderado (Ppt = 708 mm), com chuvas de verão-outono e 7 meses seco, o mais seco desta faixa central da área de Serra das Almas. Com altitudes variando de 300 a 600 metros, apresenta um Modelado de Dissecação Tabular (Dt32), com relevo variado, indo do plano ao ondulado (dominando o primeiro tipo), com topo plano, separados geralmente por vales de fundo também plano, interflúvios de média amplitude e fraca intensidade de aprofundamento de drenagem. Dominam neste ambiente os solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo álico (LVa11) e a cobertura vegetal da Caatinga Arbóreo-arbustiva. O uso da terra é predominantemente do tipo pecuária extensiva em grandes propriedades nas partes mais altas e uma agricultura de subsistência (culturas consorciadas de milho e feijão) em pequenas propriedades nos vales mais úmidos e baixos.

(2) Geossistema da Serra das Almas: Marcado por um clima tropical megatérmico subúmido seco (Ppt = 926 mm), com chuvas de verão-outono e 7 meses seco. Também apresenta um Modelado de Dissecação Tabular, com relevo plano a suave ondulado e altitudes mais elevadas, variando de 650 a 750 metros. Porém aqui ele apresenta menores amplitudes e aprofundamento de drenagem, ou seja, ele é caracterizado por formas de dissecação tabulares (Dt21-22), com relevo de topo plano separados geralmente por vales de fundo plano, com interflúvios de pequena amplitude e de muito fraca (1) a fraca (2) intensidade de aprofundamento de drenagem. Dominam neste ambiente o mesmo tipo de solo do geossistema anterior, ou seja, os Latossolos Vermelho-Amarelos álicos (LVa8), mas diferenciando-se pela sua cobertura vegetal do tipo Floresta Estacional (Mata Seca) ainda bem conservada. Esta cobertura conta com a presença local de uma agricultura tradicional (cultura da cana e café, com concorrência da fruticultura e da horticultura).

(3) Geossistema da Serra das Quebradas: Provavelmente com clima semelhante ao do geossistema anterior, diferencia-se por apresentar um Modelado de Dissecação Convexa, ligeiramente mais ondulado (variando do plano ao ondulado) e baixo (altitudes de 650 a 700m)

que o geossistema anterior. Apresenta-se como uma superfície dissecada de topo convexo, separados por vales em “V” e eventualmente de fundo plano, com interflúvios de pequena amplitude e de muito fraca intensidade de aprofundamento da drenagem (Dc21). Dominam também neste ambiente os solos do tipo Latossolos Vermelho-Amarelo álico (LVa11) com o mesmo tipo de cobertura vegetal de Mata Seca, porém um pouco mais conservada. O uso da terra apresenta ainda o domínio da agricultura tradicional.

(4) Geossistema das Encostas Escarpadas: Caracterizado por um clima tropical megatérmico semi-árido moderado (Ppt = 670 mm) com chuvas de verão-outono e 7 meses seco. Apresenta um relevo com forte declividade, variando rapidamente de plano a montanhoso e de altitudes de 400 a 700 metros. Marcado por um Modelado de Dissecação Aguçada (Da11 e 12), com elevações de topos contínuos e aguçados, separados geralmente por vales em “V”, com interflúvios de grau mínimo de grandeza (1) e de grau de aprofundamento de drenagem muito fraco (1) a fraco (2). Dominam neste ambiente os Solos Podzólicos Vermelho-Amarelo eutróficos (PE65), cobertos pela Savana-Estépica Arbórea densa sem palmeiras (Eds) ou Caatinga Florestada. O uso da terra mostra o predomínio do extrativismo vegetal de lenha e madeira, associado com uma pecuária extensiva nas áreas desmatadas, sem maiores prejuízos provocados pela atuação antrópica.

(5) Geossistema do Reverso Imediato de Serra das Almas: Apresenta as condições mais úmidas desta faixa central da área de Serra das Almas, com um clima tropical megatérmico subúmido úmido (Ppt = 1.022,4 mm) com chuvas de verão-outono e 7 meses seco. Com o seu relevo plano e altitudes variando de 500 a 650 metros, apresenta-se como uma superfície pediplanada (Ep) da Cuesta da Ibiapaba, elaborada por processos de pediplanação. Neste ambiente ocorre o predomínio das Areias Quartzosas álicas (AQa4 e AQa10), cobertas por uma vegetação do tipo Carrasco. Como uso da terra domina nesta área a atividade pecuária extensiva e semi-intensiva, com localização restrita às proximidades das maiores aglomerações urbanas.

3.4 Geossistema aluvial

O Geossistema Aluvial aqui delimitado apresenta grande variação climática devido à sua ampla distribuição espacial linear quase contínua, acompanhando os cursos d’água mais expressivos. Está presente em ambos domínios morfoestruturais e a sua morfogênese está ligada à atuação da rede de drenagem sobre a estrutura litológica em diferentes períodos climáticos. A geomorfologia das áreas fluviais é composta por terraços e planícies fluviais, correspondendo aos padrões de acumulação de formas de planície fluvial (Apf) e formas de terraços fluviais (Atf), com a presença de sedimentos aluviais transportados pelos rios e do controle estrutural imposto aos canais pelos falhamentos geotectônicos. Os solos desse geossistema variam conforme a sua localização na área, predominando os solos Aluviais e as Areias Quartzosas álicas (AQa). Em determinados locais estão presentes os solos Litólicos e Planossolos. A cobertura vegetal nativa é do tipo galeria, formado por espécies típicas de áreas ciliares como os buritis e carnaúbas. Principalmente por sua maior disponibilidade de água apresenta um uso da terra extremamente intenso com a presença de agricultura de subsistência e comercial; além de pecuária extensiva.

4. Índice de vulnerabilidade à perda de solo

Neste trabalho, foram atribuídos e/ou calculados os valores de vulnerabilidade à perda de solos de acordo com Crepani et al. (2001) adaptados ao local a partir de comunicação pessoal de Crepani (2004). Os valores de vulnerabilidade à perda de solos para os temas Geologia, Geomorfologia e Pedologia foram agrupados conforme os geossistemas, e os tipos de cobertura vegetal e uso do

solo e os seus valores médios são apresentados nos referidos mapas. O cruzamento desses valores com os mapas de geossistemas (Figura 2), da cobertura vegetal/uso do solo (Figura 3) e da declividade (Figura 4) gerou o mapa de vulnerabilidade à perda de solo (Figura 5).

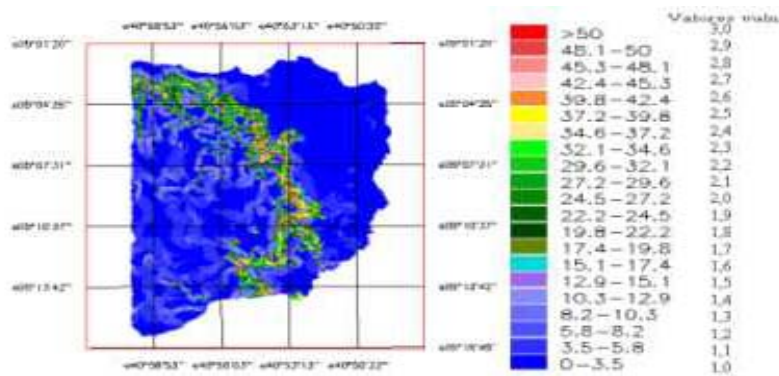


Figura 4: Mapa de declividade e escala de valores de vulnerabilidade.

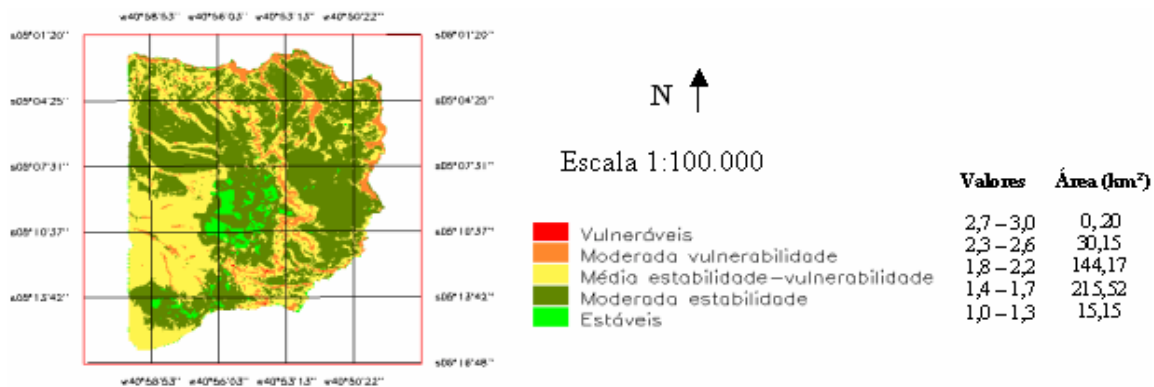


Figura 5: Mapa de vulnerabilidade à perda de solo e escala de valores de vulnerabilidade.

A partir deste mapa de vulnerabilidade, pode-se observar que apenas uma quase insignificante (0,05%) parcela da área de estudo apresenta altos graus de vulnerabilidade à perda de solos e estão associadas aos meios fortemente instáveis com vigorosa dissecação do relevo do Geossistema das Encostas Escarpadas. Ao qual também estão fortemente associadas uma pequena (7,45%) parcela com moderados graus de instabilidade, que aparecem também muito associadas ao Geossistema Aluvial. No extremo oposto, os meios estáveis com cobertura vegetal densa e predomínio de processos de pedogênese estão concentrados (3,7% da área) no Geossistema da Serra das Almas. Desta forma, predominam fortemente nesta área de estudo os meios intermediários com balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas, que ocupam mais da metade (53,2%) da sua área, predominando no Geossistema do Reverso Imediato da Serra das Almas. Em seguida vêm os meios de moderada estabilidade, que ocupam mais de um terço (35,6%) dela, predominando sobretudo nos Geossistemas da Ibiapaba, do Piemonte da Serra das Almas e dos Pedimentos de Potí. Juntos estes ambientes relativamente estáveis cobrem a maior área (88,8%).

5. Conclusões

A análise complexa e integrada do meio ambiente e de suas relações interdependentes com a sociedade tem nos geossistemas uma ferramenta bastante útil que possibilita estudos envolvendo a integração de variáveis ambientais, importantes ao planejamento e gestão ambiental, como o Zoneamento Ecológico-Econômico e o índice de vulnerabilidade à perda de solo. Tal integração entre as metodologias serviu perfeitamente aos resultados finais pretendidos.

A área de Serra das Almas apresentou poucos problemas de vulnerabilidade à perda de solo o que retrata as condições ambientais específicas de tal faixa de transição, sendo seu entorno mais castigado pelas condições naturais e a ação antrópica. Porém tais potencialidades paisagísticas devem ser preservadas por medidas eficazes de planejamento e gestão ambientais.

As técnicas e ferramentas de SIG utilizadas corresponderam aos propósitos de tal estudo, sendo a criação de bando de dados de consulta espacial em ambiente Terraview um importante subsídio para tais ações de planejamento territorial.

Referências

Bertrand, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, IGEOG-USP, n.13, 1972, 27p.

Crepani, E.; Medeiros, J. S. de; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao ordenamento territorial**. (INPE-8454-RPQ/722). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

Carvalho, V. C. de; Pinheiro Júnior, O. J. **Mapeamento semidetalhado da cobertura vegetal das áreas de estudo, com o uso de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informações**. (INPE-10476-PRP/241). Relatório técnico – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

IBGE - (Fundação do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Atlas do Ceará**. Rio de Janeiro, 1973. Em convênio com o GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ (Superintendência do Desenvolvimento do Ceará-SUDEC).

RADAMBRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, 1981. 744 p. (Levantamento de Recursos Naturais, 23).

Velloso, A.L.; Sampaio, E.V.S.B.; Pareyn, F.G.C. (eds.). **Ecorregiões: Propostas para o bioma Caatinga**. PNE- Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental, The Nature Conservancy do Brasil, 2002, 76p.