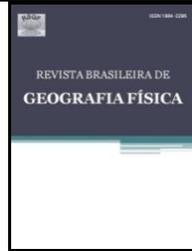




ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: [www.ufpe.br/rbgf](http://www.ufpe.br/rbgf)



## Detecção de Mudança da Vegetação de Caatinga<sup>1</sup>

Paulo Roberto Megna Francisco<sup>2</sup>; Iêde de Brito Chaves<sup>3</sup>; Lúcia Helena Garófalo Chaves<sup>4</sup>; Eduardo Rodrigues Viana de Lima<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Parte da tese do primeiro autor; <sup>2</sup>Doutorando em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: [paulomegna@ig.com.br](mailto:paulomegna@ig.com.br); <sup>3,5</sup>Professor - Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Email: [iedechaves@hotmail.com](mailto:iedechaves@hotmail.com), [eduvianalima@gmail.com](mailto:eduvianalima@gmail.com); <sup>4</sup>Professor - Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Email: [lhgchaves@hotmail.com](mailto:lhgchaves@hotmail.com).

Artigo recebido em 02/09/2012 e aceito em 11/12/2012

### RESUMO

A caatinga é um bioma de grande diversidade que cobre a maior parte da área de clima semiárido brasileiro. Várias técnicas já foram utilizadas com o objetivo de determinar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélite e índices de vegetação foram desenvolvidos para auxiliar no mapeamento da vegetação e otimizar os parâmetros presentes nas medidas multiespectrais utilizadas com esse fim. Este trabalho teve como objetivo mapear a vegetação da caatinga, e selecionar um índice de vegetação usando o IBVL para validação dos resultados e detectar mudanças ocorridas. Concluiu-se que o melhor índice que se correlaciona com a cobertura vegetal da caatinga foi o Normalized Difference Vegetation Index, do período seco, e que a metodologia utilizada mostrou-se eficiente para caracterização, classificação e separação em 9 classes. A maior recuperação ocorreu em áreas de drenagem e em declividade mais acentuada. A classe detectada de não mudança ocorreu em áreas de menor cobertura vegetal e de solos propensos à erosão. Estimou-se que 38,71% da área da bacia do rio Taperoá esteja em processo de desertificação.

Palavras-chave: Semiárido, Geoprocessamento, Degradação.

### Change Detection of Vegetation Caatinga

#### ABSTRACT

The caatinga biome is a large diversity that covers most of the area of Brazilian semi-arid climate. Several techniques have been used in order to determine quantitatively and qualitatively the state of vegetation from satellite images and vegetation indices were developed to assist in vegetation mapping and optimizing the parameters present in the multispectral measurements used for this purpose. This study aimed to map the vegetation of the caatinga, and select a vegetation index using IBVL to validate the results and detect changes. It was concluded that the best index that correlates with the vegetation of the caatinga was the Normalized Difference Vegetation Index, the dry period, and that the methodology used was efficient for characterization, classification and separation into nine classes. The best recovery occurred in areas of drainage and steeper slope. The class detected no change occurred in areas with less vegetation cover and soils prone to erosion. It was estimated that 20.21% of the area of the river basin Taperoá is in an advanced process of desertification.

Keywords: Semiarid, Geoprocessing, Degradation.

#### 1. Introdução

A caatinga é um bioma exclusivamente brasileiro que cobre grande parte da área de clima semiárido do Nordeste brasileiro

(BRASIL, 2005). Caracteriza-se por apresentar uma grande diversidade de paisagens e segundo Trovão et al. (2007), o estudo e conservação dessa biodiversidade se constituem um dos maiores desafios do conhecimento científico brasileiro.

\* E-mail para correspondência: [paulomegna@ig.com.br](mailto:paulomegna@ig.com.br) (Francisco, P. R. M.).

Várias técnicas já foram utilizadas com o objetivo de se avaliar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélites e índices de vegetação foram então, desenvolvidos a fim de reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais. Tais índices têm sido usados na estimativa de vários parâmetros da vegetação como, por exemplo, a quantidade de biomassa verde (Elvidge & Lyon, 1985). Embora muitos índices vegetativos existam, o mais usado e conhecido atualmente é o denominado índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) proposto por Rouse em 1973, que permite o monitoramento da densidade e do estado de vigor da vegetação verde sobre a superfície terrestre. Chaves et al. (2008), propôs um método com o qual se pode descrever e avaliar a vegetação da caatinga em seus diferentes estágios de antropização, utilizando-se o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL). É um método de classificação prático, de fácil aplicação auxiliando na interpretação de imagens de satélites.

Portanto este trabalho tem como objetivo selecionar um índice de vegetação usando o IBVL para validação dos resultados, mapear a vegetação da caatinga, e detectar mudanças ocorridas no período.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo compreende a Bacia

Hidrográfica do Rio Taperoá, com uma extensão de 5.686,37 km<sup>2</sup>, localizada no Planalto da Borborema, estado da Paraíba cujo principal rio é o Taperoá de regime intermitente. É uma área aberta, sobre o planalto, com relevo suave ondulado, altitudes predominantemente variando entre 400 à 600 m e drenagem voltada para o leste, o que facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando temperaturas amenas (<26<sup>0</sup>C), e uma maior amplitude térmica diária. Nas áreas com relevo mais deprimido a precipitação média anual é inferior a 400 mm, aumentando com a altitude no sentido dos divisores da drenagem.

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).

Os solos representativos dos diferentes ambientes semiáridos diferem pela diversidade geológica e geomorfológica, ocorrendo com maior frequência, os Neossolos Litólicos Eutróficos, Luvisolo Crômico vértico, Planossolo Solódico e Neossolo Regolítico Eutrófico (PARAÍBA, 2006). A vegetação é do tipo caatinga hiperxerófila e de acordo com Sousa et al. (2007), as espécies mais encontradas são: marmeleiro (*Croton sonderianus* Muell. Arg.), jurema preta (*Mimosa tenuiflora* Willd. Poiret.), pereiro (*Aspidosperma pyrifolium* Mart.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*

Tul), angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e cactáceas diversas.

Neste trabalho foi utilizado O Google Earth online para pré-selecionar os alvos terrestres representativos dos diferentes tipos de vegetação. As áreas pré-selecionadas foram visitadas e georreferenciadas com o GPS e descrita e avaliada a vegetação em seus diferentes estágios de antropização utilizando o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), método proposto por Chaves et al. (2008), que foi desenvolvida 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, podendo auxiliar na interpretação automática de imagens de satélite, contribuindo para a agilização de trabalhos de mapeamento.

Neste trabalho foram utilizadas imagens do satélite TM/LANDSAT 5, órbita 215, ponto 65 de 25/11/1996, 29/10/2009 (período seco) e de 24/05/2010 (período úmido). As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foram executadas as correções atmosférica e radiométrica, e

obtidas as cartas de radiância e reflectância, de acordo com o modelo obtido por Bastiaanssen et al., 2005 (Silva et al., 2005a). Nesta etapa as imagens foram importadas para o software ERDAS 8.5, empilhadas e após, para visualização e realização de operações matemáticas intra e inter bandas, utilizou o algoritmo para obtenção da correção atmosférica e radiométrica (refletância e radiância) sendo necessários alguns procedimentos computacionais de processamento digital de imagens, pois todas as operações são realizadas “pixel a pixel” nas diferentes bandas espectrais das imagens de satélite selecionadas, segundo Silva et al. (2005a).

Foi desenvolvido um modelo com o Model Maker do Erdas, destinado às tarefas de calibração radiométrica. Neste procedimento utilizou a relação (Equação 1) proposta por Markham & Baker (1987):

$$\frac{L_{\lambda_i} = a_i + b_i - a_i}{255} * ND \quad (1)$$

onde:  $a_i$  e  $b_i$  são as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ ), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e  $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  e  $7$ , corresponde às bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

De posse dos mapas de radiância espectral de cada banda, informações sobre o  $\cos Z$  e irradiância espectral no topo da atmosfera (Tabela 1) para cada banda, estimou-se a refletância espectral planetária

em cada banda, através da equação 2 (Bastiaanssen, 1995):

$$r_{pi} = \frac{L_{\lambda} * \pi}{K \lambda * \cos Z * dr} \quad (2)$$

onde:  $r_{pi}$  é refletância planetária da banda  $i$ ,  $K_{\lambda}$  é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera (Tabela x),  $Z$  é o ângulo zenital do Sol e  $dr$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra – Sol -  $ds$ , em unidades

astronômicas, que é dada pela equação 3:

$$ds = 1 + 0,0167 \operatorname{sen} \left[ \frac{2 \pi (J - 93,5)}{365} \right] \quad (3)$$

onde:  $J$  é o dia Juliano e o argumento da função seno se encontra em radiano. Por sua vez, o ângulo Zenital do Sol não precisou ser calculado, pois o mesmo se encontrava disponível no cabeçalho das imagens adquiridas para este trabalho.

**Tabela 1.** Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do LANDSAT 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – a e máxima – b) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Comprimento de Onda ( $\mu\text{m}$ )	Coeficientes de Calibração ( $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ )		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ( $\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$ )
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen et al. (2002).

As etapas seguintes correspondentes ao índice de vegetação estão bem descritas em Silva et al. (2005b). Para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a equação 4, para o

cálculo do SAVI (Índice de Vegetação com Ajuste do Solo) foi utilizado a equação 5, e o EVI (Índice de Vegetação Aumentada) foi calculado através da equação 6:

$$NDVI = \frac{(NIR - red)}{(NIR + red)} \quad (4)$$

$$SAVI = \left( \frac{NIR - RED}{NIR + RED} + L \right) (1 + L) \quad (5)$$

$$EVI = G \left( \frac{NIR - RED}{NIR + C1 RED - C2 A + L} \right) \quad (6)$$

onde: NIR = banda 4; RED = banda 3; A = banda 1; L = 1; C<sub>1</sub> = 6; C<sub>2</sub> = 7,5 e o fator de ganho G = 2,5 (Huete et al., 2002).

Após a obtenção das imagens-índices de vegetação, foi realizada a extração dos valores de seis pixels em torno de cada ponto

georreferenciado do campo de observação, criando uma planilha eletrônica com os valores dos índices, a média destes valores, as informações obtidas em campo da vegetação com as classes de maior predominância de porte e recobrimento, como também o cálculo de seus respectivos valores de IBVL onde foram definidas 9 classes de cobertura vegetal (Tabela 1). Ao final foram realizadas análises de correlação entre NDVI, SAVI, EVI e o IBVL para selecionar o melhor índice.

Foi criada uma base de dados no SPRING 5.2, na projeção UTM/SAD69, e

importado um arquivo tipo shape do mapa de solos, rede de drenagem e bacias hidrográficas (PARAÍBA, 2006).

Após essas imagens-índices foram importadas e georreferenciadas com os pontos de controle da rede de drenagem e realizado o recorte da área, tomando como base a bacia hidrográfica da área de estudo. Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do índice escolhido, foi classificado com a utilização do programa LEGAL, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2.** 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 Subarbusativa aberta	0,225 a 0,250
Subarbusativa Arbustiva rala	0,200 a 0,225
Subarbusativa 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 detectar a mudança ocorrida nos 13 anos, foi criado no módulo LEGAL uma Linguagem Algébrica para gerar

o mapa de detecção de mudança conforme a Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de detecção de mudança

Classes	Amd	Ad	Sd	SAd	ASd	ASa	ASba	SbAr	SbAmr	SE	CA	N
<b>Amd</b>	NM	DMB	DB	DMOB	DM	DA	DMA	DMA	DMA	DAL	DAL	NM
<b>Ad</b>	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	DM	DA	DMA	DMA	DMA	DAL	NM
<b>Sd</b>	RB	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	DM	DA	DMA	DMA	DMA	NM
<b>SAd</b>	RM	RB	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	DM	DA	DMA	DMA	NM
<b>ASd</b>	RMOA	RM	RB	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	DM	DA	DMA	NM
<b>ASa</b>	RA	RMOA	RM	RB	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	DM	DA	NM
<b>ASba</b>	RMA	RA	RMOA	RM	RB	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	DM	NM
<b>SbAr</b>	RMA	RMA	RA	RMOA	RM	RB	RMB	NM	DMB	DB	DMOB	NM
<b>SbAmr</b>	RMA	RMA	RMA	RA	RMOA	RM	RB	RMB	NM	DMB	DB	NM

continuação

SE	RAL	RMA	RMA	RMA	RA	RMOA	RM	RB	RMB	NM	DMB	NM
CA	RAL	RAL	RMA	RMA	RMA	RA	RMOA	RM	RB	RMB	NM	NM
N	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM	NM

Amd - Arbórea muito densa; Ad - Arbórea densa; Sd - Subarbórea densa; Sad - Subarbórea arbustiva densa; ASd - Arbustiva subarbórea densa; Asa - Arbustiva subarbórea aberta; ASba - Arbustiva subarbustiva aberta; SbAr - Subarbustiva arbustiva rala; SbAmr - Subarbustiva arbustiva muito rala; SE - solo exposto; CA- corpos d'água; N - nuvens; NM - Não mudança; DAL - Degradação altíssima; DMB - Degradação muito baixa; DB - Degradação baixa; DMOB - Degradação moderada baixa; DM - Degradação moderada; DA - Degradação alta; RMB - Recuperação muito baixa; RB - Recuperação baixa; RM - Recuperação moderada; RMOA - Recuperação moderada alta; RA - Recuperação alta; RMA - Recuperação muito alta; RAL - Recuperação altíssima.

3. Resultados e Discussão

Observa-se que, pela metodologia de coleta de dados de campo constata-se eficiente para caracterização e classificação da vegetação de caatinga proposto por Chaves et al. (2008), permitindo uma confiabilidade dos dados amostrados. A escolha da metodologia de descrição da vegetação de caatinga utilizando o IBVL, juntamente com a descrição no campo de pontos observacionais, formam um conjunto de técnicas de uso simples e suficientemente capaz de auxiliar o processo de entendimento e análise temática, que se faz de grande confiabilidade. Sá et al. (2008), observa que um levantamento da

estrutura florestal in loco colabora para correlacionar os dados de campo com os processados digitalmente e dariam na análise uma maior precisão e qualidade nas avaliações.

Analisando o gráfico (Figura 1), da correlação do IBVL com os valores de refletância dos alvos do período seco, observa-se a variação dos valores das classes para a banda 3, entre 0,086 e 0,145, os alvos índices de biomassa variaram de 0,06 (Subarbustiva arbustiva muito rala) a 0,85 (Arbórea muito densa); e para a banda 4 os valores variaram de 0,186 a 0,249.

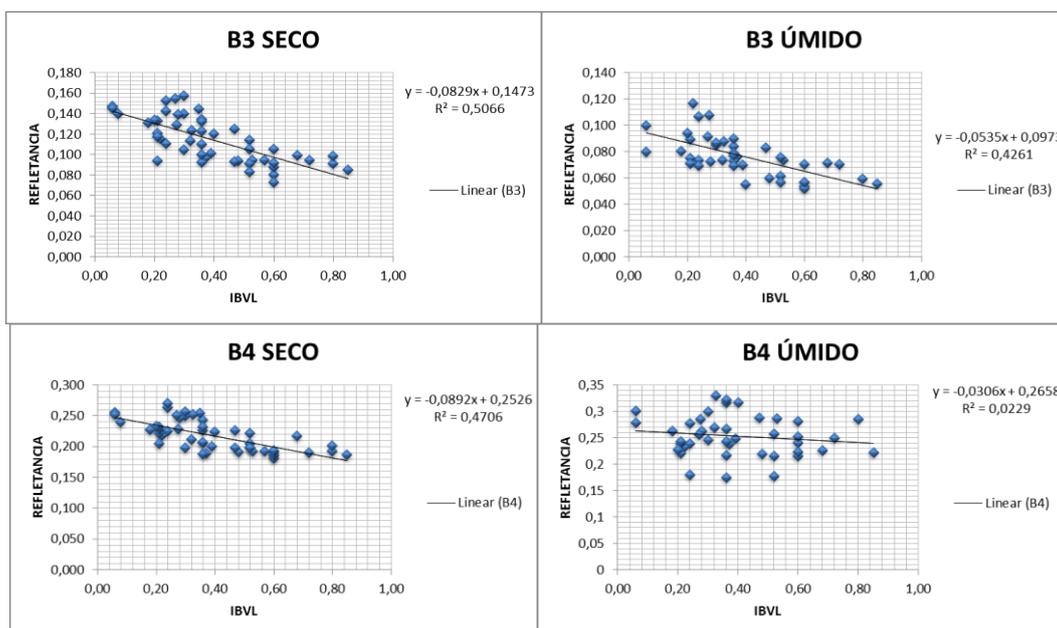


Figura 1. Correlação do IBVL com as Bandas 3 e 4.

As variações de refletância na região do visível estão associadas à concentração de clorofila e de outros pigmentos em diferentes estágios de desenvolvimento da folha (Kumar, 1972). De acordo com Moreira & Assunção (1997), dentre os diversos órgãos vegetais a estrutura de maior importância é a folha, dado que nela ocorre a interação da radiação eletromagnética para a conversão da energia solar em energia química na produção de carboidratos. No período úmido, com a presença da água, ocorre desenvolvimento do mesófilo, a alta produção da fotossíntese pelos cloroplastos e o aumento do dossel.

Alguns autores, como Huete & Jackson (1985) e Huete (1988), expressam que, numa análise genérica de áreas vegetadas, as bandas do vermelho e infravermelho próximo são inversamente correlacionadas, o que reforça a explicação sobre os altos valores para os pixels nas imagens-índice do período úmido.

Nas correlações entre o IBVL e os diferentes índices espectrais avaliados

(Tabela 4), pode se observar que o período seco é a melhor época para se estudar a caatinga, uma vez que, proporcionalmente, todos os índices apresentaram neste período os maiores coeficientes de correlação. O SAVI apresentou uma correlação de 0,4951, o EVI 0,5837 e o NDVI 0,5866. O NDVI e o EVI, no período seco, foram os índices mais sensíveis e praticamente apresentaram o mesmo coeficiente de correlação. Apesar de apresentarem variações de respostas semelhantes pela distribuição dos pontos de mesmo índice de biomassa, o SAVI apresenta uma menor amplitude das leituras de reflectância, variando de 0,150 a 0,300; enquanto que o NDVI é de 0,160 a 0,330 e o EVI de 0,060 a 0,120. Conforme Chaves et al. (2012), esta característica lhe confere um menor confundimento de leituras, permitindo separar um maior número de classes de biomassa vegetal.

**Tabela 4.** Correlação entre índices de vegetação e reflectância de bandas espectrais (valor y, expresso em refletância), com IBVL (índice de biomassa da vegetação lenhosa) para vegetação de caatinga (valor x), para os períodos seco e úmido.

Índices	Período Seco		Período Úmido	
	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
NDVI	$y = 0,171x + 0,182$	0,5866	$y = 0,2331x + 0,4029$	0,2299
SAVI	$y = 0,1273x + 0,1688$	0,4951	$y = 0,2009x + 0,3261$	0,1387
EVI	$y = 0,049x + 0,0669$	0,5837	$y = 0,0764x + 0,1396$	0,1107
Banda 3	$y = -0,0829x + 0,1473$	0,5066	$y = -0,0535x + 0,0973$	0,4261
Banda 4	$y = 0,0892x + 0,2526$	0,4706	$y = -0,0306x + 0,2658$	0,0229

Na Tabela 5, da análise estatística descritiva da imagem-índice de NDVI do período seco, observam-se os valores

mínimos e máximos de NDVI encontradas onde variaram entre -0,991 e 0,813 com uma média de 0,252.

**Tabela 5.** Estatística descritiva das imagens-índice NDVI (período seco)

Descrição	1996	2009
	Valores	
Número de Pontos	6320453	6320453
Número de Pontos Válidos	6320453	6320453
Média	0,22684	0,25275
Variância	0,00439	0,00565
Desvio Padrão	0,06632	0,07519
Coefficiente de Variação	0,29237	0,29749
Coefficiente de Assimetria	0,61511	0,08286
Coefficiente de Curtose	10,38723	11,5115
Valor Mínimo	-0,99431	-0,9912
Quartil Inferior	0,18395	0,21279
Mediana	0,21380	0,24653
Quartil Superior	0,25617	0,28451
Valor Máximo	0,80921	0,81304

Após a retirada de valores discrepantes, denominados ruídos, obtiveram-se uma correlação de 0,779 ( $R^2 = 0,6072$ ). Os maiores valores das leituras de NDVI para o período seco ocorreram na vegetação mais densa, e em particular, para bosques de algaroba de porte arbóreo, que permanecem com as folhas verdes. Para o período úmido pode-se observar que as leituras aumentaram consideravelmente em

todos os tipos de classes de cobertura vegetal, isto devido a recomposição da folhagem com seus diversos pigmentos e turgescência das células.

Na Tabela 6, observam-se os dados do mapeamento da vegetação da bacia hidrográfica, os valores em área e percentagem de ocupação das classes de vegetação e cobertura da terra.

**Tabela 6.** Distribuição das classes de vegetação

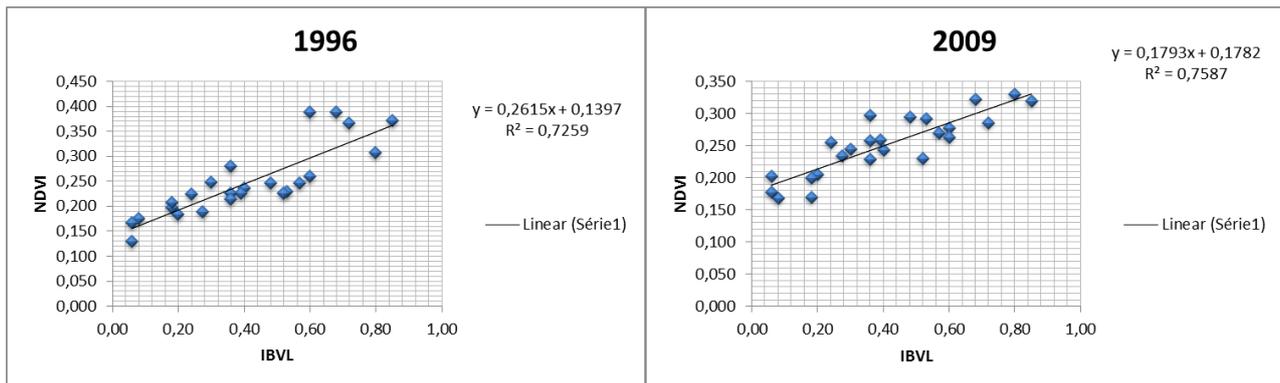
Classes	1996		2009		Diferença	
	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%	(km <sup>2</sup> )	%
Arbórea muito densa	300,08	5,27	420,54	7,39	120,46	2,12
Arbórea densa	198,06	3,48	281,94	4,95	83,88	1,47
Subarbórea densa	198,71	3,49	344,79	6,07	146,08	2,58
Subarbórea arbustiva densa	194,35	3,41	370,25	6,52	175,90	3,11
Arbustiva subarbórea densa	352,51	6,21	668,31	11,75	315,80	5,54
Arbustiva subarbórea aberta	337,21	5,93	584,17	10,28	246,96	4,35
Arbustiva subarbustiva aberta	774,43	13,62	1.103,70	19,41	329,27	5,79
Subarbustiva arbustiva rala	995,70	17,52	917,93	16,14	-77,77	-1,38
Subarbustiva arbustiva muito rala	2.103,59	36,99	712,90	12,53	-1390,69	-24,46
Solo exposto	222,86	3,92	56,26	0,99	-166,60	-2,93
Corpos d'água	8,87	0,16	32,28	0,57	23,41	0,41
Nuvens	0	0	193,30	3,40	193,30	3,40
Área Total	5.686,37	100	5.686,37	100	0	0

Pela Tabela 6, para a imagem-índice de 2009, constata-se terem ocorrido alterações

significativas de mudança de área nas classes Subarbustiva rala, Subarbustiva muito rala e

Solo exposto de 28,77%, com isso, obtendo um aumento nas outras classes de maiores valores de IBVL. Esse comportamento temporal nos dá uma ideia da capacidade de recuperação da vegetação de caatinga, aumentando sua biomassa em algumas áreas da bacia em estudo.

Observa-se nos gráficos de correlação das imagens-índice de NDVI do ano de 1996 e 2009 (Figura 2), ambos do período seco, que os resultados foram próximos com o  $R^2=0,7259$  para 1996 e  $R^2=0,7587$  para 2009, com uma correlação de 0,852 e 0,871, respectivamente.



**Figura 2.** Correlação das imagens-índice temporal.

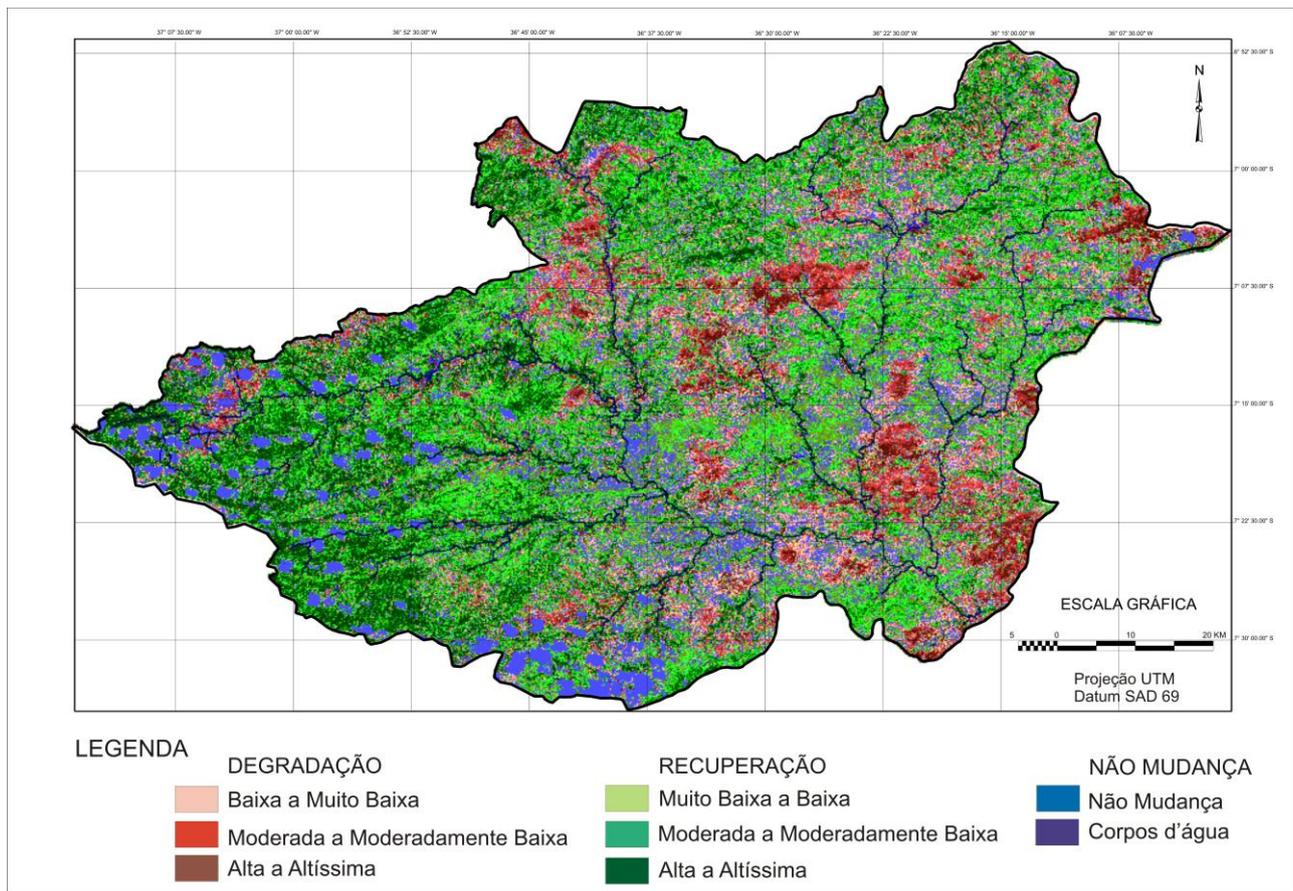
A menor correlação ocorreu em 1996, pela influencia da precipitação antecedente, repercutindo na resposta espectral e influenciando nas classes mais baixas de IBVL, podendo se observar no histograma da imagem esta característica dos valores de refletância concentrado na faixa de 0,150 a 0,350 que correspondem às classes Subarbusativa muito rala, Subarbusativa rala e Arbustiva subarbusativa aberta.

No mapa de detecção de mudanças (Figura 3) e na Tabela 7, que sintetiza os dados do mapeamento da mudança da vegetação da bacia hidrográfica para o período de 13 anos, observam-se os valores em área e percentagem de ocupação das classes.

No mapa temático, as proporções em

área entre classes demonstra uma maior recuperação da área. Isso porque a bacia é composta por áreas sendo degradadas e outras em processo de recuperação.

Observa-se que a classe não mudança foi a que apresentou o maior valor, neste caso pela dificuldade de separação da classe nuvens da imagem de 2009 em relação a imagem de 1996, pois isto causa o mascaramento da investigação, problema esse encontrado no sensoriamento remoto, e portanto optou-se então, na classificação de não mudança, pois não se teria certeza da realidade, mas o valor da classe nuvem no mapa temático de 2009 é de 196,3km<sup>2</sup> representando 3,4%, podendo assim afirmar que 14,78% seria o valor próximo do real.



**Figura 3.** Mapa de detecção de mudanças.

**Tabela 7.** Distribuição das classes de detecção de mudança

Classes de detecção de mudança	(km <sup>2</sup> )	%
Recuperação alta a altíssima	839,09	14,75
Recuperação moderada a moderadamente alta	865,68	15,23
Recuperação baixa a muito baixa	1.554,83	27,35
Não Mudança	1.033,97	18,18
Degradação muito baixa a baixa	745,84	13,12
Degradação moderada a moderadamente baixa	305,14	5,36
Degradação alta a altíssima	309,54	5,45
<b>Área Total</b>	<b>5.686,37</b>	<b>100,00</b>

Esta classe de não mudança ocorre em sua maioria em terras próximas a drenagem do rio Taperoá, área central do mapa, encontrando-se em abandono ou em uso pela pecuária extensiva. Estas terras são representadas pelos Luvissoles vértico, solos estes muito susceptíveis a erosão e consequente degradação pelo mau uso e má

conservação (Figura 4). Pelo observado neste estudo constata-se, que no ano de 1996 já ocorria esta condição do solo e por isso a não mudança, demonstrando uma degradação e consequente processo de desertificação futuro nestas áreas e que não respondem mais ao fator umidade.



**Figura 4.** Áreas em processo de desertificação.

Sousa et al. (2008) observam que na região de São João do Cariri, predominam uma vegetação arbustiva aberta e solos expostos em processo de desertificação bem acentuado, com a presença de áreas de desmatamentos com grandes extensões.

Segundo Sousa et al. (2008) conforme os dados históricos, parte da retirada da cobertura vegetal se deveu ao sistema adotado desde a colonização, que se baseou na exploração dos recursos naturais, em particular das matas, que eram anualmente desmatadas para o plantio de algodão e exploração pecuária. Outra parte seria a consequência da crise dos municípios em

períodos de estiagens e da falta de renda provenientes das lavouras, atividades que hoje praticamente não se exploram, sendo os desmatamentos para venda de lenha e fabricação de carvão, as únicas fontes de renda da população rural mais carente.

As classes de degradação moderada a muito alta ocorrem à leste da bacia, estas são áreas planas onde ocorrem os Luvisolos, e ao norte da bacia em áreas onde ocorrem os Solonetz Solodizado onde estão localizadas áreas de mineração, prováveis fatores da maior degradação neste últimos 13 anos (Figura 5).



**Figura 5.** Áreas planas e de mineração.

Duarte & Barbosa (2009), observou que o município de Taperoá apresenta um alto

índice de degradação dos recursos naturais, e que a vegetação foi largamente dizimada,

acarretando graves perdas de solos, proporcionando assoreamento dos rios, tornando mais difícil a sustentabilidade dos ecossistemas locais.

Sousa et al. (2008), comenta que os prejuízos ambientais estão quase sempre relacionados ao uso indevido do solo pelas diversas atividades degradantes. Assim, a retirada da cobertura vegetal para implantação de agricultura de autoconsumo ou para pecuarização extensiva sem práticas de conservação ambiental compromete, a médio e longo prazo, as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, inviabilizando essas áreas a uma exploração sustentável no futuro e transformando-as em áreas desertificadas.

Sousa et al. (2007), estudando a degradação do município de São Domingos do Cariri, contígua a área de estudo, conclui

que os resultados indicaram que, durante o período 1987 a 2004, os níveis de degradação muito baixo, baixo e moderado, diminuíram os índices de 2,72%, 11,19% e 17,61%, e que as áreas ocupadas pelo nível moderado grave aumentaram expressivamente, pois os 13,58% existentes em 1987 passaram a representar 33,48% do total da área do município. Se, por um lado, o nível de degradação grave diminuiu (5,13%), por outro o nível muito grave aumentou drasticamente (16,67%).

Observa-se que, nas áreas em que houve uma maior recuperação estão localizadas em boa parte na drenagem em solos aluviais e com uma maior umidade disponível durante os anos. Nestas áreas em sua maioria são as algarobeiras que predominam. Outras áreas se localizam em declividade mais acentuada de menor acesso ou de preservação, e em Neossolos Litólicos (Figura 6).



**Figura 6.** Áreas com maior recuperação.

Sousa et al. (2007), estudando a degradação do município de São Domingos do Cariri, contígua a área de estudo, observa que em áreas de ocorrência do nível de degradação moderado e moderado grave, houve a recuperação da vegetação.

Observa-se por este trabalho que com a calibração dos índices utilizando o IBVL, pôde-se aprimorar o inventário da cobertura do solo, pois o padrão de resposta espectral do período seco ajudou a diminuir os confundimentos de alvos e identificar e quantificar com boa precisão as áreas de vegetação de caatinga.

Considerando a erosividade das chuvas da região semiárida brasileira, devido a sua concentração temporal, a cobertura vegetal do solo é fundamental para protegê-lo da ação erosiva das chuvas. Neste caso, as áreas detectadas como não mudança que ocorrem ao longo da drenagem do rio Taperoá, com menor densidade de cobertura, e as classes de degradação mais altas correspondem a 38,71% da bacia, provavelmente, encontram-se em processo de desertificação.

#### 4. Conclusões

1. O melhor índice que se correlaciona com o IBVL é o NDVI para o período seco;
2. A metodologia utilizada mostrou-se eficiente para caracterização e classificação e separação em 9 classes de vegetação de caatinga;
3. A maior recuperação se localiza em áreas

de drenagem e em declividade mais acentuada;

4. A classe detectada de não mudança ocorre em áreas de menor cobertura vegetal e de solos propensos a erosão;

5. Estima-se que 38,71% da área da bacia do rio Taperoá esteja em processo de desertificação.

#### 5. Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de estudo ao primeiro autor.

#### 6. Referências

Allen, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. (2002). Surface energy balance algorithms for land (SEBAL). Idaho implementation – Advanced training and users manual, v.1.0, 97p.

Bastiaanssen W.G.M., Noordman E.J.M., Pelgrum H., Davids G., Allen R.G. (2005). SEBAL for spatially distributed ET under actual management and growing conditions. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering, p.85-93.

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.

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.

Duarte, S.M.A.; Barbosa, M.P. (2009). Estudo dos recursos naturais e as potencialidades no semiárido, Estado da Paraíba. *Engenharia Ambiental*, v.6, n.3, p.168-189.

Elvidge, C.D.; Lyon, R.J.P. (1985). Influence of rock-soil spectral variation on the assessment of green biomass. *Remote Sensing of Environment*, 17, 265-279.

Huete, A.R.; Jackson; D.F. (1985). Post spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing of Environment*, v.17, n.1, p.37-53.

Huete, A.R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v.25, n.3, p.295-309.

Kumar, R. (1972). Radiation from plants-reflection and emission: a review. Research Project n.5543. Lafayette: Purdue Research Foundation, 88p.

Moreira, M.A.; Assunção, G.V. (1997). Princípios básicos, metodologias e aplicações de sensoriamento remoto na agricultura. INPE, São Jose dos Campos, 138p.

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 & Atlas. Brasília, DF, 112p.

Sá, I.I.S.; Galvêncio, J.D.; Moura, M.S.B. de; Sá, I.B. (2008). Uso do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) para caracterização da cobertura vegetal da Região do Araripe Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.1 n.1. 28-38.

Silva, B.B.; Lopes, G.M.; Azevedo, P.V. (2005a). Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.13, n.2, p.11-21.

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

Sousa, R.F. de; Barbosa, M.P; Sousa Júnior, S.P. de. Terceiro Neto, C.P. C; Morais Neto, J.M. (2007). Estudo da degradação de terras do município de Boa Vista - Paraíba. *Revista Engenharia Ambiental*, v.4, n.2, p.005-013.

Sousa, R.F.; Barbosa, M.P.; Morais Neto, J.M.; Meneses, L.F.; Gadelha, A.G. (2008). Vulnerabilidades e impactos sócios econômicos e ambientais. *Engenharia Ambiental*, v.5, n.3, p.063-078.

Trovão, D.M. de B.M.; Fernandes, P.D.; Andrade, L.A. de; Dantas Neto, J. (2007).

Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.11, n.3, p.307–311.

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