



# Revista Brasileira de Geografia Física

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



## Mapeamento da Caatinga com Uso de Geotecnologia e Análise da Umidade Antecedente em Bacia Hidrográfica

Paulo Roberto Megna Francisco<sup>1\*</sup>; Iêde de Brito Chaves<sup>2</sup>;  
Eduardo Rodrigues Viana de Lima<sup>3</sup>; Maria Marle Bandeira<sup>4</sup>; Bernardo Barbosa da Silva<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Doutorando; Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola; Universidade Federal de Campina Grande-UFCG; E-mail: paulomegna@ig.com.br; \*Parte da Tese do primeiro autor. <sup>2</sup>Professor Aposentado; Centro de Ciências Agrárias; Universidade Federal da Paraíba-UFPB. E-mail: iedebchaves@hotmail.com; <sup>3</sup>Professor adjunto; Centro de Ciências Exatas da Natureza; Universidade Federal da Paraíba-UFPB. E-mail: eduvianalima@gmail.com; <sup>4</sup>Meteorologista; Agência de Águas do Estado da Paraíba-AESA. E-mail: marle@aesa.pb.gov.br; <sup>5</sup>Pesquisador em Agrometeorologia; Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. E-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com.

Artigo recebido em 09/10/2012 e aceito em 19/10/2012

### RESUMO

O estado da Paraíba tem como característica climática marcante as irregularidades, tanto espacial quanto temporal do seu regime de chuvas, uma vez que, 86,6% do seu território faz parte da região semiárida brasileira. A cobertura vegetal de caatinga, já bastante impactada pela ação antrópica, apresenta diferentes feições relacionadas aos fatores edafoclimáticos, dentre estes, a precipitação, que influenciada pelo relevo, tende a aumentar com a altitude dentro dos diferentes espaços hidrogeográficos. Quanto menor a precipitação, maior a aridez e a irregularidade da distribuição das chuvas. No período seco, a maioria das plantas da caatinga perde a folhagem, recompondo-se rapidamente, logo que inicia um novo período de chuva. Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da umidade antecedente em imagem orbital de média resolução espacial e utilizada para mapeamento da vegetação de caatinga através do Índice de Vegetação de Diferença Normalizada e o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa. Concluiu-se que com a utilização de imagem de média resolução espacial a classificação em 9 classes foi satisfatória na separação das fisionomias existentes na região estudada; que a análise da diferença espectral pode contribuir no monitoramento; que houve influência da umidade antecedente nas respostas espectrais; que a biomassa da vegetação de caatinga está relacionada à disponibilidade de água no solo; e com o uso de geotecnologia pode-se chegar a resultados satisfatórios.

Palavras - chave: Semiárido, índice de vegetação, sensoriamento remoto.

## Mapping of Caatinga with Use of Geotechnology and Analysis of Antecedent Humidity in Hydrographic Basin

### ABSTRACT

The state of Paraíba is characterized by striking climatic irregularities, both its spatial and temporal rainfall, since 86.6% of its territory is part of the Brazilian semi-arid region. The vegetation of caatinga, enough already impacted by human activity, has different features related to soil and climatic factors, among these, the precipitation, which influenced by the relief, tends to increase with altitude within the different spaces hidrogeografic. The lower rainfall, increased aridity and the irregularity of rainfall distribution. In the dry season, most plants of the caatinga lose foliage, recovering quickly, as soon as you start a new period of rain. Generally, the quantity and persistence of hardwood biomass from caatinga vegetation is related to soil water availability. This study aimed to analyze the influence of antecedent moisture on multispectral image captured by the sensor and medium resolution satellite used for mapping of caatinga vegetation using NDVI and IBVL. It was concluded by this study that the use of medium-resolution image, the classification in nine classes was satisfactory in the separation the physiognomies in the region studied, which of the difference spectral analysis can help in monitoring and there was no influence of antecedent humidity on spectral responses, that biomass of caatinga vegetation is related to soil water availability, and the use of geotechnology can be reached satisfactory results.

Keywords: Semi-arid, vegetation index, remote sensing.

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

## 1. Introdução

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenamento ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes do ambiente. Como consequência natural, o uso de geoprocessamento em projetos ambientais requer o uso intensivo de técnicas de integração de dados e combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens e geoestatística (Câmara & Medeiros, 1998).

Com o advento da informática e seu crescente avanço tem possibilitado e estimulado a evolução das chamadas geotecnologias, dos sistemas de informações geográficas (SIG's) e a evolução dos sistemas computacionais para estudos de análise ambiental e a disponibilização de imagens de satélite tem proporcionado excelentes resultados no processo de automação da maioria dos trabalhos executados de forma convencional, e tem permitido o processamento de um grande volume de informações relevantes para tomadas de decisão (Albuquerque et al, 2012; Carvalho et al., 2009; Câmara & Medeiros, 1996; Fernandes et al., 1998).

O SIG é capaz de criar, manejar e armazenar eficientemente dados, de forma a identificar o melhor relacionamento entre as variáveis espaciais, possibilitando a criação de relatórios e mapas para a compreensão desses relacionamentos (Francisco et al., 2012).

Conforme Calijuri & Rohm (1994),

estes sistemas manipulam dados de diversas fontes como mapas, fotografias aéreas, imagens de satélite, cadastros e outras, permitindo recuperar e combinar informações e efetuar os mais diversos tipos de análise sobre os dados. Neste contexto, conforme Francisco et al. (2011), o sistema de informação geográfica é uma tecnologia que abrange cada vez mais projetos ambientais, sendo um agente facilitador na tomada de decisão.

Dada a repetitividade com que as imagens de satélite são adquiridas, é possível reconhecer alterações ocorridas na paisagem de uma região, num dado período de tempo, através da análise da extensão e do tipo de mudanças no uso, como o desmatamento, a expansão urbana e as variações sazonais da vegetação (Ridd & Liu, 1998).

Várias técnicas já foram estudadas com o objetivo de se determinar quantitativamente e qualitativamente o estado da vegetação a partir de imagens de satélite. Índices de vegetação foram então desenvolvidos a fim de reduzir o número de parâmetros presentes nas medidas multiespectrais. Esses índices gerados a partir de dados de sensoriamento remoto constituem uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas (Holben et al., 1980; Baret & Guyot, 1991).

Chaves et al. (2008) propuseram 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 satélite.

Embora muitos índices vegetativos existam, o mais usado e conhecido atualmente é o denominado índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) que é obtido através de uma operação aritmética entre a banda que mais reflete pela que menos reflete. Portanto, é um índice vegetativo, calculado como uma razão entre a refletividade medida nas regiões do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, sendo essas duas bandas espectrais selecionadas em razão de serem mais afetadas pela absorção da clorofila pela folhagem da vegetação verde e conseqüentemente pela densidade dessa vegetação na superfície (Costa Filho et al., 2007).

O bioma Caatinga caracteriza-se por apresentar uma grande diversidade de paisagens. Quando chove na caatinga a paisagem muda rapidamente, as plantas renascem e cobrem-se de folhas dando novamente um aspecto verde à vegetação e o que antes parecia morto e feio cobre-se de vida e beleza (Alves et al., 2009). A vegetação de caatinga apresenta grande variação fisionômica, principalmente quanto à densidade e ao porte das plantas. A cobertura vegetal é composta por diversos padrões morfológicos que dependem da fisionomia e

das condições climáticas, que se destaca em sua maioria de uma formação vegetal de caatinga arbustiva, densa ou aberta, e conforme Sousa et al. (2008), que perde a folhagem no período de estiagem, tornando a florescer no período chuvoso.

O estado da Paraíba, inserido na região Nordeste do Brasil (NEB), caracteriza-se pela alta variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial (Menezes et al., 2008) e dois terços da área total do Estado correspondem ao bioma caatinga abrangendo as regiões do Sertão, Cariri, Seridó e Curimataú (Melo & Rodrigues, 2003).

Portanto este trabalho tem como objetivo analisar a influência da umidade antecedente em imagem orbital de média resolução e utilizada para mapeamento da vegetação de caatinga através do IVDN e do IBVL.

## 2. Material e Métodos

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Taperoá, com uma extensão territorial de 5.686,37 km<sup>2</sup>, localizada no Planalto da Borborema, estado da Paraíba (Figura 1). Limita-se ao norte com a bacia do rio Seridó; a leste, com as bacias do rio Camaratuba, Mamanguape e do Médio Paraíba; a oeste, com a bacia do Rio Espinharas; e ao sul, com a bacia do Alto Paraíba. Seu principal rio é o Taperoá de regime intermitente, o qual nasce na Serra do Teixeira e deságua no açude Presidente Epitácio Pessoa.



**Figura 1.** Localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2010).

A bacia do rio Taperoá é uma área ampla sobre o planalto, com relevo suave ondulado, altitude variando em grande parte entre 400 m e 600 m, e drenagem voltada para leste, o que facilita a penetração uniforme das massas atlânticas de sudeste, propiciando temperaturas amenas (<math>26^{\circ}\text{C}</math>). 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 (Francisco, 2010).

De maneira geral o clima caracteriza-se pelo tipo Bsh - semiárido quente, precipitação predominantemente abaixo de 600 mm.ano<sup>-1</sup>, e temperatura mais baixa, devido ao efeito da altitude (400 m a 700 m). As chuvas da região sofrem influência das massas Atlânticas de sudeste e do norte; apresentando uma variação na distribuição

espacial, temporal e interanual, e uma estação seca que pode atingir 11 meses (Francisco et al., 2011; Varejão-Silva et al., 1984).

As médias mensais de temperatura variam pouco na região, sendo mais afetadas pela altitude que por variações de insolação. As variações diárias de temperatura e umidade são bastante pronunciadas, tanto nas áreas de planície como nas regiões mais altas do planalto (Alves et al., 2008).

Basicamente existem dois regimes de chuvas no Estado: o primeiro, com o período mais chuvoso nos meses de fevereiro a maio, abrangendo as regiões do Alto Sertão, Sertão e Cariri/Curimataú; e o segundo, entre os meses de abril e julho favorecendo as regiões do Agreste, Brejo e Litoral. Os principais sistemas meteorológicos responsáveis pelas chuvas no Estado são a Zona de Convergência

Intertropical (ZCIT) (Uvo e Nobre, 1987); Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (Kousky e Gan, 1981) e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL) (Espinoza, 1996). Além destes, podem-se citar os sistemas frontais e os efeitos de brisas que colaboram para o aumento das chuvas no Estado. A região da bacia do Taperoá apresenta uma precipitação média anual variando entre 400 mm e 600 mm. A maior concentração do total precipitado ocorre em um período aproximado de dois a quatro meses, correspondendo a 65% do total das chuvas anuais (Souza et al, 2004). A umidade relativa do ar medida varia de 60% a 75%, com valores máximos ocorrendo no mês de junho e os mínimos no mês de novembro.

A vegetação da área de estudo 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 pyriforme* Mart.), e catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul). Outras espécies nativas da região apresentam-se com poucos exemplares, como o angico (*Anadenanthera columbrina* Vell. Brenan) e a aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). Já os cactos são bastante diversificados.

Os solos na área de estudo são o Luvisolo Crômico Vértico fase pedregosa relevo suave ondulado, predominante em grande parte da região; os Vertissolos relevo suave ondulado e ondulado predominam nas

partes mais baixas, no entorno do açude de Boqueirão e o Planossolo Nátrico relevo plano e suave ondulado, que ocorre ao norte, ao longo da BR-230, trecho Campina Grande - Juazeirinho, na bacia do rio Taperoá. Nas áreas mais acidentadas, ocorre o Neossolo Litólico Eutrófico fase pedregosa substrato gnaisse e granito (Francisco, 2010).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM Landsat 5, órbita 215, ponto 65 de 25/11/1996 e 29/10/2009, ambas do período seco. O Google Earth online foi utilizado para pré-selecionar os alvos terrestres representativos dos diferentes tipos de vegetação. As áreas pré-selecionadas foram visitadas para que fosse possível descrever e avaliar a vegetação em seus diferentes estágios de antropização utilizando o Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), segundo o procedimento proposto por Chaves et al. (2008).

As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foram executadas as correções atmosférica e radiométrica, e obtidas as imagens de radiância e reflectância, de acordo com Silva et al. (2005a). As etapas seguintes correspondentes ao cálculo do índice de vegetação estão bem descritas em Silva et al. (2005b). Para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) foi utilizada a equação 1:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (1)$$

Onde: NIR e RED correspondem às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM.

Após a obtenção das imagens-índices de vegetação foi realizada a extração dos valores de seis pixels em torno de cada ponto identificado no campo, criando uma tabela com os valores dos índices, a média destes valores, 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, onde se puderam escalonar 9 classes de cobertura vegetal (Tabela 1).

Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do IVDN foi criada uma base de dados no SPRING 5.2, na projeção UTM/SAD69, importando as imagens-índices de vegetação e classificando-as com a utilização do programa LEGAL de acordo com a Tabela 1. Utilizando recursos de estatística do SPRING, foi realizada a análise exploratória e a estatística descritiva das imagens-índice.

**Tabela 1.** Classes de vegetação e valores de reflectância

| <b>Classes de IBVL</b>            | <b>Valores de IVDN</b> |
|-----------------------------------|------------------------|
| 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             |

Através dos dados fornecidos pela AESA (2011) foram elaboradas planilhas e utilizando o programa Surfer 7.1, através da krigagem, foram elaborados mapas de pluviosidade mensal e anual referentes às imagens em estudo. Em seguida, os mapas foram editorados em programa gráfico com o objetivo de auxiliar na análise da influência da umidade antecedente. Utilizando a planilha eletrônica desenvolvida por Rolim et al. (1998) foi realizado o cálculo do balanço hídrico normal desenvolvido por Thornthwaite & Mather em 1955, para o

posto de São João do Cariri, por ser representativo da bacia hidrográfica em estudo.

### 3. Resultados e Discussão

Na Tabela 2, da análise estatística descritiva das imagens-índice do IVDN, observam-se os valores mínimos e máximos encontrados para a imagem de 1996, que variam entre -0,994 e 0,809, com uma média de 0,226. Os valores para a imagem-índice de 2009 variam entre -0,991 e 0,813 com uma média de 0,252.

**Tabela 2.** Estatística descritiva das imagens IVDN

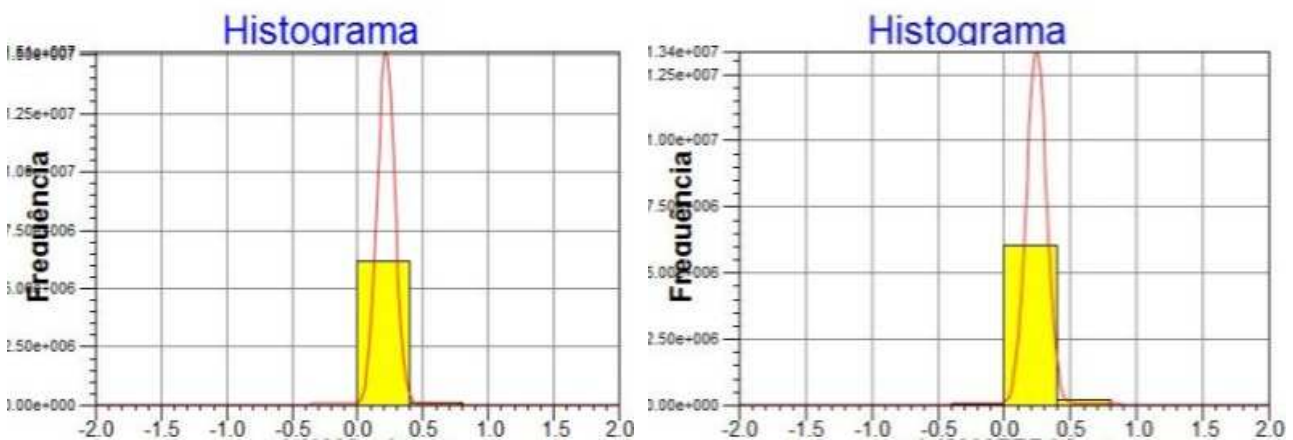
| Descrição                  | Valores  |         |
|----------------------------|----------|---------|
|                            | 1996     | 2009    |
| Número de Pontos           | 6320453  | 6320453 |
| Número de Pontos Válidos   | 6320453  | 6320453 |
| Média                      | 0,22684  | 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 |

Lopes et al. (2010), avaliando mudanças na cobertura vegetal a partir do IVDN, na bacia hidrográfica do rio Brígida (Pernambuco), obtiveram respectivamente valores mínimo, máximo e médio para o ano de 1985 da ordem de 0,09, 0,24 e 0,12. Para 2001, os valores obtidos foram de 0,09, 0,42 e 0,14.

Segundo Parkinson (1997) valores típicos de IVDN para florestas úmidas tropicais são da ordem de 0,6. Kaufman & Holben (1993), encontraram em algumas

regiões do Nordeste valores de IVDN entre 0,15 e 0,62.

Nos histogramas da Figura 2, observa-se a curva de distribuição dos valores de refletância das imagens-índice de 1996 e 2009. Para 1996 variam entre 0,150 e 0,350, e esta característica demonstra que a maioria dos pixels se concentra nestes valores de refletância. Para 2009 observa-se a curva de distribuição dos valores de reflectância da imagem-índice entre 0,200 e 0,300.

**Figura 2.** Histogramas das imagens-índice de IVDN.

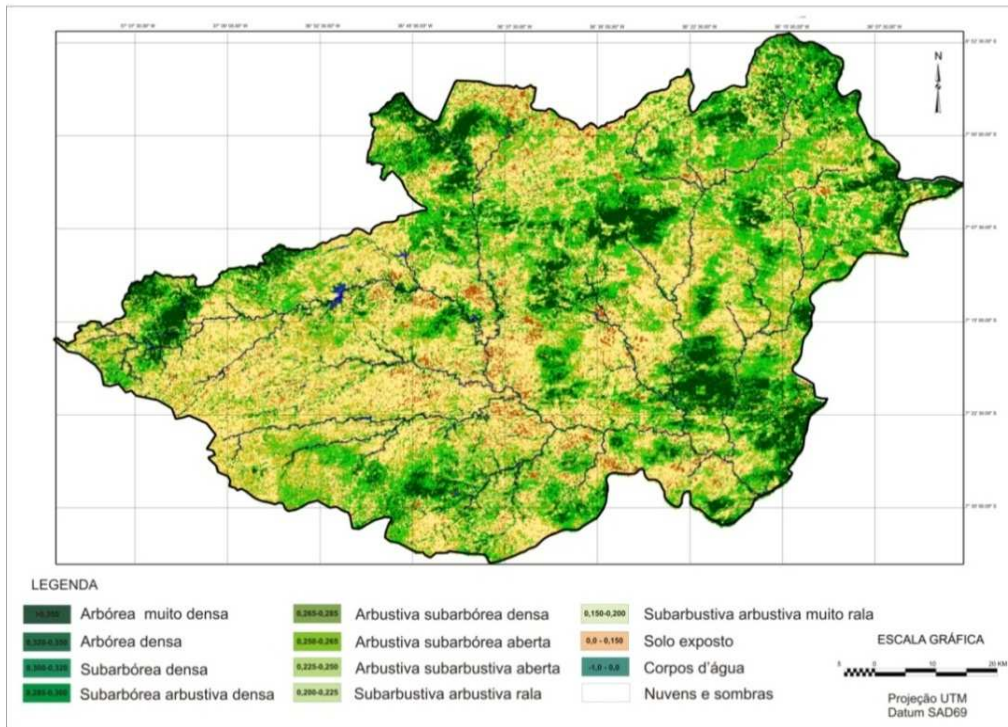
Sá et al. (2008), avaliando o IVDN na região do Araripe Pernambucano, relatam que

o valor mínimo encontrado foi de -0,74 e o máximo de 0,796, o valor médio foi de 0,282.

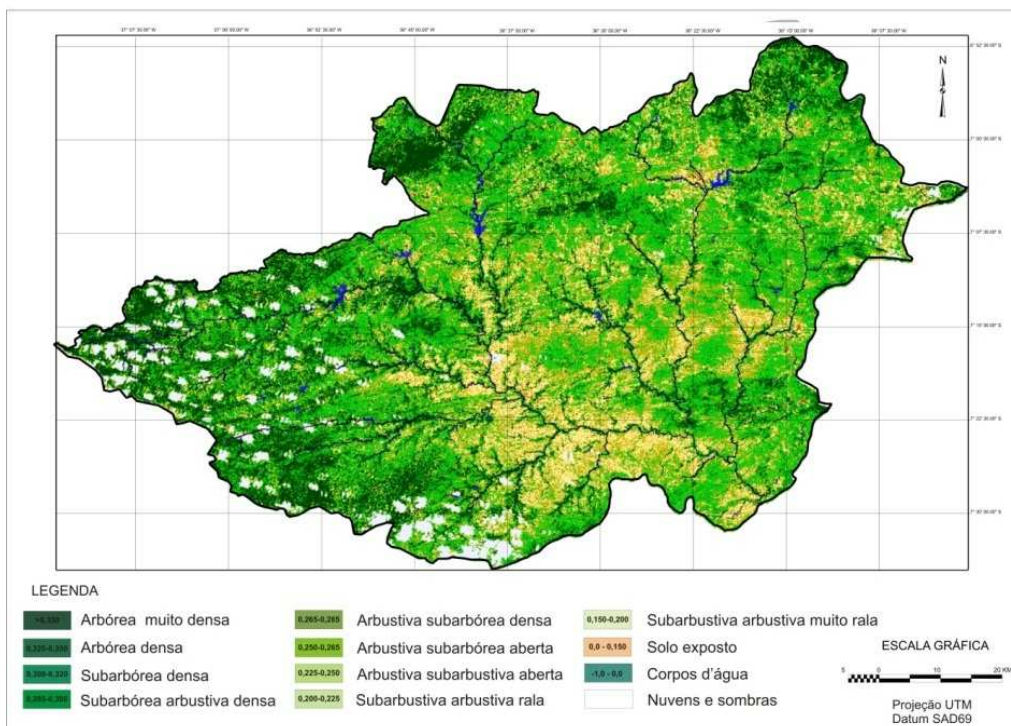
Os valores de IVDN entre 0,201 e 0,278, correspondem a uma vegetação de Savana Estépica Arborizada e Florestada que se encontram degradada. Nas áreas de Mata Ciliar o IVDN variou entre 0,490 a 0,797.

Nas Figuras 3 e 4 observam-se os

mapas de tipologia da vegetação de caatinga de 1996 e 2009, respectivamente, e a Tabela 3 sintetiza os dados do mapeamento da vegetação da bacia hidrográfica, os valores em área e percentagem de ocupação das classes de vegetação e uso do solo.



**Figura 3.** Mapa de tipologias de vegetação de caatinga de 1996.



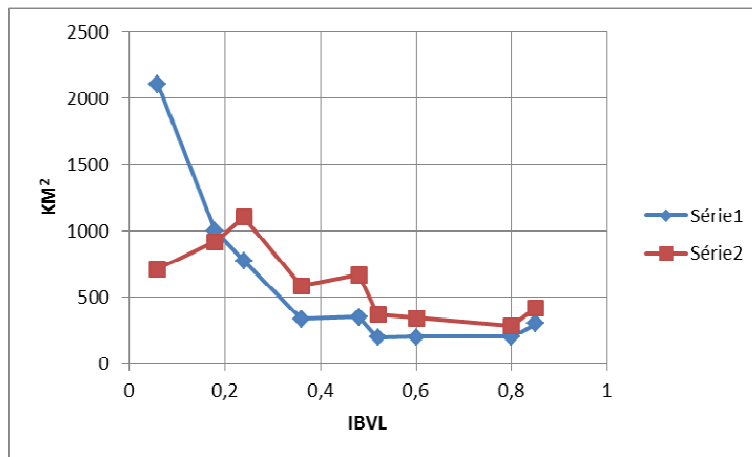
**Figura 4.** Mapa de tipologias de vegetação de caatinga de 2009.

**Tabela 3.** Distribuição das classes de vegetação e uso do solo.

| 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      |

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 correspondendo a 28,77% da área, havendo um aumento de área das outras

classes de maior valor de IBVL, como se pode observar na Figura 5. Esse comportamento temporal dá uma ideia da capacidade de recuperação da vegetação de caatinga, que aumenta a biomassa em algumas áreas da bacia.



**Figura 5.** Distribuição da área (km<sup>2</sup>) nas classes de vegetação (IBVL) série 1 (1996) série 2 (2009).

Observa-se que a ocorrência da classe Arbórea muito densa em uma área de 420,54 km<sup>2</sup>, representando 7,39%, se dá em áreas de divisores da bacia localizadas ao norte e oeste e nas áreas de drenagem ao longo da bacia

(Figura 6), como também em áreas isoladas de maior elevação. Este comportamento pode estar relacionado com a ocorrência de maior umidade nestas áreas.



**Figura 6.** Vegetação de caatinga classe arbórea muito densa.

Ressalta-se que as imagens correspondem ao período seco, e isso é o que explica em parte, que a cobertura vegetal esteja mais degradada ou em dormência (Figura 7), situação típica da caatinga hiperxerófila seca. Santos & Negri (1997) afirmam a estreita correlação do IVDN com

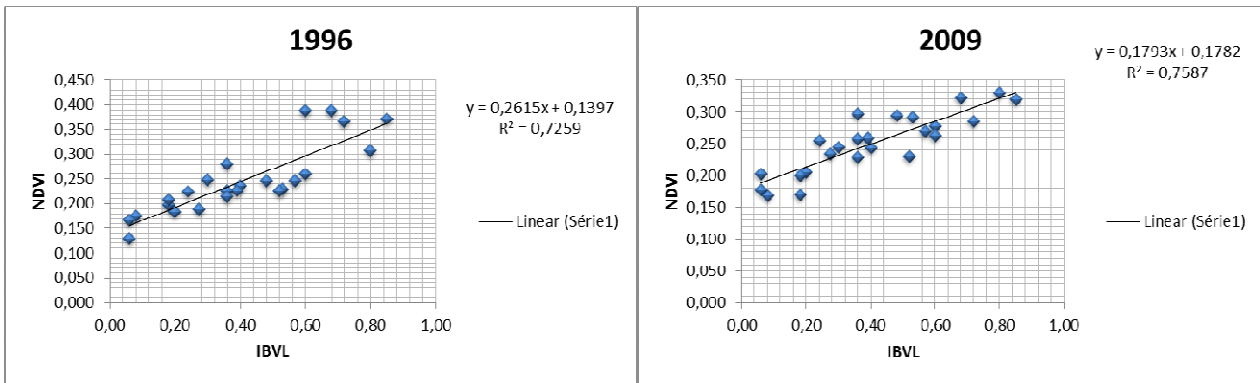
variáveis climáticas tais como a precipitação e a temperatura da superfície terrestre, e que as oscilações entre as estações seca e úmida durante o ano e entre os diferentes anos, com condições de maior ou menor secura, influenciam de forma direta o comportamento fenológico das plantas.



**Figura 7.** Vegetação de caatinga em estado de dormência.

Braga et al. (2009), relata que encontraram uma relação entre a precipitação pluvial com o IVDN mensal nos anos de 2007 e 2008 no estado da Paraíba. Os resultados mostraram que o IVDN tem relação direta com as chuvas na região e o índice se comporta conforme a disponibilidade da precipitação.

Observa-se nos gráficos (Figura 8) de correlação das imagens-índice de IVDN do ano de 1996 e 2009, ambas do período seco, que os resultados foram muito próximos com o  $R^2=0,7259$  para 1996 e  $R^2=0,7587$  para 2009. Observa-se ainda que a correlação entre os valores de IVDN e o IBVL foi de 0,852 e 0,871 respectivamente.



**Figura 8.** Correlação das imagens IVDN.

A menor correlação em 1996 ocorreu pela influência da precipitação antecedente, que neste caso foi muito baixa, repercutindo na resposta espectral e influenciando nos valores mais baixos de IBVL, podendo se observar no histograma da imagem esta

característica dos valores de refletância concentrada na faixa de 0,150 a 0,350, que correspondem às classes Subarbustiva muito rala, Subarbustiva rala e Arbustiva subarbustiva aberta (Figura 9).



**Figura 9.** Vegetação de caatinga classe Arbustiva subarbustiva aberta.

Maldonado (2005) observa que havendo uma grande correlação entre bandas de diferentes datas, a segunda, que neste caso é a anterior a data atual, é de suma importância para o estudo das mudanças na cobertura do terreno. O autor acrescenta que esta correlação em geral diminui na medida em que a diferença de tempo entre as datas é maior e há maiores mudanças nas feições imageadas, e caso a correlação tenha valores muito altos, todos os pontos se localizariam próximos à reta de regressão entre as duas imagens. A correlação naturalmente nunca é

perfeita, mesmo que a diferença de tempo entre as datas de aquisição das imagens seja muito pequena. Ainda observa que o intervalo de 13 anos entre as datas das imagens LANDSAT é suficiente para ser analisada através de indicadores com complexidade.

Pode-se observar que com a utilização de imagem orbital de média resolução espacial, a classificação pelo IBVL e a divisão do IVDN em 9 classes foi satisfatória para a separação das fisionomias existentes na área estudada. Na Tabela 4 observa-se o total de chuvas ocorrido na bacia hidrográfica nos

anos de 1996 e 2009, como também os totais mensais ocorridos nos 3 meses antecedentes à obtenção da imagem.

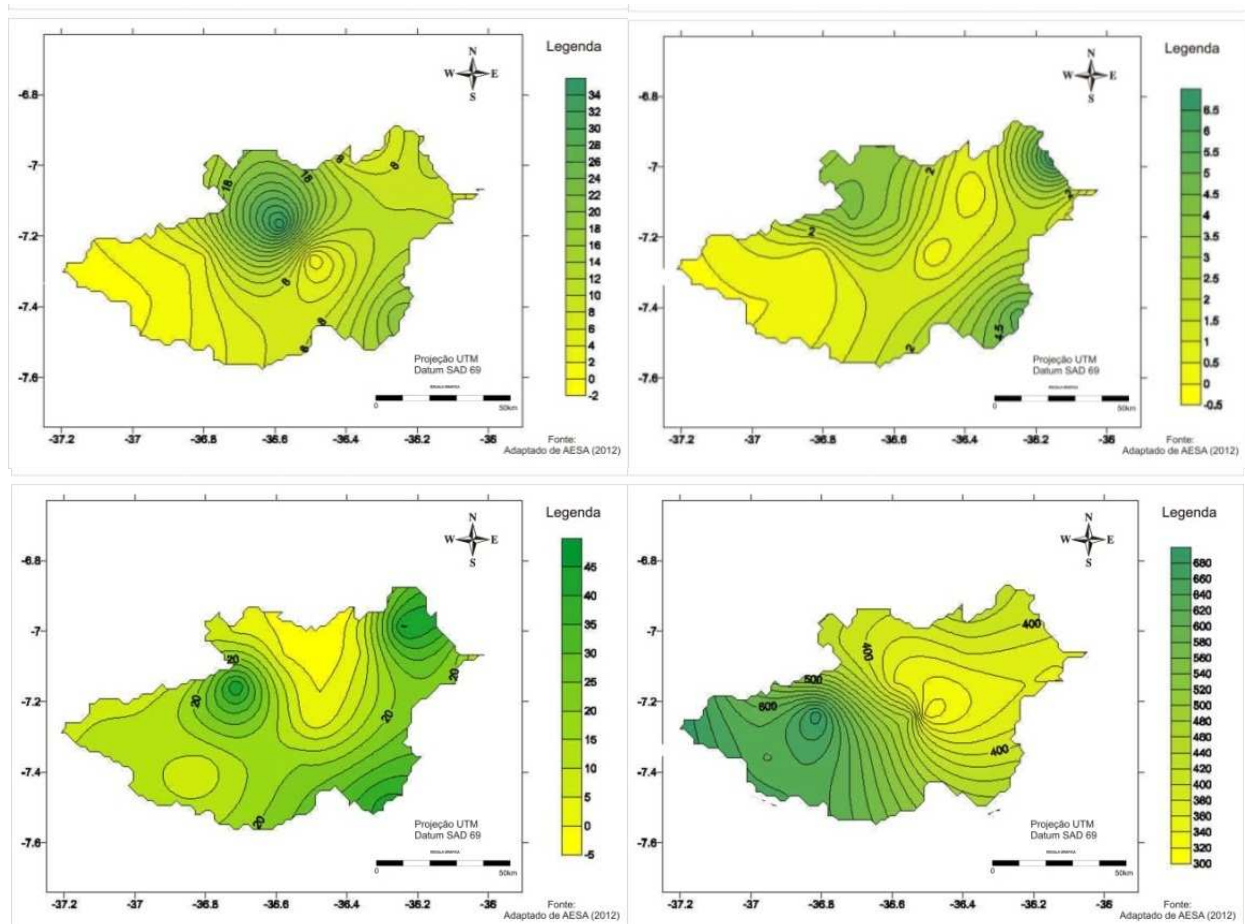
**Tabela 4.** Dados de precipitação dos anos de 1996 e 2009

| POSTOS                     | 1996 |     |      |       | 2009 |     |     |         |
|----------------------------|------|-----|------|-------|------|-----|-----|---------|
|                            | Set  | Out | Nov  | Anual | Ago  | Set | Out | Anual   |
| Boa Vista                  | 7,2  | 3,8 | 24,0 | 362,4 | 46,2 | 0   | 0   | 429,8   |
| Cabaceiras                 | 12,1 | 0   | 43,4 | 396,1 | 66,7 | 2,6 | 0   | 677,8   |
| Desterro                   | 5,5  | 0   | 12,3 | 523,0 | 53,7 | 0   | 0   | 1.224,4 |
| Gurjão                     | 0    | 0   | 0    | 307,0 | 49,6 | 0   | 0   | 626,8   |
| Juazeirinho                | 36,4 | 3,0 | 0    | 358,3 | 51,7 |     | 0   | 626,8   |
| Junco do Seridó            | 21,0 | 4,0 | 46,0 | 470,2 | 44,2 | 0   | 0   | 1.085,4 |
| Olivedos                   | 20,0 | 5,3 | 17,0 | 434,2 | 42,3 | 2,8 | 0   | 567,3   |
| Pocinhos                   | 10,2 | 0   | 15,0 | 363,3 | 38,1 | 2,7 | 0   | 462,5   |
| Serra Branca               | 30,3 | 0   | 17,3 | 520,3 | 47,8 | 0   | 0   | 777,9   |
| Soledade/Fazenda Pendência | 15,5 | 8,1 | 0    | 409,7 | 61,3 | 0   | 0   | 1.246,7 |
| São José dos Cordeiros     | 3,2  | 0   | 6,1  | 696,7 | 41,0 | 0,2 | 0   | 511,1   |
| São João do Cariri         | 8,1  | 1,0 | 20,4 | 458,4 | 18,4 | 0   | 0   | 528,3   |
| Taperoá                    | 30,8 | 0   | 21,0 | 500,0 | 71,4 | 0   | 0   | 1.239,7 |
| Teixeira                   | 0    | 0   | 18,2 | 762,7 | 0    | 0   | 0   | 1.322,7 |

Fonte: AESA (2011).

Na Figura 10 observa-se a precipitação espacializada na bacia hidrográfica para os

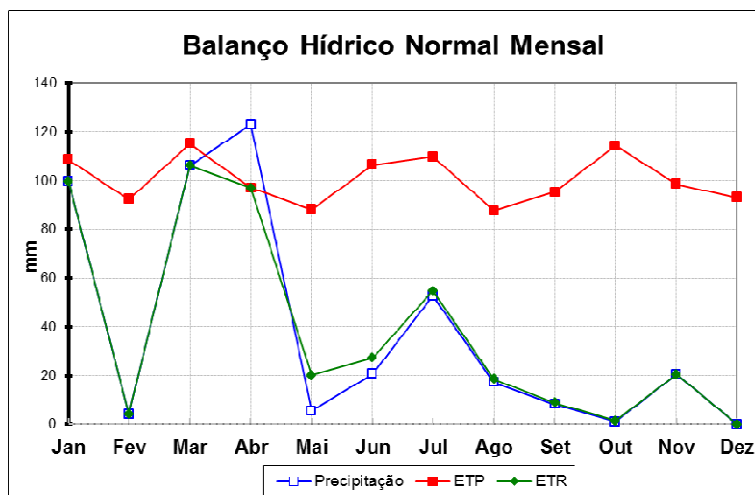
meses de setembro, outubro e novembro, como também para o total anual de 1996.



**Figura 10.** Pluviometria dos meses de setembro (a), outubro (b), novembro (c), e anual (d) de 1996.

A comparação dos meses de setembro, outubro e novembro de 1996 (Figura 10), permite constatar que nos meses antecedentes da data da imagem utilizada, houve uma baixa precipitação que ocorreu distribuída em toda a bacia, com um índice de pluviometria máximo de 50 mm no mês de novembro. O

valor de precipitação observado está abaixo do valor da evapotranspiração da região, resultando num déficit hídrico, como se pode observar no balanço hídrico normal mensal de 1996 (Figura 11) para o município de São João do Cariri, onde do mês de janeiro até março ocorreu baixa precipitação.

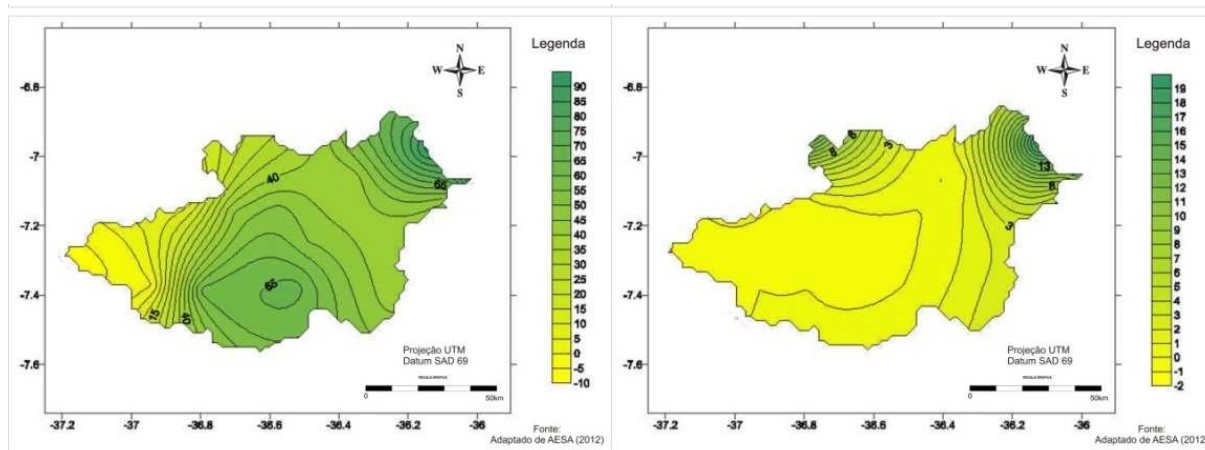


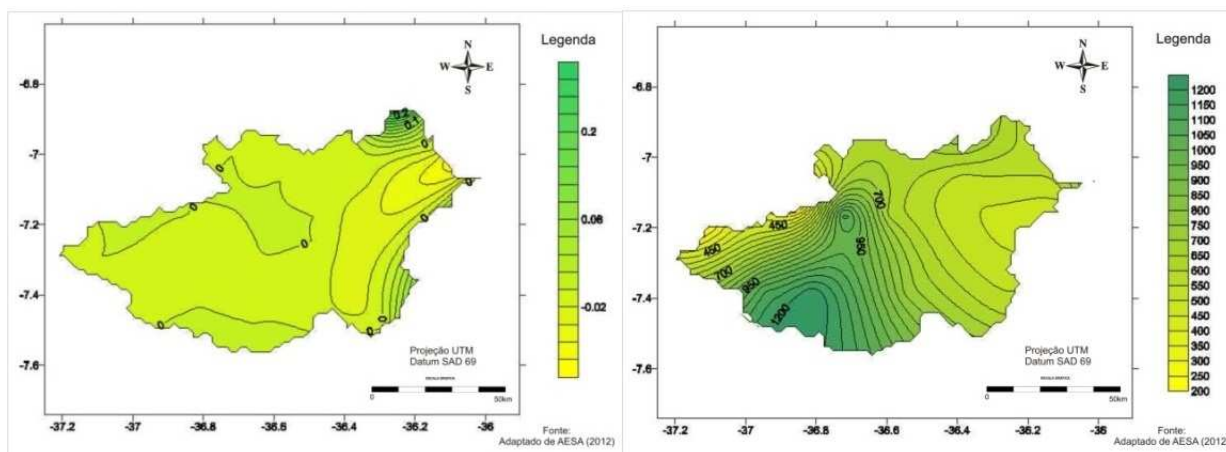
**Figura 11.** Balanço hídrico normal mensal de 1996 para o município de São João do Cariri.

Na Figura 12 observa-se a precipitação espacializada na bacia hidrográfica para os meses de agosto, setembro e outubro, como também para o total anual de 2009.

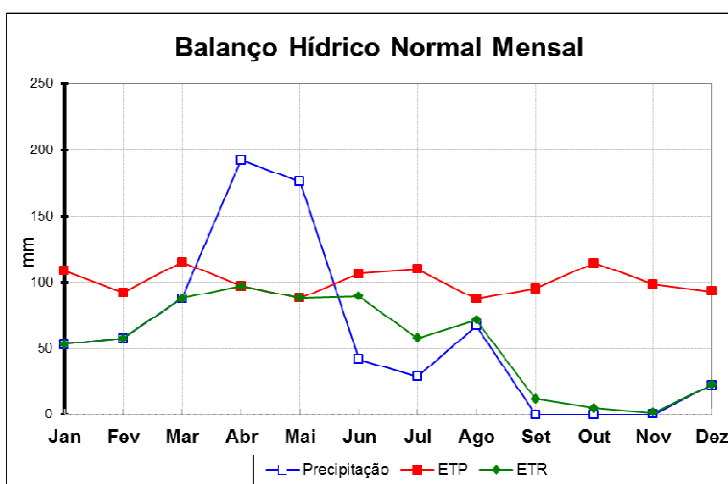
A comparação dos meses de agosto, setembro e outubro de 2009 (Figura 13) permite constatar que no mês de agosto, antecedente a data da imagem utilizada

ocorreram precipitações na região nordeste próximo de 40 mm, e que nos outros meses não ocorreram chuvas. Diferente do mapa de total anual de precipitação da Figura 12, se observa que as chuvas ocorreram no período chuvoso característico da região, entre os meses de março e julho.





**Figura 12.** Pluviometria dos meses de agosto (a), setembro (b), outubro (c), e anual (d) de 2009.



**Figura 13.** Balanço hídrico normal mensal de 2009 para o município de São João do Cariri.

No balanço hídrico normal mensal de 2009 (Figura 13) pode-se observar que o município de São João do Cariri, escolhido por ser de referência na imagem em estudo, a partir do mês de junho apresenta deficiência hídrica, perdurando até o mês de dezembro.

Mesmo nas condições de deficiência

hídrica, observa-se mesmo que após a época de maior precipitação, a vegetação próximas a área de drenagem, como no caso do rio Taperoá (Figura 14), se mantém com uma maior cobertura devido a disponibilidade de umidade do solo.



**Figura 14.** Leito do rio Taperoá na época seca.

Portanto, pode-se afirmar que a umidade antecedente influenciou nas respostas espectrais identificadas nas imagens, e que pela análise da diferença espectral da vegetação pode-se separar as fisionomias da área em classes de caatinga e conseqüentemente observar seu comportamento através do monitoramento. Todo esse processo apoiado com o uso de geotecnologias.

#### 4. Conclusões

1. Com a utilização de imagem orbital de média resolução espacial, a classificação pelo IBVL e a divisão do IVDN em 9 classes foi satisfatória para a separação e mapeamento das fisionomias existentes na área estudada;
2. A análise da diferença espectral pode contribuir significativamente para o monitoramento da vegetação de caatinga;
3. Verificou-se que houve influência da umidade antecedente nas respostas espectrais identificadas nas imagens;
4. Que a biomassa da vegetação de caatinga está relacionada à disponibilidade de água no solo;
5. Com o uso de geotecnologias pode-se chegar a resultados satisfatórios com rapidez e precisão.

#### 5. Agradecimentos

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo ao primeiro autor.

#### 6. Referências

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.

Albuquerque, E. L. S.; Medeiros, C. N.; Gomes, D. D. M.; Cruz, M. L. B. (2012). Sigweb Ceará em mapas interativos, novas ferramentas na cartografia escolar. *Mercator*, v.11, n.24, p.253-269.

Alves, J. J. A.; Araújo, M. A. de; Nascimento, S. S. do. (2008). Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. *Caminhos de Geografia*, v.9, n.27, p.143-155.

Alves, J. J. A. (2009). Caatinga do Cariri Paraibano. *Geonomos*, n.17, v.1, p.19-25.

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.

Braga; C. C.; Dantas, F. R. da C.; Neves, D. G. das. (2009). Estimativa da cobertura vegetal no setor leste de Pernambuco utilizando dados do AVHRR/NOAA. *Revista Verde*, v.4, n.3, p.99-107.

Câmara, G.; Medeiros, J. S. de. (1998). *Geoprocessamento para projetos ambientais*. 2.ed. INPE. São José dos Campos, 194p.

Carvalho, C. C. N.; Rocha, W. F.; Ucha, J. M. (2009). Mapa digital de solos: Uma proposta metodológica usando inferência fuzzy. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.1, p.46-55.

- Calijuri, M. L.; Röhm, S. A. (1994). Sistemas de informações geográficas. Viçosa: CCET/DEC, Universidade Federal de Viçosa. Imprensa Universitária, 34p.
- 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.
- Costa Filho, J. F. da; Francisco, P. R. M.; Andrade, M. V. de; Silva L. da; Dantas, R. L. (2007). Estimativa do índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) na microrregião de Sousa-PB utilizando imagens do CBERS-2. XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju-SE.
- Espinoza, E. S. (1999). Distúrbios nos ventos de leste no Atlântico Tropical. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.17, n.1.
- Fernandes, M. F; Barbosa, M. P; Silva, M. J. da. (1998). O uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola das terras de parte do setor leste da bacia do Rio Seridó, PB. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.2, n.2, p.195-198.
- Francisco, P. R. M.; Pereira, F. C.; Medeiros, R. M. de; Sá, T. F. F. de. (2011). Zoneamento de risco climático e aptidão de cultivo para o município de Picuí – PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.5, p.1043-1055.
- Francisco, P. R. M. (2010). Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. 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, 2011.
- Kaufman, Y. J. & Holben, N. B. (1993). Calibration of the AVHRR visible and near-IR by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. *International Journal Remote Sensing*, v.14, n.1, p.21-52.
- Kousky, V. E.; Gan, M. A. (1981). Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic. *Tellus*, v.33, p.538-550.
- Lopes, H. L.; Candeias, A. L. B.; Accioly, L. J. O.; Sobral, M. do C. M.; Pacheco, A. P. (2010). Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.11, p.1210–1219.
- Maldonado, F. D. (2004). Desenvolvimento e

avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE.

Melo, A. S. T. de.; Rodrigues, J. L. (2003). Paraíba, desenvolvimento econômico e a questão ambiental. João Pessoa, Grafset.

Menezes, H. E. A.; Brito, J. I. B. de; Santos, C. A. C. dos; Silva, L. L. da. (2008). A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no Estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.23, n.2, p.152-161.

Parkinson, C. L. (1997). *Earth from above*. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, 107-111.

Ridd, M. K.; Liu, J. A. (1998). Comparison of four algorithms for change detection in an urban environment. *Remote Sensing of Environment*, v.63, p.95-100.

Rolim, G. S.; Sentelhas, P. C.; Barbieri, V. (1998). Planilhas no ambiente EXCEL<sup>®</sup> para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137.

Sá, I. I. S.; Galvíncio, 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, p.28-38.

Santos, P.; Negri, A. J. (1997). A comparasion of the normalized difference vegetation index and rainfall for the Amazon and northeastern Brazil. *Journal of Applied Meteorology*, Washington, v.36, n.7, p. 958-965,

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. de; Barbosa, M. P.; Sousa Júnior, S. P. de; Nery, A. R.; Lima, A. N. de. (2008). Estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Boa Vista-PB, utilizando geoprocessamento. *Caatinga*, v.21, n.3, p.22-30.

Souza, B. I. de; Silans, A. M. P. B. de; Santos, J. B. dos. (2004). Contribuição ao estudo da

desertificação na Bacia do Taperoá. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8 n.2-3.

Uvo, C. R. B.; Nobre, C. A. (1989). A zona de convergência intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do nordeste. Parte II -

Influência dos ventos e TSM do Atlântico Tropical. Climanálise, v.4, n.10, p.39-47.

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.