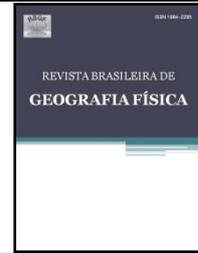




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Mapeamento da Vulnerabilidade das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá

Paulo Roberto Megna Francisco^{1*}; Iêde de Brito Chaves²; Lúcia Helena Garófalo Chaves³; Ziany Neiva Brandão⁴; Eduardo Rodrigues Viana de Lima⁵; Bernardo Barbosa da Silva⁶

¹Doutorando, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG; ²Professor Aposentado, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba-UFPB; ³Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG; ⁴Pesquisadora, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA-Algodão; ⁵Professor Adjunto, Centro de Ciências Exatas da Natureza; Universidade Federal da Paraíba-UFPB; ⁶Pesquisador em Agrometeorologia, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE.

Artigo recebido em 26/02/2013 e aceito em 16/07/2013

RESUMO

A inadequação do uso e do manejo das terras tem degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, particularmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. Partindo do pressuposto de que a erosão do solo é o efeito mais marcante da degradação ambiental, e que a cobertura da vegetação e a declividade do terreno são fatores determinantes importantes do processo erosivo, este trabalho teve como objetivo mapear a vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá. Foi utilizado o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) de imagens de satélite para estimar o grau de cobertura da vegetação, expresso pelo índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) e a base de dados SRTM para gerar o mapa de declividade. Com o software ERDAS foi gerada a imagem-índice e com o SPRING os mapas de vegetação, declividade e vulnerabilidade. Os resultados mostram que o modelo simplificado de estimativa de risco de erosão (vegetação e declividade) apresenta resultados condizentes com as observações de campo e de trabalhos que apontam a principal área mapeada como de vulnerabilidade alta e muito alta, como área de grau grave e muito grave de desertificação da região do Cariri Paraibano. De um modo geral, devido à ocorrência do relevo plano e suave ondulado em 87% da área, a bacia apresenta um grau de vulnerabilidade baixo e muito baixo em 61,1% das suas terras.

Palavras - chave: Geoprocessamento, semiárido, degradação.

MAPPING THE VULNERABILITY OF THE LAND OF RIVER BASIN TAPEROÁ

ABSTRACT

Inadequate use and land management has degraded soils, accelerating the impact of human activities on the environment, particularly in the semiarid regions of northeastern Brazil. Assuming that soil erosion is the most striking effect of environmental degradation, and the vegetation cover and land slope factors are important determinants of the erosion process, this study aimed to map the vulnerability of watershed land river Taperoá. It was used vegetation index (NDVI) satellite images to estimate the degree of vegetation cover, expressed by the biomass index of woody vegetation (IBVL) and SRTM database to generate the slope map. With ERDAS software was generated the index image and with SPRING program maps of vegetation, slope and vulnerability. The results show that the simplified model for estimating risk of erosion (vegetation and slope) presents results consistent with field observations and studies that link the main area mapped as high and very high vulnerability, such as area very severe and severe degree desertification Cariri Paraiba. In general, due to the occurrence of flat and smooth relief in 87% of the area, the basin has a low and very low degree of vulnerability in 61.1% of its land.

Keywords: Semiarid, vegetation index, remote sensing.

* E-mail para correspondência: paulomegna@ig.com.br (Francisco. P. R. M.).

1.Introdução

A demanda crescente pelos recursos naturais tem agravado a degradação das terras em todo o mundo. A inadequação do uso e do manejo das terras tem degradado os solos, acelerando o impacto das atividades humanas sobre o meio ambiente, particularmente nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, onde a vulnerabilidade ambiental é acentuada pelos limites restritivos dos atributos dos solos (Ribeiro *et al.*, 2009) e da agressividade climática (Souza *et al.*, 2009; Albuquerque *et al.*, 2005). O Cariri Paraibano, onde se encontra a área de estudo, é uma área fortemente impactada, que sofre pressão das atividades humanas desde o período colonial (Souza *et al.*, 2009). A fragilidade natural deste ecossistema, ressaltada por Alves *et al.* (2009), associada às práticas agrícolas inadequadas, as queimadas e o desmatamento, são os principais fatores que têm contribuído para o avançado processo de degradação ambiental. Por isto mesmo, é considerada pelo Ministério do Meio Ambiente como área prioritária de estudo, um dos cinco núcleos de desertificação do Semiárido Brasileiro (BRASIL, 2005).

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente. Como consequência, o uso do geoprocessamento em projetos ambientais é uma realidade presente, que requer técnicas de integração de dados, além da combinação de ferramentas de análise espacial,

processamento de imagens e modelagem numérica de terreno (Câmara & Medeiros, 1998).

Como observaram Francisco *et al.* (2012a), várias técnicas já foram estudadas com o objetivo de se determinar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélites. Índices de vegetação foram desenvolvidos a fim de reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais, e têm sido usados como parâmetros na estimativa da vegetação (Holben *et al.*, 1980; Baret & Guyot, 1991).

Chaves *et al.* (2008), desenvolveram o índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) para descrever e avaliar a vegetação da caatinga em seus diferentes estágios de antropização. Esta classificação no seu primeiro nível categórico apresenta uma dicotomização em que separa a vegetação nativa dos diferentes tipos de vegetação e usos da terra, passando em seguida, de forma hierárquica, a considerar apenas a vegetação de caatinga. É um método de classificação prático, de fácil aplicação, de baixo custo, que permite descrever 201 padrões de vegetação de caatinga, e que pode auxiliar na interpretação automática de imagens de satélites, contribuindo para agilizar trabalhos de mapeamento.

Partindo do pressuposto de que a erosão do solo é o efeito mais marcante da degradação ambiental, e que a cobertura da vegetação e a declividade do terreno são

fatores determinantes do processo erosivo, este trabalho tem como objetivo o mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia hidrográfica do rio Taperoá, utilizando o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) de imagens de satélite (LANDSAT) para estimar o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), e da

base de dados altimétrica SRTM, para mapear a declividade do terreno.

Localização e características da área de estudo

A área de estudo compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá, com área de 5.686,37 km², que está localizada no Planalto da Borborema, estado da Paraíba (Figura 1).

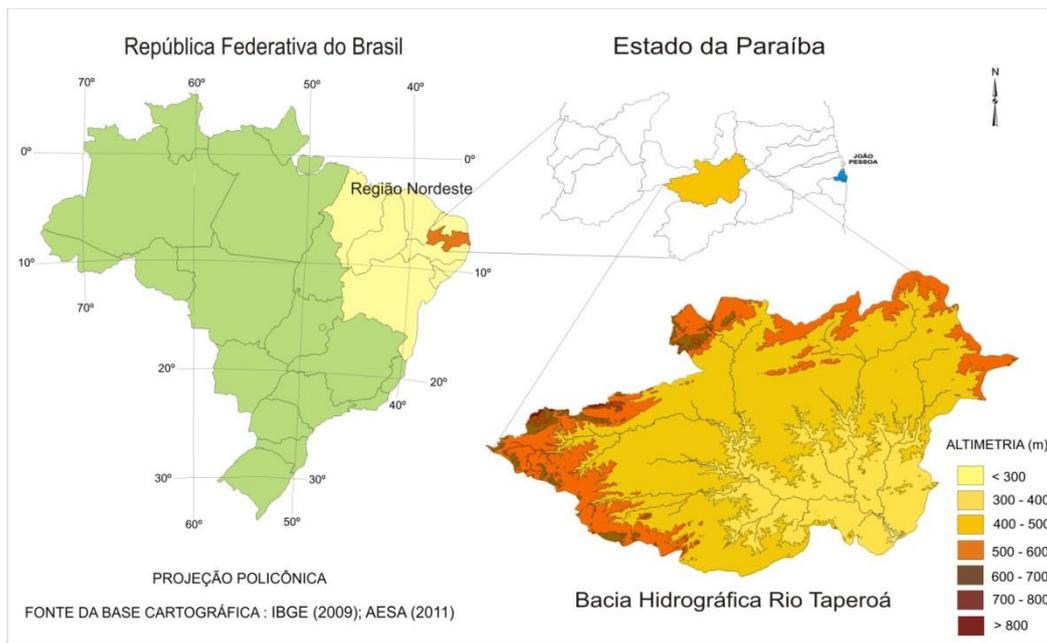


Figura 1. Localização da área de estudo.

Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2010); NASA (2002).

A área da bacia apresenta relevo suave ondulado, e altitudes variando predominantemente entre 400 a 600m. A drenagem voltada para o sudeste facilita a penetração uniforme das massas atlânticas propiciando um gradiente uniforme de temperatura e precipitação, à medida que ocorre a elevação do terreno. A temperatura média está abaixo de 26⁰C e a amplitude térmica diária é grande pelo efeito da altitude. Nas áreas mais baixas a precipitação média

anual é inferior a 400 mm, aumentando com a altitude no sentido dos divisores da drenagem (Francisco *et al.*, 2012). O clima é do tipo Bsh (semiárido quente), com chuvas apresentando uma forte variação na distribuição espacial, temporal e interanual, e uma estação seca que pode atingir 11 meses (Varejão-Silva *et al.*, 1984).

A vegetação é do tipo caatinga hiperxerófila e de acordo com Barbosa *et al.* (2007) e Paes-Silva *et al.* (2003), as espécies

mais encontradas são: a Malva (*Sida galheirensis* Ulbr.), Macambira (*Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f.), Imburana (*Commiphora leptophloeos* (Mart.) J.B.Gillett), Mandacaru (*Cereus jamacaru* DC.), Xique-xique (*Pilosocereus gounellei* (F.A.C.Weber) Byles & G.D.Rowley), Facheiro (*Pilosocereus pachycladus* F.Ritter), Palmatória (*Tacinga palmadora* (Britton & Rose) N.P.Taylor & Stuppy), Mofumbo (*Combretum leprosum* Mart.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll.Arg.), Pinhão (*Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.), Pinhão (*Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.), Jureminha (*Desmanthus virgatus* (L.) Willd.), Jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.), Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul),

Pereiro (*Aspidosperma pyriforme* Engl.), Marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), Pinhão bravo (*Jatropha mollissima* (Pohl) Mull Arg.) e outras espécies nativas da região como o Angico (*Anadenathera macrocarpa* (Benth.) Brenan) a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e o Umbu (*Spondias tuberosa*, L.).

Os solos representativos dos diferentes ambientes semiáridos se distinguem pela diversidade geológica e geomorfológica, ocorrendo com maior frequência, os Neossolos Litólicos Eutróficos, Luvisolo Crômico vértico, Planossolo Solódico e Neossolo Regolítico Eutrófico (PARAÍBA, 2006) (Figura 2).

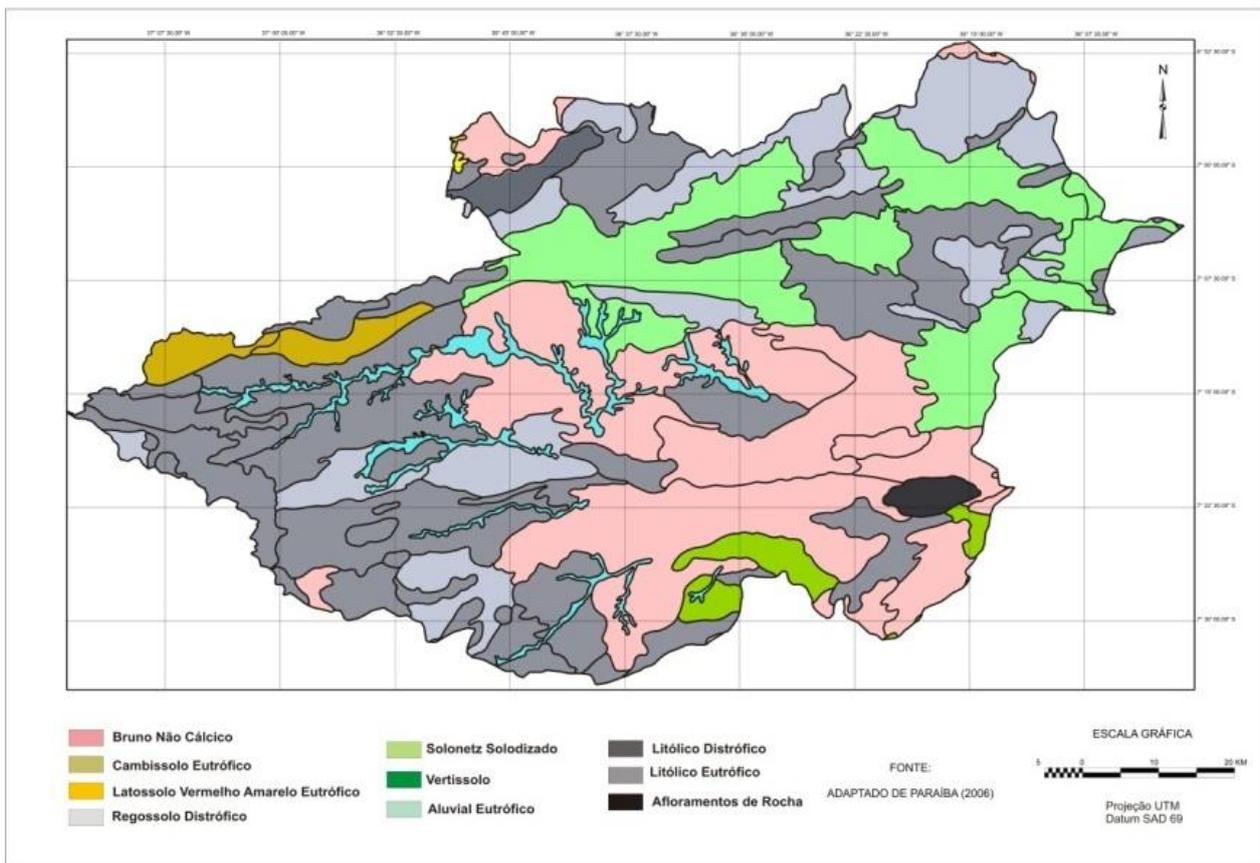


Figura 2. Mapa de solos da área de estudo. Fonte: Adaptado de PARAÍBA (2006).

2. Material e métodos

Para geração do mapa de declividade foi utilizado um mosaico digital de dados altimétricos do projeto *SRTM/NASA*, disponibilizado pela EMBRAPA (<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>), dos quadrantes SB24ZB, SB24ZD, a partir dos quais, foram geradas as curvas de nível com equidistância de 10 metros. Em seguida utilizando o software SPRING, por modelação em grade triangular foi gerado o mapa da declividade do terreno, classificado de acordo com os limites das classes apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de declividade como proposta ao risco de degradação das terras

Classes de Declividade	Limites de Classe (%)
Muito baixa	0 - 3
Baixa	3 - 6
Média	6 - 12
Alta	12 - 20
Muito Alta	> 20

Para gerar o mapa de vegetação foi utilizada a imagem do satélite *LANDSAT 5-TM*, disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), da órbita 215 ponto 65 de 28/10/2009, correspondente ao período seco da região.

Como auxílio para a seleção de alvos terrestre relativos a vegetação de caatinga e outros usos da terra foi utilizado o programa *Google Earth*, onde foram pré-selecionados 212 alvos terrestres e planejado as vias de acesso para as visitas. No campo os alvos foram identificados, georreferenciados e

descritos, conforme a metodologia adotado por Chaves *et al.* (2008) para a classificação da vegetação caatinga, onde são considerados quatro níveis categóricos: Tipo, Grupo, Classe e Subclasse.

Tipo – separa a vegetação da caatinga de outras coberturas da terra;

Grupo – separa a vegetação de acordo com o porte dominante (Figura 3; Tabela 2).

Tabela 2. Índice de porte da biomassa para as diferentes classes

Classe de Vegetação	Índice de Porte (Ip)
Arbórea >4,5 m	1,00
Subarbórea 3,0 a 4,5 m	0,75
Arbustiva 1,5 a 3,0 m	0,50
Subarbustiva < 1,5 m	0,25
Sem Vegetação	0,00

Fonte: Chaves *et al.* (2008).

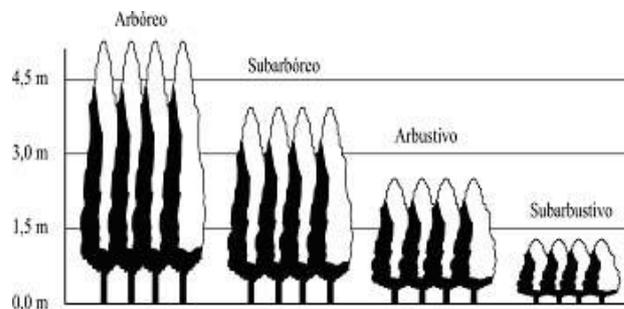


Figura 3. Classificação das plantas quanto ao porte. Fonte: Chaves *et al.* (2008).

Classes – dentro de cada grupo, as classes separam as comunidades vegetacionais de diferentes feições morfológicas, sendo descrita pela ordem decrescente dos portes dominantes (Figura 4), quando identificáveis, até o terceiro estrato, desde que este represente mais de 15% do conjunto da vegetação observada – Ex. Arbórea subarbórea arbustiva.

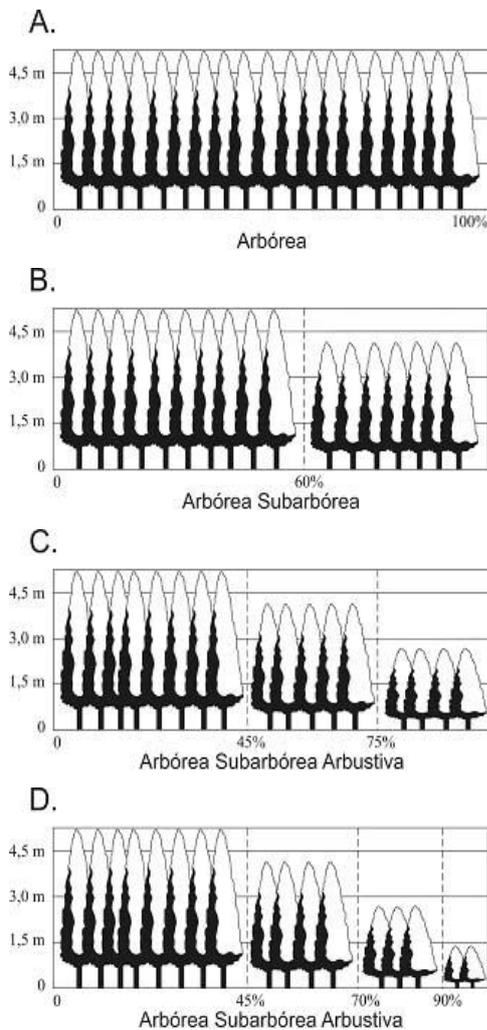


Figura 4. Classificação da vegetação de caatinga quanto à classe. Fonte: Chaves *et al.* (2008).

Subclasse – representa o grau de cobertura da vegetação em termos de porcentagem de recobrimento da superfície do solo, tendo os seguintes graus de recobrimento (Tabela 3; Figura 5).

Tabela 3. Subclasses de vegetação, graus e índices de recobrimento

Subclasse de Vegetação	Grau de Recobrimento	Índice de Recobrimento (Ir)
Muito densa	> 80%	1,0
Densa	60 a 80%	0,8
Aberta	40 a 60%	0,6
Rala	20 a 40%	0,4
Muito rala	< 20%	0,2
Sem Vegetação		0

Fonte: Chaves *et al.* (2008).

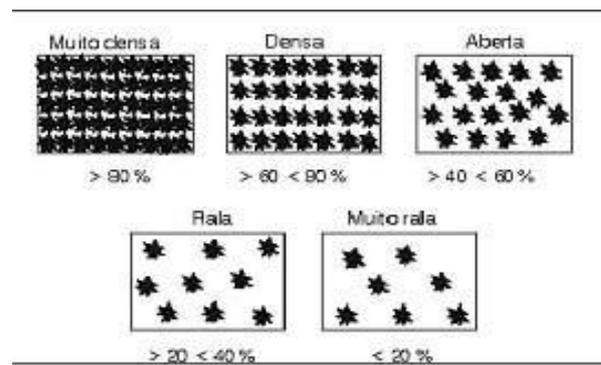


Figura 5. Classificação das plantas quanto à subclasse. Fonte: Chaves *et al.* (2008).

Conforme Chaves *et al.* (2008), é calculado para cada classe de vegetação homogênea quanto ao porte das plantas, o valor do IBVL, que é o produto entre os valores correspondentes às características das plantas em relação ao porte (I_p) e ao recobrimento do solo (I_r); como exemplo, uma caatinga subarbórea aberta, teria o seguinte índice de biomassa (Equação 1):

$$IBVL = I_p * I_r \quad (1)$$

$$\therefore 0,75 * 0,6 = 0,45$$

Atribuindo-se valores numéricos relativos às classes de vegetação, quanto ao porte, Índice de Porte (I_p), e quanto ao grau de recobrimento do solo pela vegetação, Índice de Recobrimento (I_r) (Tabelas 2 e 3), obtêm-se pelo produto destes índices, o Índice de Biomassa da Vegetal Lenhosa (IBVL), que varia de 0 a 1 (Equação 2).

IBVL

$$= \frac{(I_{p1} * 3) + (I_{p2} * 2) + (I_{p3} * 1)}{6} * I_r \quad (2)$$

Para classes compostas de mais de um porte, o IBVL é determinado pela ponderação do grau de predominância de cada um dos portes descritos. Deve-se atribuir o peso 3

como fator de ponderação para o índice do primeiro componente da classe, o peso 2 para o segundo e o 1 para o terceiro; desta forma, uma caatinga Arbustiva subarbórea arbórea aberta (Figura 6), terá o seguinte índice de biomassa:

$$\begin{aligned}
 IBVL &= \frac{(0,5 * 3) + (0,75 * 2) + (1 * 1)}{6} \times 0,6 \\
 &= 0,4
 \end{aligned}$$

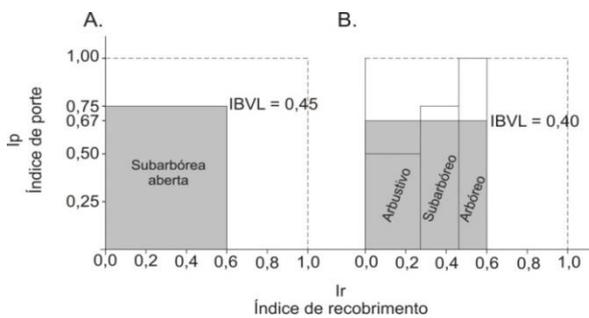


Figura 6. Representação gráfica do cálculo do Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa para comunidades de vegetação descritas como Subarbórea aberta (A) e Arbustiva Subarbórea Arbórea aberta (B).

Fonte: Chaves *et al.* (2008).

Nesta etapa as imagens foram importadas para o *software ERDAS*, onde foi realizada a correção radiométrica. Após a obtenção das refletâncias em cada banda, foi obtido o *NDVI*, através da equação 3 (Silva *et al.*, 2005).

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (3)$$

em que: *NIR* = banda 4; *RED* = banda 3.

Após a obtenção da imagem do *NDVI*, foi realizada a extração dos valores de seis pixels em torno de cada ponto identificado no campo, criando uma planilha com os valores do *NDVI*, a média, as informações obtidas em campo com as classes de maior

predominância de porte e recobrimento, como também o cálculo de seus respectivos valores de *IBVL*, sendo realizada a análise de correlação entre o *IBVL* e o *NDVI*. Foi obtido o desvio padrão médio de cada classe de porte, com eliminação dos pontos discrepantes nos valores máximos e mínimos, denominados ruídos, sendo separados, permitindo o escalonamento em 9 classes de cobertura vegetal (Tabela 4).

Tabela 4. Classes de vegetação e valores de refletância

Classes de IBVL	Valores de NDVI
Arbórea muito densa	>0,350
Arbórea densa	0,320 a 0,350
Subarbórea densa	0,300 a 0,320
Subarbórea arbustiva densa	0,285 a 0,300
Arbustiva subarbórea densa	0,265 a 0,285
Arbustiva subarbórea aberta	0,250 a 0,265
Arbustiva subarbustiva aberta	0,225 a 0,250
Subarbustiva arbustiva rala	0,200 a 0,225
Subarbustiva arbustiva muito rala	0,150 a 0,200
Solo exposto	0,000 a 0,150
Corpos d'água	-1 a 0,000

Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do *NDVI* foi criada uma base de dados no *SPRING 5.2*, na projeção *UTM/SAD69*, importando a imagem-índice de vegetação e classificando-a com a utilização do programa *LEGAL* (Linguagem Espacial Algébrica) de acordo com a Tabela 5.

A estimativa do Índice de Degradação da Vegetação (*IDV*) desenvolvida por Chaves *et al.* (2008), foi determinada pela diferença entre o índice de biomassa da vegetação lenhosa (*IBVL*), para uma condição hipotética de máxima preservação, e a condição da

vegetação que se quer avaliar conforme a equação 4.

$$IDV = \left(\frac{1}{IBVL} \right) \quad (4)$$

Sendo 1, o valor do índice de biomassa da vegetação lenhosa (IBVL) para condição de máxima preservação; e IBVL, o índice de biomassa para a condição de vegetação que se quer avaliar.

A vulnerabilidade das terras neste trabalho é uma previsibilidade que se faz do grau de degradação, quando se admite que, neste ambiente semiárido de chuvas tropicais, quanto mais desprotegida da vegetação e

declivosa é a terra, maior é o risco à erosão a que está sujeita. Neste caso, o índice de vulnerabilidade das terras (IVT) é determinado pelo produto entre o índice de vulnerabilidade pela vegetação (IVV) e o índice de vulnerabilidade pela declividade (IVD), conforme a Equação 5.

Para o mapeamento da vulnerabilidade das terras da bacia foi utilizada a linguagem do LEGAL do programa SPRING, cruzando os dados relativos aos parâmetros da vegetação e da declividade, Tabela 5, conforme a operação da Equação 5.

$$IVT = IVV \times IVD \quad (5)$$

Tabela 5. Classes e índices de vegetação e de declividade para estimativa da vulnerabilidade das terras

Classe de vegetação	Vegetação		Declividade IVD	Vulnerabilidade	
	IBVL*	IVV		IVT	Classes
Arbórea muito densa	1,00	1,00	0 - 3	0 - 6	Muito baixa
Arbórea densa	0,80	1,25			
Subarbórea Arbórea densa	0,68	1,47	3 - 6	6 - 12	Baixa
Subarbórea densa	0,60	1,67			
Arbustiva Subarbórea densa	0,48	2,08	6 - 12	12 - 24	Moderada
Arbustiva Subarbórea aberta	0,36	2,78			
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,24	4,17	12 - 20	24 - 40	Alta
Subarbustiva Arbustiva rala	0,14	7,14			
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,07	14,28	> 20	> 40	Muito Alta
Solo exposto	0,05	20,00			

*IBVL, Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa; IVV, Índice de Vulnerabilidade pela Vegetação; IVD, Índice de Vulnerabilidade pela Declividade; IVT, Índice de Vulnerabilidade das Terras.

3. Resultados e discussão

A presença de nuvens na região do Cariri Paraibano é uma restrição frequente à seleção de imagens de satélite, mesmo para o período seco, limitando a liberdade de escolha em datas pré-estabelecidas.

Outro fato observado por Francisco *et al.* (2012b), para o ambiente de caatinga é a influência da umidade antecedente a data da

imagem, sua quantidade e distribuição na área de estudo, que desuniformiza o padrão de resposta espectral da vegetação, com o restabelecimento da folhagem e da atividade fotossintética nas área úmidas, causando sobre estimativa dos dados de vegetação. Desta forma, procurou-se selecionar uma imagem mais recente e com a menor interferência possível de nuvens e umidade.

Relação índice de vegetação com biomassa lenhosa

Os dados da Figura 7 mostram que houve uma boa correlação entre as leituras espectrais (*NDVI*) com o índice da vegetação (*IBVL*) obtido das descrições de campo, com um coeficiente de determinação de 0,8456. Este resultado corrobora as observações de Guimarães (2008) e de Francisco *et al.* (2012b), de que o período seco é a melhor época para a realização do diagnóstico e mapeamento da vegetação de caatinga.

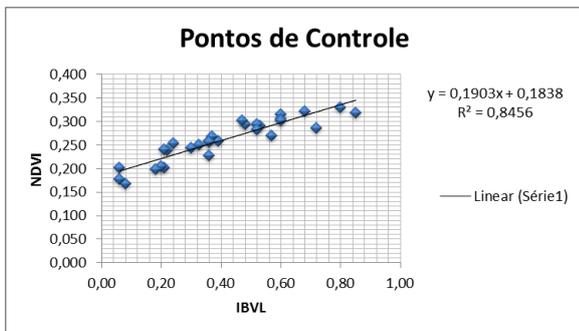


Figura 7. Correlação entre leituras de *NDVI* e *IBVL* da vegetação de caatinga.

Como mostra a Figura 8, a boa correlação entre *NDVI* e *IBVL*, permitiu fazer uma discriminação de nove classes de vegetação, com baixa dispersão de leituras em cada classe de vegetação. Na média, os valores das leituras do *NDVI* variaram de 0,18 a 0,33, para valores de biomassa (*IBVL*) de 0,05 a 0,85. Observa-se que muitos dos valores mais altos das leituras estão relacionados às áreas de serra e de várzea (Figura 9), o que podem estar sendo influenciado pelo efeito de sombra nas áreas declivosas (Maldonado, 2001), ou a influência

da umidade nas várzeas, com a persistência de folhagem fotossinteticamente ativa, como observou Guimarães (2008).

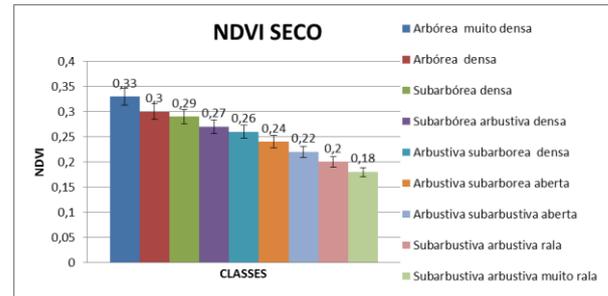


Figura 8. Valores de *NDVI* das classes de vegetação de caatinga.

Cobertura da vegetação e risco a degradação da terra

Quanto menor é a cobertura da terra pela vegetação maior é o risco de degradação. Embora não tenha sido possível separar a cobertura da vegetação de caatinga dos diferentes usos agrícola e pecuário, e de áreas degradadas (Figura 9), é possível afirmar que as áreas menos protegidas pela vegetação, representadas pelas classes de mapeamento, solo exposto e de vegetação de caatinga Subarbustiva arbustiva rala e muito rala, abrangem uma superfície de 1.687,1 km², que corresponde a 29,6% do total da bacia (Tabela 6). Estas são áreas que se distribuem, em grande parte, nas laterais e ao longo da drenagem (Figura 9), e estão relacionadas com a ocorrência dos solos Luvisolos Crômicos vérticos (Figura 2). Estes dois fatos, estão antropologicamente associados ao histórico de ocupação das áreas sertaneja, ou seja, a proximidade da água e a fertilidade alta destes solos, tradicionalmente utilizados, até a década de 70 do século passado, com a

cultura do algodão e a criação de gado (Souza *et al.*, 2009; Alves *et al.*, 2009).

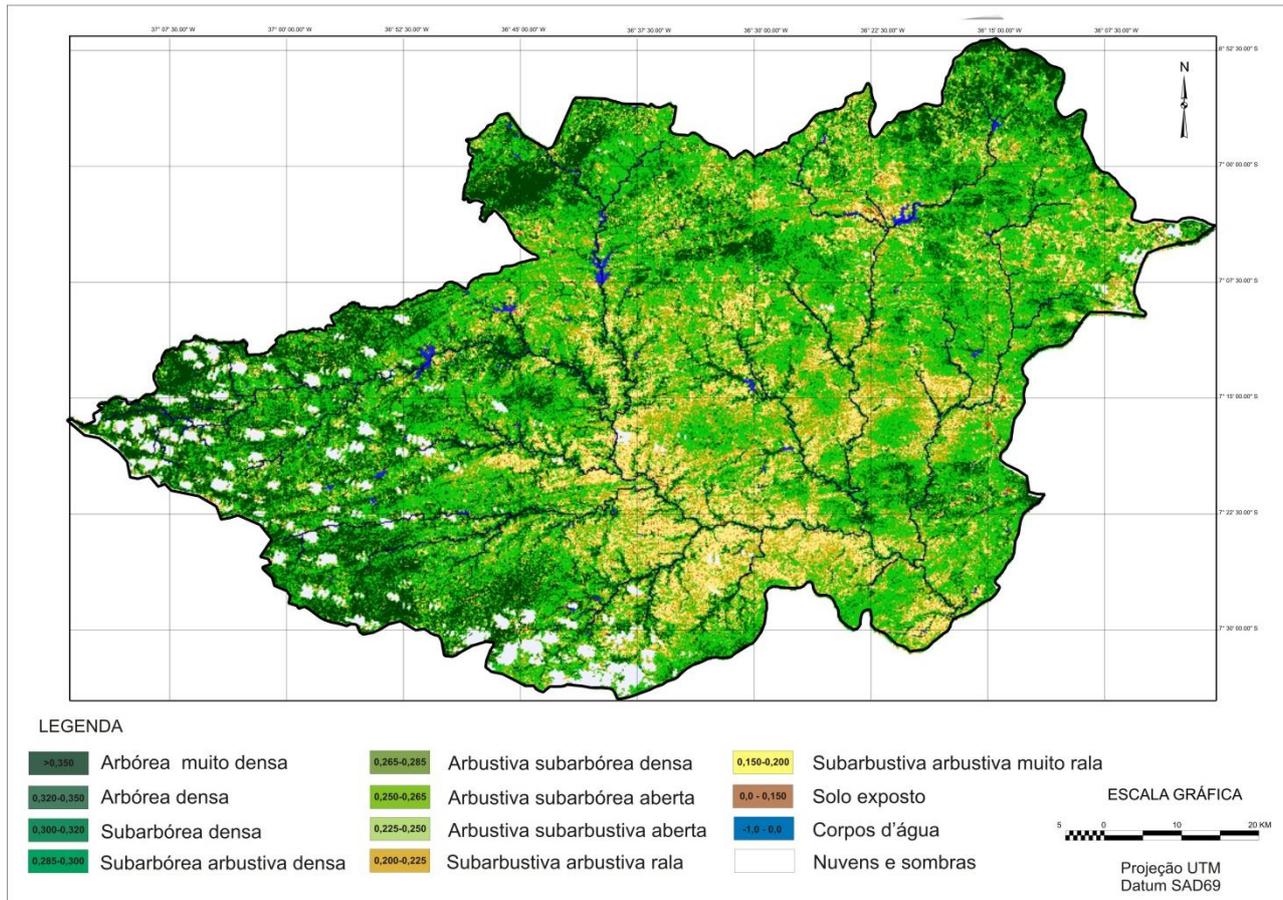


Figura 9. Mapa de tipologias da vegetação de caatinga.

Considerando as área de vegetação de caatinga aberta, que segundo a classificação proposta por Chaves *et al.* (2008), têm de 40 a 60% da superfície do terreno coberta pela vegetação lenhosa, e, como se sabe, são também áreas de pastejo para os animais, Tabela 6, o que aumenta a sua vulnerabilidade à erosão, correspondem a uma área de 1.687,9 km², que representa 29,7% da área da bacia. Estes padrões de vegetação ocupam posições intermediárias na paisagem, e normalmente ocorrem sobre solos mais rasos e declivosos, inapropriados para agricultura.

Numa condição de maior proteção do solo, as classes de vegetação densa, somam

1.687,9 km², um percentual de 36,7% da área da bacia, e ocupam em grande parte, áreas de mais difícil acesso, de solos rasos e declivosos, fato constatado nos estudos sobre uso das terras no semiárido (Paes-Silva *et al.*, 2003; Souza *et al.*, 2009; Melo *et al.*, 2011).

Declividade e risco de degradação da terra

Pelos dados apresentados na Tabela 7, pode se observar que para a metodologia utilizada, que 59,3% das terras da bacia, apresentam declividade na classe muito baixa, 0 a 3% de declividade, o que representa um baixo risco de erosão. Somando-se a classe baixa, este percentual chega a 87%, o que

vem a caracterizar a predominância de um Taperoá. relevo plano à suave ondulado na bacia do

Tabela 6. Distribuição percentual e em área das classes de vegetação e índices correspondentes

Classes de vegetação	IBVL	IVV	(km ²)	%
Arbórea muito densa	1,00	1,00	420,5	7,4
Arbórea densa	0,80	1,25	281,9	5,0
Subarbórea densa	0,68	1,47	344,8	6,1
Subarbórea arbustiva densa	0,60	1,67	370,3	6,5
Arbustiva subarbórea densa	0,48	2,08	668,3	11,7
Arbustiva subarbórea aberta	0,36	2,78	584,2	10,3
Arbustiva subarbustiva aberta	0,24	4,17	1.103,7	19,4
Subarbustiva arbustiva rala	0,14	7,14	917,9	16,1
Subarbustiva arbustiva muito rala	0,07	14,28	712,9	12,5
Solo exposto	0,05	20,00	56,3	1,0
Corpos d'água	-	-	32,3	0,6
Nuvens	-	-	192,3	3,4
Área Total	0,68	1,47	5.685,4	100,0

Tabela 7. Distribuição percentual e em área das classes de declividade

Classes	Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)
Muito baixa	0 a 3	3.377,0	59,3
Baixa	3 a 6	1.575,8	27,7
Média	6 a 12	501,8	8,8
Alta	12 a 20	153,5	2,7
Muito Alta	> 20	85,2	1,5
Total		5.686,3	100,00

Confrontando-se o mapa de declividade (Figura 10), com o mapa de solos (Figura 2), observa-se que a distribuição das áreas mais planas estão associadas às diferentes classes de solos que ocorrem na bacia, com predominância para os Planossolo Nátrico e Luvisolo Crômico vértico com maiores áreas de abrangência na área de estudo, dados que corroboram com os estudos de Francisco *et al.* (2012) sobre o mapeamento das terras do Estado para mecanização agrícola.

As áreas mais declivosas da bacia estão relacionadas à solos Neossolos Litólicos, que se distribuem, em maior extensão, no terço sudoeste da bacia, e no

meio-norte na serra da Viração, entre os municípios de Assunção e Junco do Seridó.

Vulnerabilidade das terras

A estimativa da vulnerabilidade das terras a degradação, é na proposta deste trabalho, resultante da interação dos índices da cobertura da vegetação e do grau de declividade do terreno. Observando-se os dados da Tabela 9, pode se afirmar que a vulnerabilidade das terras da bacia do Taperoá é predominantemente muito baixa e baixa em 61,1% da sua área.

Analisando os fatores determinantes da vulnerabilidade, observa-se que, apesar dos elevados níveis de degradação da vegetação, 29,6% da área com solo exposto e vegetação

muito rala e rala e 29,7% com vegetação aberta, Tabela 6, a grande predominância dos terrenos planos (0 a 3%) em 59,3% e suave

ondulado, em 27,7% da bacia (Tabela 7), minimizam o risco de degradação das terras.

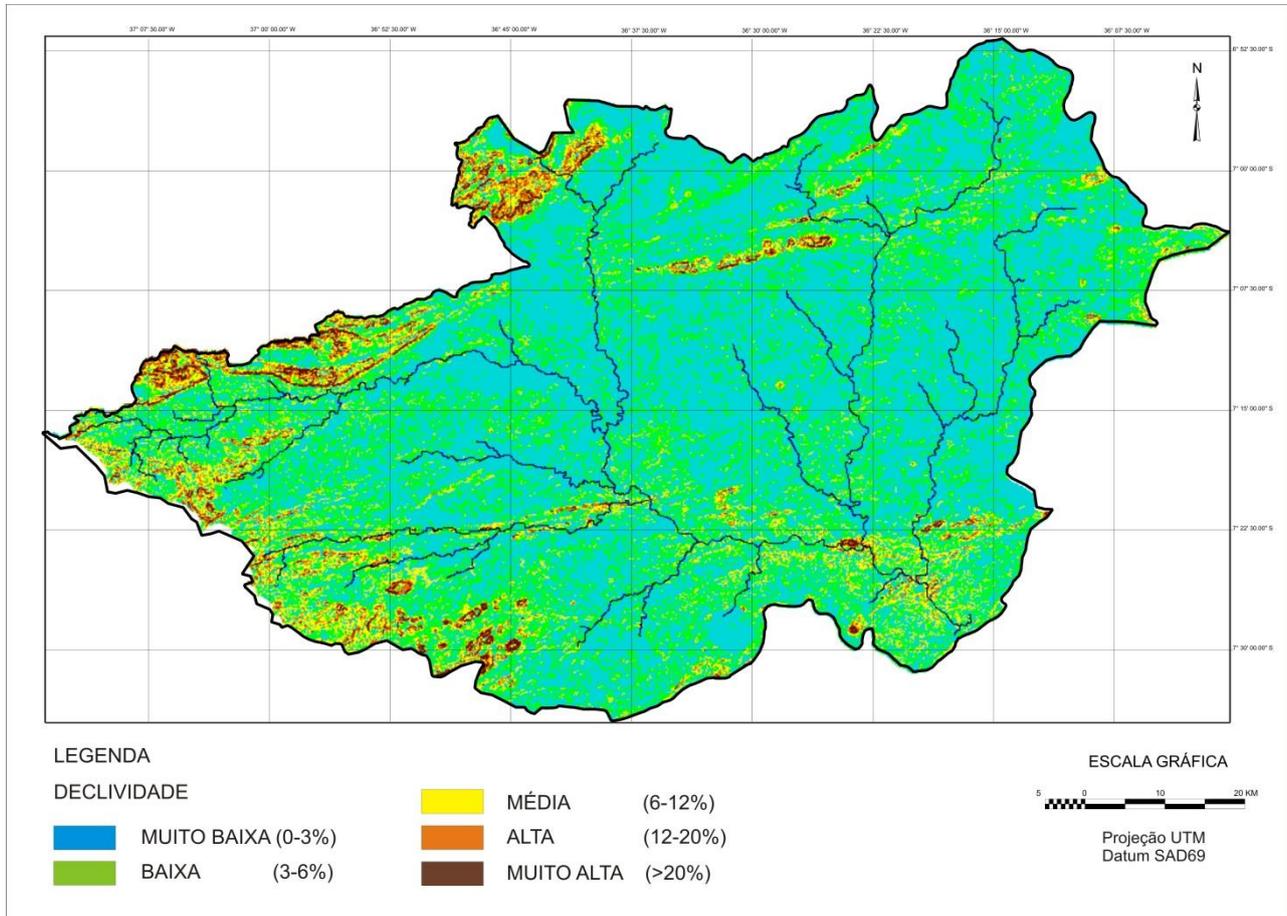


Figura 10. Mapa de classes de declividade das terras.

Tabela 9. Distribuição em área e percentagem das classes de vulnerabilidade das terras

Classes de Vulnerabilidade	IVT*	Áreas	
		km ²	%
Muito Baixa	0 - 6	1.674,87	29,5
Baixa	6 - 12	1.795,26	31,6
Moderada	12 - 24	1.122,41	19,7
Alta	24 - 40	731,52	12,9
Muito Alta	> 40	329,76	5,8
Corpos d'água	-	32,5	0,6
Total	-	5.686,4	100,0

* IVT – Índice de Vulnerabilidade das Terras.

Observa-se na Figura 10, que a distribuição das classes muito baixa e baixa de vulnerabilidade a degradação das terras ocorrem de forma difusa, por toda a área da

bacia. E que, a classe moderada, com um percentual de ocorrência de 19,7% da área total, ocorre quase sempre associada a classe baixa de vulnerabilidade, em todas as áreas de ocorrência.

As classes de vulnerabilidade alta (12,9%) e muito alta (5,8%) concentram-se numa grande área ao longo do rio Taperoá, onde a baixa cobertura da vegetação, mais do que o grau de declividade do terreno é responsável pela vulnerabilidade à degradação das terras. Nas áreas mais elevadas e próximas aos divisores, no terço

sudoeste da bacia, o efeito da declividade, em muitos casos, é minimizado pela densidade do recobrimento da vegetação. Em muitas das áreas, dispersas por toda a bacia, a vulnerabilidade alta está associada à combinação de graus moderados e altos de declividade e recobrimento da vegetação.

O efeito de proteção da cobertura da vegetação é um dado notável, Albuquerque *et al.* (2005), trabalhando com resultados de pesquisa da Estação Experimental de Sumé,

município vizinho a área de estudo, comparando perdas de solo de diferentes tratamentos com as perdas da parcela padrão, de 65,4 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (sem cobertura da vegetação e cultivada no sentido do declive), observaram que a área com cobertura preservada de caatinga reduziu em 715 vezes as perdas de solo, enquanto que o plantio de palma forrageira reduziu em 1,8 e 3,9 vezes, quando plantada no sentido do declive e em nível, respectivamente.

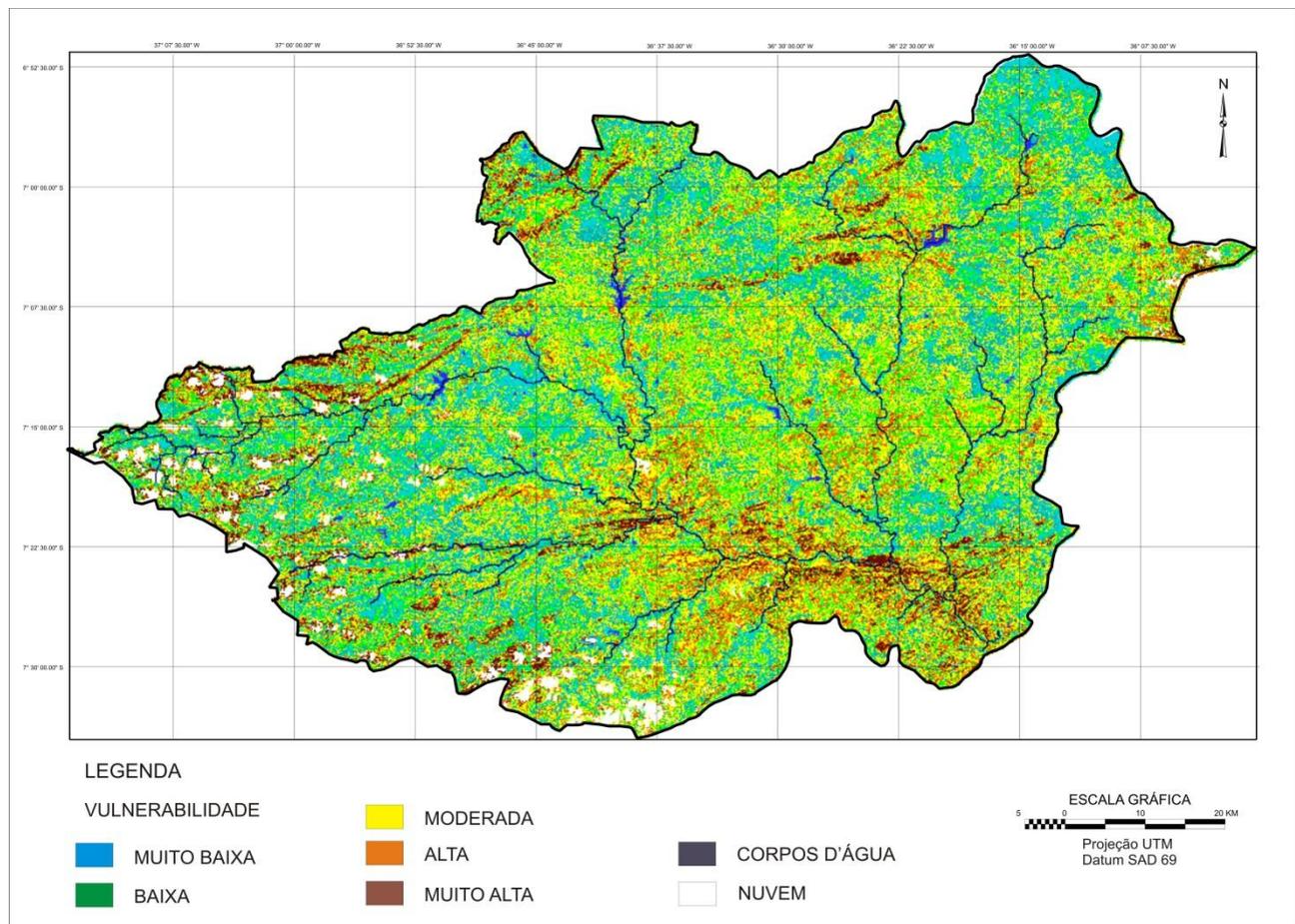


Figura 10. Mapa de vulnerabilidade das terras.

4. Conclusões

A correlação entre índices espectral de imagem de satélite (*NDVI*) e de biomassa lenhosa da caatinga (*IBVL*), obtidos no período seco, apresentou um alto coeficiente

de determinação ($r^2 = 0,8456$), permitindo classificar, com alto grau de confiabilidade nove padrões de vegetação.

Na média, os valores das leituras do índice de vegetação da diferença normalizada

(NDVI), para o período seco, variaram de 0,18 a 0,33, para valores de biomassa (IBVL) de 0,05 a 0,85.

A vulnerabilidade das terras a degradação na bacia do Taperoá é muito baixa (29,5%) e baixa (31,6%), perfazendo um total de 61,1% da área da bacia.

Os níveis de degradação da vegetação, representados por áreas de solo descoberto e de vegetação subarborescente rala e muito rala (29,6%), e de áreas de vegetação aberta (29,7%), mais do que a declividade da terra, predominantemente plana a suave ondulada em 87% da área, é que determinam a vulnerabilidade das terras na bacia.

A vulnerabilidade alta ocorre em 12,9% da área da bacia, concentrando-se em grande parte, ao longo do rio Taperoá até a sua metade, aí devido à predominância da baixa e muito baixa cobertura da vegetação, por outro lado, em muitas áreas declivosas do terço sudoeste da bacia a vulnerabilidade é amenizada pela maior proteção da cobertura da vegetação.

A vulnerabilidade moderada ocorre de forma difusa, em 19,7% da área da bacia, resultante predominantemente, da combinação de condições moderadas de cobertura vegetal e de declividade do terreno.

6. Agradecimentos

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor, e ao CNPq pelo apoio financeiro através do Projeto de

Pesquisa Nº 35/20109 INSA/CT-HIDRO-CNPq.

5. Referencias

Albuquerque, A.W.; Moura Filho, G.; Costa, J.P.V.; Souza, J.L. (2005). Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 2, p.153-160.

AESA (2011). Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em 25 de março de 2011.

Alves, J.J.A.; Araújo, M.A. de; Nascimento, S.S. do. (2009). Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. Revista Caatinga, v. 22, n. 3, p. 126-135.

Barbosa, M.R.V.; Lima, I.B. de; Lima, J.R.; Cunha, J.P. da; Agra, M. de F.; Thomas, W.W. (2007). Vegetação e flora no Cariri paraibano. Oecologia brasiliensis, v. 11, n. 3, p.313-322.

Baret, F.; Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sensing of Environment, v. 35, p. 161-173.

BRASIL. (2005). Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos.

Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil. Brasília-DF, 213p.

Câmara, G.; Medeiros, J.S. de. (1998). Geoprocessamento para projetos ambientais. 2.ed. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, 194p.

Chaves, I. de B.; Lopes, V.L.; Ffolliott, P.F.; Paes-Silva, A.P. (2008). Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. *Revista Caatinga*, v. 21, n. 2, p. 204-213.

Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de. (2012). Mapeamento das terras para mecanização agrícola - estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 2, p. 233-249.

Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Lima, E.R.V. de.; Bandeira, M.M.; Silva, B.B. da. (2012a). Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 3, p. 676-693.

Francisco, P.R.M.; Chaves, I. de B.; Chaves, L.H.G.; Lima, E.R.V. de. (2012b). Detecção de mudança da vegetação de caatinga. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 5, n. 6. p. 1473-1487.

Guimarães, A.P. (2008). Análise da distribuição espectral da vegetação da bacia hidrográfica do açude Soledade, por técnicas de sensoriamento remoto. 49 p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) Universidade Federal da Paraíba. Areia.

Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Fan, C.J. (1980). Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, n. 46, p. 651-656.

IBGE (2009). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 12 março de 2011.

Maldonado, F.D.; Santos, J.R. dos; Carvalho, V.C. de. Rotação espectral controlada como alternativa em análise por componentes principais para detecção de mudanças em região do semiárido. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10, Foz do Iguaçu, 2001. Anais...Foz do Iguaçu: INPE, 2001. p. 627-630.

Melo, E.T.; Sales, M.C.L.; Oliveira, J.G.B. (2011). Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. *RA'EGA*, n. 23, p. 529-533.

NASA (2002). USGS. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission Home page.

Paes-Silva, A.P.; Chaves, I. de B.; Sampaio, E.V.S.B. (2003). Cobertura vegetal da bacia hidrográfica do açude Namorado no Cariri oriental paraibano. *Agropecuária Técnica*, v. 24, n. 1, p. 47-59.

PARAÍBA. (2006). Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo e Atlas. Brasília - DF, 112p.

Ribeiro, M.R.; Sampaio, E.V.S.B.; Galindo, I.C.L. (2009). Os solos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro. In: *Tópicos em ciência do solo*, v. 6, 497p. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, 413-449p.

Silva, B.B.; Lopes, G.M.; Azevedo, P.V. (2005). Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 – TM. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 243-252.

Souza, B.I. de; Suertegaray, D.M.A.; Lima, E.R.V. de. (2009). Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. *Mercator*, v. 8, n. 16, p. 217-232.

Varejão-Silva M.A.; Braga, C.C.; Aguiar M.J.N.; Nietzsche M.H.; Silva, B.B. (1984). *Atlas Climatológico do Estado da Paraíba*. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba.