

# Variação temporal de índices de vegetação obtidos por imagens de satélites para indicar a cobertura vegetal da Caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará-Brasil

## Temporal variation of vegetation indices obtained from satellite imagery to indicate the vegetation cover of the caatinga at Aiuaba Ecological Station, Ceará - Brazil

Jesus Rodrigues LEMOS [1](#); Marico MEGURO(†); Wellington Alessandro S. BISPO [2](#); Kleiton BLANE [3](#); Marisa Dantas BITENCOURT [4](#)

Recebido: 12/03/2018 • Aprovado: 25/04/2018

### Conteúdo

- [1. Introdução](#)
- [2. Metodologia](#)
- [3. Resultados e discussão](#)
- [4. Conclusões](#)

[Agradecimentos](#)

[Referências bibliográficas](#)

### RESUMO:

Diversos estudos têm sido feitos na busca de como a seca se manifesta sobre a vegetação de Caatinga e como esta responde à precipitação. Neste estudo, imagens de satélite do óptico foram utilizadas para classificar a cobertura vegetal no que tange à densidade de vegetação por área e ao teor de água presente na cobertura vegetal, em dois períodos distintos (estiagem e chuvoso) na Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará, Nordeste do Brasil, com as quais constatou-se o predomínio de três diferentes fisionomias vegetais. Com relação ao déficit hídrico, este estudo não mostrou uma relação casual com os índices de vegetação, provavelmente porque ambos sofrem efeitos da pluviosidade.

**Palavras-Chave:** *Caatinga arbórea*; Caatinga arbustiva; sensoriamento remoto orbital; pluviosidade.

### ABSTRACT:

Several studies have been done in the search of how the drought manifests itself on the Caatinga vegetation and how it responds to precipitation. In this study, satellite images of the optic were used to classify the vegetation cover in relation to the density of vegetation by area and to the water content present in the vegetation cover, in two distinct periods (drought and rainy season) in the Ecological Station of Aiuaba, Ceará state, Northeast Brazil, with which it was verified the predominance of three different vegetal physiognomies. With regard to water deficit, this study showed no casual

**Keywords:** *Arboreal Caatinga*; *Shrubby Caatinga*; remote sensing; rainfall.

# 1. Introdução

Na região semiárida brasileira, o clima é o principal responsável pelas características fisionômicas da vegetação. Sampaio (1995), em concordância com Reis (1976), Nimer (1979) e Reddy (1983), comenta que a principal característica das precipitações pluviométricas no semiárido do Nordeste é a natureza errática, pois apresentam irregularidade espacial e temporal. Completando este quadro característico do semiárido nordestino, os autores acrescentam a alta radiação solar, as temperaturas médias anuais elevadas, baixas taxas de umidade relativa e fortes taxas de evaporação e evapotranspiração, o que ocasiona o processo de caducifolia das espécies. Em consequência disto, evidencia-se uma marcada sazonalidade na vegetação.

A sazonalidade pode ser facilmente detectada e acompanhada através de índice de vegetação espectral, o qual realça as propriedades da vegetação e permite uma comparação temporal e espacial das atividades terrestres fotossintéticas e das variações estruturais da cobertura vegetal (Huete et al., 2002). O mais importante deles para o sensoriamento remoto orbital é o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) ou Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (Rouse et al., 1974).

Alguns estudos (Zazmierczak, 1996; Barbosa, 1999; Baptista et al., 2005; Barbosa et al., 2006; Morais et al., 2011; Ferreira et al., 2012; Bezerra et al., 2012) utilizaram o sensoriamento remoto para dimensionar a sazonalidade da vegetação de Caatinga e grande parte destes utilizaram imagens NDVI.

O NDVI é um importante indicador da densidade de folhas verdes por área (Ponzoni & Shimabukuro, 2009; Bezerra et al., 2012; Lima et al., 2013), o que traz à tona a sazonalidade da Caatinga, bem como sua pronta resposta a qualquer precipitação, como mostra Brinkmann et al. (2011). Cunha et al. (2012) por sua vez, salienta que as mudanças no regime de chuvas podem afetar diretamente a resposta da vegetação. Desse modo, os valores de NDVI não só variam sazonalmente, mas, também reagem a qualquer precipitação eventual.

Baptista et al. (2005) verificando o comportamento sazonal da vegetação de Caatinga nos anos de 2003 e 2004, no Rio Grande do Norte, registraram valores de NDVI diferenciados no período seco (entre 0,045 a 0,624) e chuvoso (com limite superior expandido para 0,777).

Morais et al. (2011), realizando uma análise temporal, verificou mudanças nos valores de NDVI no intervalo de 0,208 a 0,288 (vegetação herbácea), de 0,289 a 0,441 (vegetação arbustiva), de 0,442 a 0,594 (vegetação de transição) até de 0,595 a 0,803 (vegetação arbórea), no município de Floresta, Pernambuco.

Ferreira et al. (2012) em uma análise espaço-temporal em três períodos secos de anos diferentes (1992, 1998 e 2009) e chuvosos (1991, 2000 e 2009) na dinâmica da vegetação de Caatinga no município de Petrolina, Pernambuco, encontraram valores de NDVI predominantemente entre os intervalos de 0,301 a 0,400 e 0,401 a 0,500 no período seco e após ocorrer precipitação na área estudada, respectivamente.

Analisando as mudanças da vegetação de Caatinga entre o período de 2008 e 2011 no Rio Grande do Norte, Bezerra et al. (2012) encontraram a média de valores de NDVI variando de 0,531, passando por 0,557 e chegando até 0,542, para três áreas estudadas no referido Estado.

Barbosa et al. (2006) estudaram a região Nordeste do Brasil ao longo de 20 anos (1982-2001) e verificaram que a variabilidade dos valores do NDVI ficaram entre 0,27 e 0,70, sendo este maior valor registrado no ano de 1984 (ano extremo *La Niña*) e o menor valor no ano de 1998 (ano extremo *El Niño*).

Em todos estes estudos, os autores ressaltam, de forma unânime, que os sensores ópticos constituem-se numa ferramenta eficiente para investigar como a seca se manifesta sobre a vegetação de Caatinga (com perda de folhas verdes) e como esta formação vegetal responde à precipitação (com ganho de folhas verdes), sendo possível verificar como ocorre a variação sazonal.

O uso dessas técnicas mostra-se muito relevante, uma vez que permite uma eficiente

obtenção de dados em uma área com uma grande extensão e pouca informação de campo (Silva et al., 2009). Silva et al. (2011) defende que o sensoriamento remoto permite encontrar importantes fontes de informação que possibilitam um melhor entendimento do funcionamento e dos processos ecossistêmicos na Caatinga, bem como dos padrões de degradação que precisam ser detectados para adoção de medidas de controle e até mesmo restauração.

O objetivo deste estudo foi verificar de que maneira as fisionomias encontradas por Lemos (2006) variam espectralmente e temporalmente, de modo que se possa inferir também podem ser encontradas tais fisionomias nas mesmas condições do meio físico.

---

## 2. Metodologia

### 2.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na ESEC de Aiuaba (06o36'01" e 06o44'35" S e 40o07'15" e 40o19'19" O), localizada a sudoeste do município de Aiuaba, na porção meridional da microrregião "Sertão dos Inhamuns", sudoeste do Estado do Ceará. Cobre uma área aproximada de 13.225 ha (Souza, 1988).

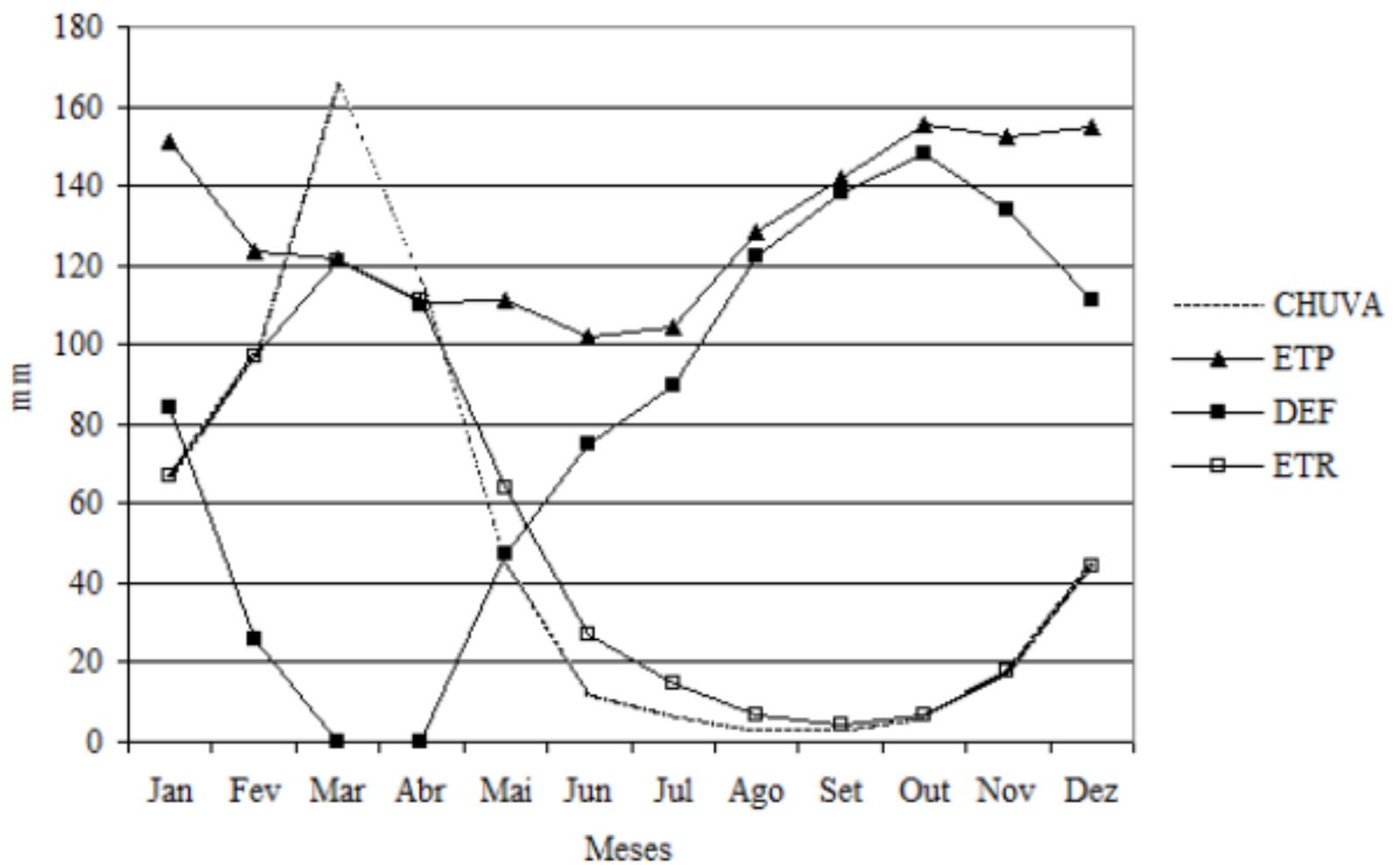
Geologicamente, a região data do Pré-Cambriano Inferior Médio, Pré-Cambriano Superior e do Cenozóico (Correia Filho et al., 1983), com solos dos tipos Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico, pálido do tipo A moderado de textura argilosa e Bruno Não Cálcico vértico de textura argilosa (Jacomine et al., 1973). O relevo, com altitudes que variam entre 348 a 710 m, apresenta vertentes dissecadas e topos planos, reminiscências de antigos recobrimentos (APNE 1999). Quase toda a área da EE está distribuída longitudinalmente ao longo de uma grande serra que se estende por cerca de 30 km, havendo diversas vertentes que fornecem um aspecto acidentado à área.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima é definido como BShw' (quente e semi-árido com a estação chuvosa atrasando para o outono) (Jacomine et al., 1973).

O Balanço hídrico da área de estudo (Figura 1), elaborado a partir de dados de precipitação e temperaturas médias mensais estimadas, de um período de registro de 54 anos do Posto de Aiuaba (SUDENE, 1990), no município de mesmo nome possibilita verificar que o clima é o principal responsável pelas características fisionômicas da vegetação da área estudada. A maior precipitação pluviométrica média mensal ocorre em março, com 165 mm. Apresenta, nos meses de seca, altos valores de evapotranspiração potencial (ETP), baixos valores de ETR (evapotranspiração real), e alta deficiência hídrica (DEF), o que ocasiona o processo de caducifolia das espécies como adaptação à deficiência hídrica (Kozlowski et al., 1991; Larcher, 1995). A caducifolia, segundo Araújo (2003), confere uma marcada sazonalidade fisionômica sobre a flora lenhosa da caatinga.

#### Figura 1

Balanço Hídrico da área de estudo, ESEC de Aiuaba, Ceará, segundo Thornthwaite e Mather (1955). Latitude: 06° 63'S; Longitude: 40° 12' W; Altitude: 350m; CAD (capacidade de armazenamento de água no solo) = 125 mm (Doorenbos & Kassam, 1979);



Dados: SUDENE (1990). ETP-Evapotranspiração potencial; DEF- Deficiência hídrica; ETR- Evapotranspiração Real.

A vegetação predominante é a caatinga, apresentando diferentes fisionomias. Esta variedade de fisionomias provavelmente está relacionada à heterogeneidade fisiográfica da área, com diferentes classes de solo e variações no relevo (APNE, 1999). A vegetação da EE apresenta relativa facilidade de detecção dos padrões fisionômicos em escala local, já que são perceptíveis visualmente em campo. Em escala de paisagem, porém, esta detecção é dificultada devido à sua grande extensão e a uma mudança gradual na estrutura e na composição florística de todo o conjunto vegetacional da área.

## 2.2. Amostragem da estrutura da vegetação

Foram feitos levantamentos da flora e também um levantamento da estrutura da vegetação. No levantamento quantitativo foi utilizado o método de parcelas múltiplas (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974). Cinquenta parcelas semi-permanentes de 100 m<sup>2</sup> foram instaladas de forma sorteada em uma área de 300 m de comprimento por 50 m de largura.

Todos os indivíduos vivos ou mortos, inclusive lianas, com diâmetro do caule ao nível do solo (DNS)  $\geq 3$  cm foram amostrados. Em cada parcela registrou-se o número de indivíduos (densidade) e de espécies (riqueza) e estimadas a altura da planta com uma vara dimensionada. Os aspectos florísticos e estruturais da vegetação podem ser consultados em Lemos e Meguro (2010), Lemos e Meguro (2015), respectivamente.

Este estudo da estrutura será fundamental para validar as classes geradas no espaço amostral e que constarão no mapa de vegetação a ser construído.

## 2.3. Análise das imagens obtidas por sensoriamento remoto

O processo foi realizado através de análise geográfica computadorizada, combinando dados cartográficos, de campo e de imagens orbitais, gerando um mapa temático da provável cobertura vegetal da Estação.

O trabalho iniciou-se com a análise do mapa cartográfico da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE/DSG Aiuaba (SB.24-Y-B-IV), na escala de 1:100.000 SUDENE, 1986). As imagens utilizadas foram: a) LANDSAT-5, órbita-ponto 217/65,

quadrante A, datadas de maio de 1987, junho de 1990, julho de 2003, janeiro de 2007 e agosto de 2011, cedidas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE; e b) imagem TOPODATA cedida pelo site <http://www.dpi.inpe.br/topodata/>.

As imagens de satélite foram processadas no programa *IDRISI Selva*, para fazer os registros das cinco datas das imagens, em função do mapa cartográfico da SUDENE mencionado acima. Os pontos coletados em campo foram extraídos com GPS (*Global Positioning System*). O limite da Estação foi fornecido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, em *shapefile*. Para classificar a vegetação, utilizou-se as imagens das bandas 3 e 4 (vermelho e infravermelho próximo respectivamente) que foram transformadas em imagens Índices de Vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - sigla em inglês), segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007). A imagem NDVI representa a cobertura de folhas verdes na escala de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1 mais densa é a vegetação.

Lemos (2006) elaborou um mapa da vegetação baseada em NDVI de imagens CBERS, encontrando seis classes (Tabela 1) e após validação em campo constatou que três das quatro classes de vegetação da ESEC estavam presentes no conjunto de parcelas amostradas em campo (aqui chamadas de espaço amostral).

**Tabela 1**

Intervalos de NDVI (CBERS) com suas classes de campo e respectivas extensões da área da classe, em hectares, na ESEC de Aiuaba, Ceará.

Intervalos NDVI (CBERS)	Classes no campo	Área da classe (ha)
-0,24 a 0,06	Água	27,57
0,07 a 0,24	Nuvens e sombra de nuvens	499,37
0,25 a 0,31	Caatinga Arbustiva-Arbórea Alta Aberta (CArArboAA)	9.519,20
0,32 a 0,34	Caatinga Arbustiva-Arbórea Alta Densa (CArArboAD)	1.439,1
0,35 a 0,38	Caatinga Arbustiva-Arbórea Baixa Densa (CArboArBD)	301,01
0,39 a 0,62	Vegetação presente em áreas mais úmidas	30,00

## 2.4. Correlação cruzada discreta circular (ou cíclica)

O conceito de correlação, a partir da estatística, é a medida de quanto uma variável é dependente de outra, sendo que esta dependência pode ser linear ou não. Para a situação em que a correlação varia dependendo do deslocamento das variáveis entre si, em especial um deslocamento temporal ( $\tau$ ), o conceito estatístico de correlação se mescla à operação de convolução, usada em análise de sistemas lineares, gerando a função de correlação cruzada (Hsu, 1973; Broughton & Bryan, 2009). A equação 1 fornece a correlação entre as funções X e Y com respeito ao deslocamento da função Y, procurando ver se Y é efeito da função X (causa), em função do tempo (t).

$$Corr_{(Y,X)}(\tau) = \frac{\sum_{t=1}^{12} (Y(t+\tau) \cdot X(t))}{\left[ \left( \sum_{t=1}^{12} Y(t)^2 \right)^{0.5} \cdot \left( \sum_{t=1}^{12} X(t)^2 \right)^{0.5} \right]} \quad (1)$$

Para o caso de estudo de imagens de satélites no domínio temporal, tem-se que o cálculo da correlação é de forma discreta, além do que no atual estudo, a variável de interesse é periódica, assim a correlação também será periódica e a operação de correlação é conhecida como correlação cruzada discreta circular (Gonzales & Woods, 2007).

## 2.5. Índice de Vegetação de Diferença Normalizada (NDVI)

O NDVI foi proposto para explorar a resposta das folhas em função da radiação refletida na faixa do vermelho (absorção do cloroplasto) e na do infravermelho próximo (retroespalhamento pelo mesofilo). Matematicamente, o NDVI (Rouse et al., 1974) é definido com a equação 2:

$$NDVI = \frac{IVP - Ver}{IVP + Ver} \quad (2)$$

IVP é a refletância na banda do infravermelho próximo ( $\sim 0,8 \mu\text{m}$ ) e Ver é a refletância na banda do vermelho ( $\sim 0,7 \mu\text{m}$ ), apresenta valores na faixa de -1 a +1, sendo +1 quando há presença muitas folhas e -1 para ausência de folhas. Este é portanto, diretamente relacionado com a presença de folhas, ou seja, com área foliar ou massa foliar. Nestas faixas espectrais têm-se imagens da maioria dos satélites, podendo-se inclusive interpretar imagens desde as primeiras disponíveis.

Como desvantagens para o NDVI, têm-se a saturação do índice quando da presença muito intensa de vegetação e quando se tenta relacionar o NDVI com algum parâmetro vegetal (como área foliar ou biomassa), além da não linearidade do NDVI, ou seja, a relação varia de espécie vegetal para outra.

## 2.6. Índice de Umidade na Vegetação de Diferença Normalizada (ou Normalized Difference Water Index-NDWI)

O NDWI foi proposto de forma similar ao NDVI levando em conta a resposta das folhas em função da radiação na faixa do infravermelho médio (absorção da água) e do infravermelho próximo (retroespalhamento) (Equação 3).

$$NDWI = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM} \quad (3)$$

IVP é a refletância na banda do infravermelho próximo ( $\sim 0,9 \mu\text{m}$ ) e IVM é a refletância na banda do infravermelho médio ( $\sim 1,250 \mu\text{m}$ ), apresenta valores na faixa de -1 a +1, sendo +1 quando há presença de muitas folhas e umidade e, -1 para ausência de folhas ou presença de folhas secas. Este índice, proposto por Gao (1996), é diretamente relacionado com a presença de água na vegetação, indicando o estado hídrico e a saúde vegetal. O NDWI não apresenta uma saturação tão intensa quanto o NDVI e apresenta uma maior linearidade com relação a vários parâmetros biológicos, embora ainda mude de uma espécie vegetal para outra. O baixo índice de uso do NDWI deve-se principalmente ao fato de somente os satélites americanos e indianos apresentarem esta faixa espectral.

---

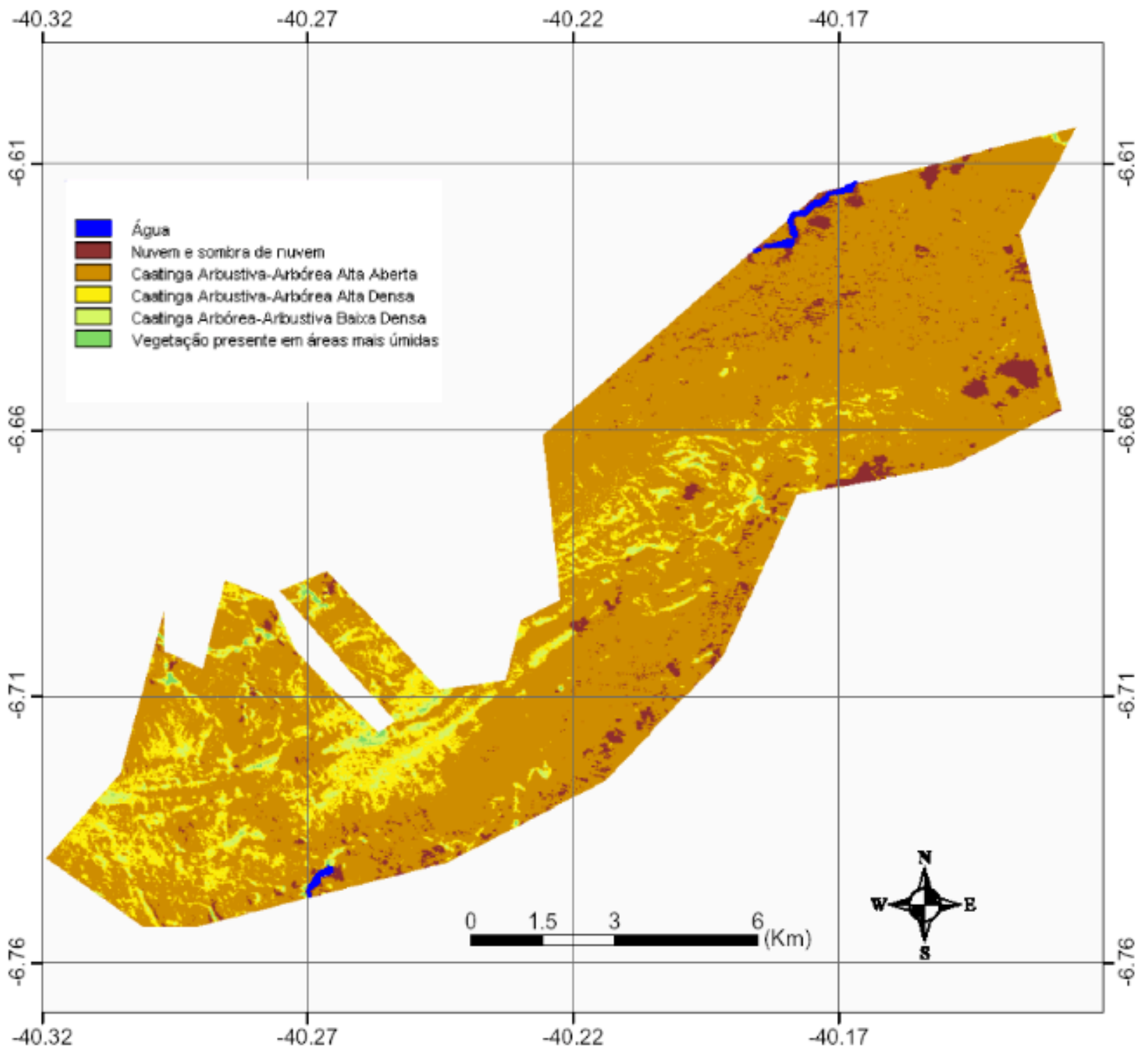
## 3. Resultados e discussão

### 3.1. Estrutura e classificação da vegetação

A Figura 2 mostra o resultado da análise da paisagem feita a partir da imagem CBERS-2, a qual permite a identificação dos corpos d'água (em azul), das nuvens e sombra de nuvens (em vermelho) e de quatro classes vegetacionais (do laranja ao verde). As classes água, nuvem e sombra de nuvem foram certificadas tanto por seus comportamentos espectrais como pela imagem de composição colorida.



Mapa de vegetação do ESEC de Aiuaba, Ceará. Classificação das fisionomias vegetacionais de acordo com a quantidade de folhas verdes como mostra a imagem NDVI obtida das imagens CBERS-2 de 2006.



Após o mapeamento, as 50 parcelas estudadas foram revisitadas com o objetivo de validar as classes do Mapa de vegetação.

### 3.2. Validação de campo gerando as classes no espaço amostral

A vegetação presente nas parcelas foram classificadas em **CArArboAA** (Caatinga Arbustiva-Arbórea Alta Aberta), **CArArboAD** (Caatinga Arbustiva-Arbórea Alta Densa), **CArboArBD** (Caatinga Arbórea-Arbustiva Baixa Densa) e **Vegetação presente em áreas mais úmidas**.

A **CArArboAA** caracteriza-se por apresentar predominantemente arbustos altos, entre 5 e 7m, esparsos entre si, ocorrendo porém, algumas árvores emergentes com alturas entre 8 e 10 m, também esparsas. Não possui assim, um dossel uniforme. A presença do estrato herbáceo mostrou-se marcante.

A **CArArboAD** é caracterizada por apresentar predominância de espécies arbustivas altas, entre 5 e 7m, densamente distribuídas entre si, com presença de alguns elementos arbóreos de até 8,5 m de altura.

A **CArboArBD** é caracterizada pela presença de alguns indivíduos arbustivos e arbóreos baixos, próximos entre si, em um estrato relativamente uniforme. O estrato herbáceo

apresentou-se pouco significativo. Encontra-se instalada principalmente sobre relevo plano a suavemente ondulado. As espécies são totalmente caducifólias no período seco. Os arbustos, predominantes nesta fisionomia, medem entre 2 e 3 m e as árvores entre 4 e 5 m.

A **Vegetação presente em áreas mais úmidas** foi caracterizada levando-se em consideração mais aspectos fisiológicos do que fisionômicos, visto que muitas espécies presentes aqui ainda não apresentavam caducifolia, ou apresentavam parcialmente na ocasião da classificação da imagem. Como espécies verificadas em campo, observou-se maior frequência de *Combretum lanceolatum*, *Cordia trichotoma*, *Erythrina velutina*, *Handroanthus impetiginosus*, *Licania rigida*, *Platymiscium floribundum*, *Poecilanthe* sp., *Ziziphus joazeiro*, entre outras.

As variações de altura entre as classes descritas acima são resumidas na Tabela a seguir:

Classes no campo	Altura média (m)	Altura máxima (m)
CArArboAA	6	10
CArArboAD	6	8,5
CArboArBD	2,5	5
Vegetação presente em áreas mais úmidas	6	12

### 3.3. Caracterização do meio físico

A missão da NASA/DLR SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) realizada em 2000, coletou imagens SAR (*Synthetic Apperture Radar*) de todos os continentes. Através de interferometria das imagens SAR, produziram-se imagens em cujos *pixels* se têm a altitude. Uma parceria entre INPE/EMBRAPA resultou no tratamento das imagens SRTM de todo o Brasil, ortorretificando-as para os mapas brasileiros e corrigindo-as para *pixels* de 30x30m. Assim que foi concluído, estas imagens foram disponibilizadas gratuitamente com o nome de TOPODATA, no site: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/>.

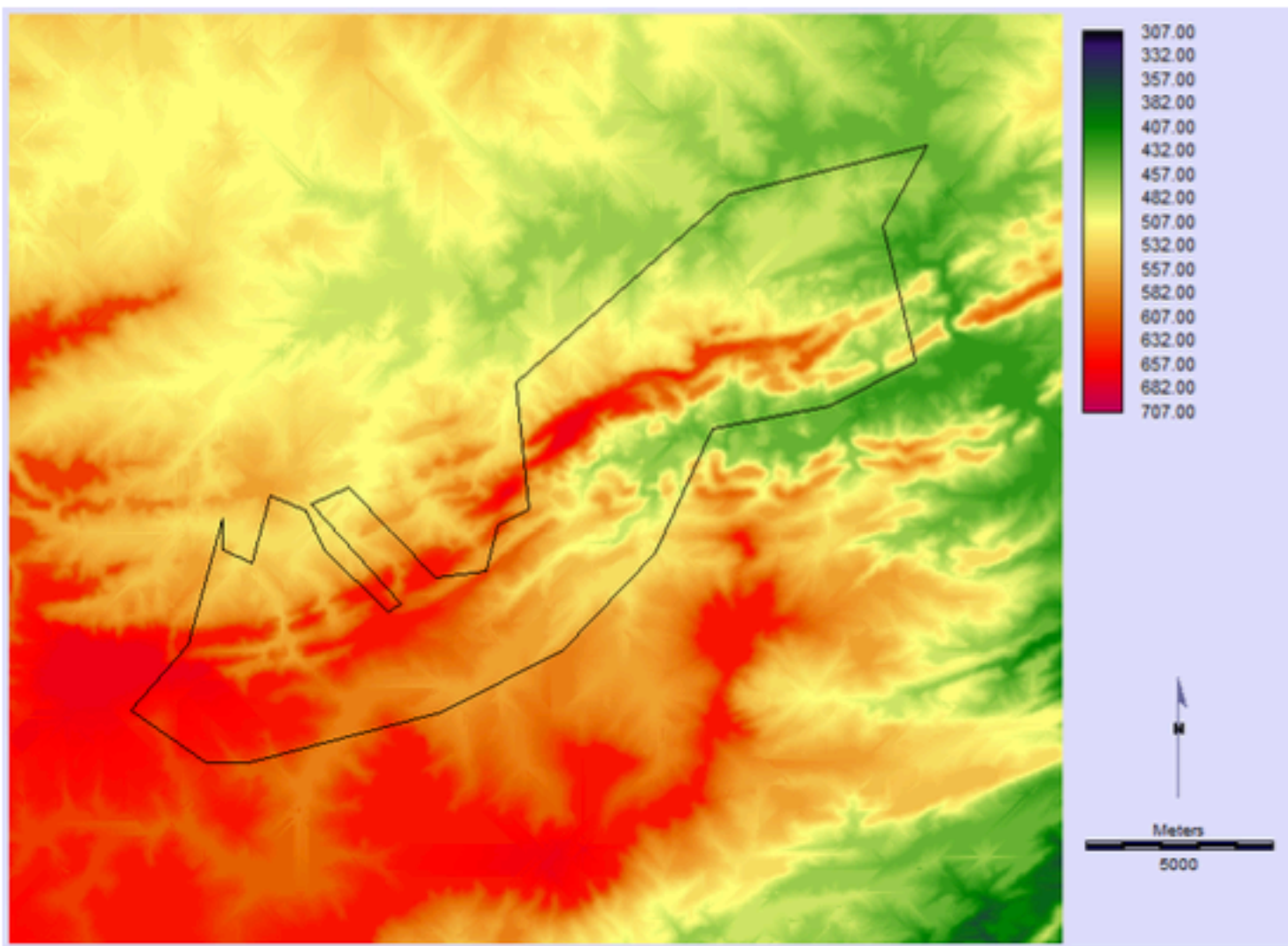
Analisando estas imagens em ambiente de SIG (Sistema de Informação Geográfica) é possível gerar imagens de declividade, orientação de vertentes, sombreamento, além da topografia. Estas, por sua vez, podem ser classificadas gerando mapas temáticos tais como hipsométrico e de orientação de vertentes que podem ser úteis na caracterização do meio físico, juntamente com mapas geológicos.

A Figura 3 mostra em A, a imagem TOPODATA antes de sua análise, com a ESEC de Aiuaba em destaque e em B, a imagem anterior classificada em altitudes de interesse. Já a Figura 4 resulta da análise das orientações de vertentes a que a topografia está sujeita, em 360°, posteriormente classificada em plana, Norte, Leste, Sul e Oeste.

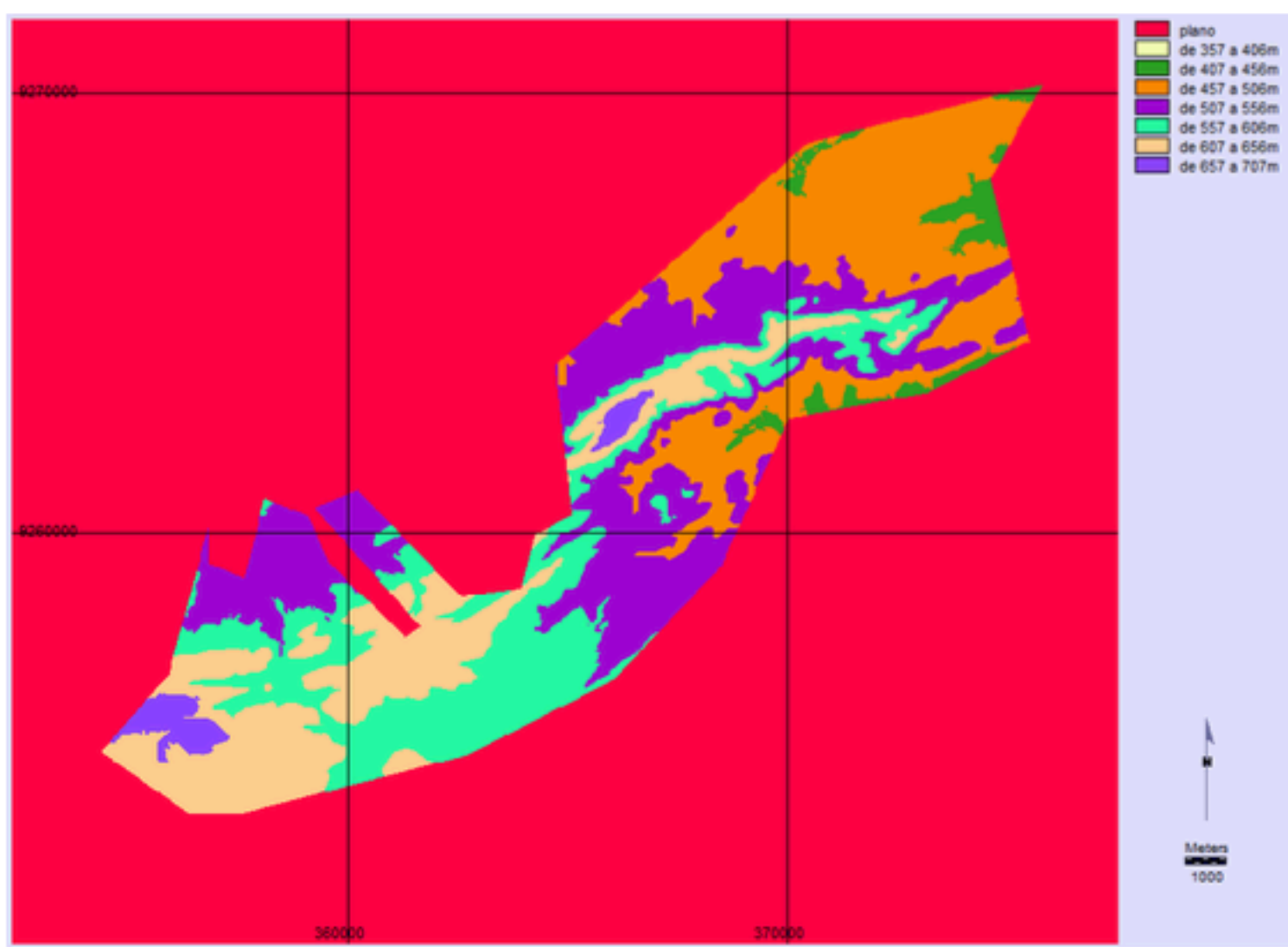
#### Figura 3

- A: Imagem TOPODATA com limite da ESEC de Aiuaba ao centro.  
B: - Mapa Hipsométrico da ESEC de Aiuaba, Ceará.





A



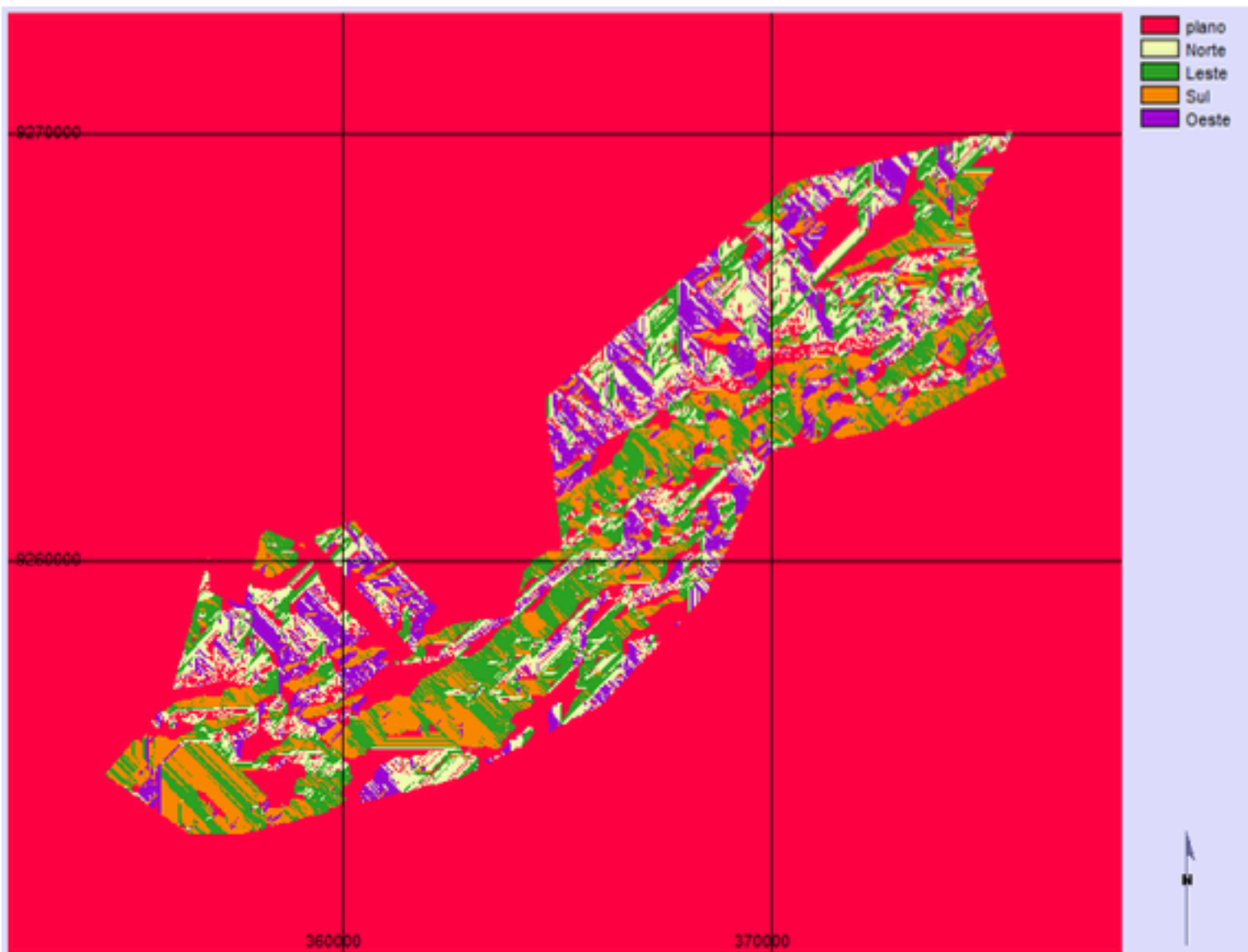
B

Fonte: <http://www.dpi.inpe.br/topodata>

-----

**Figura 4**

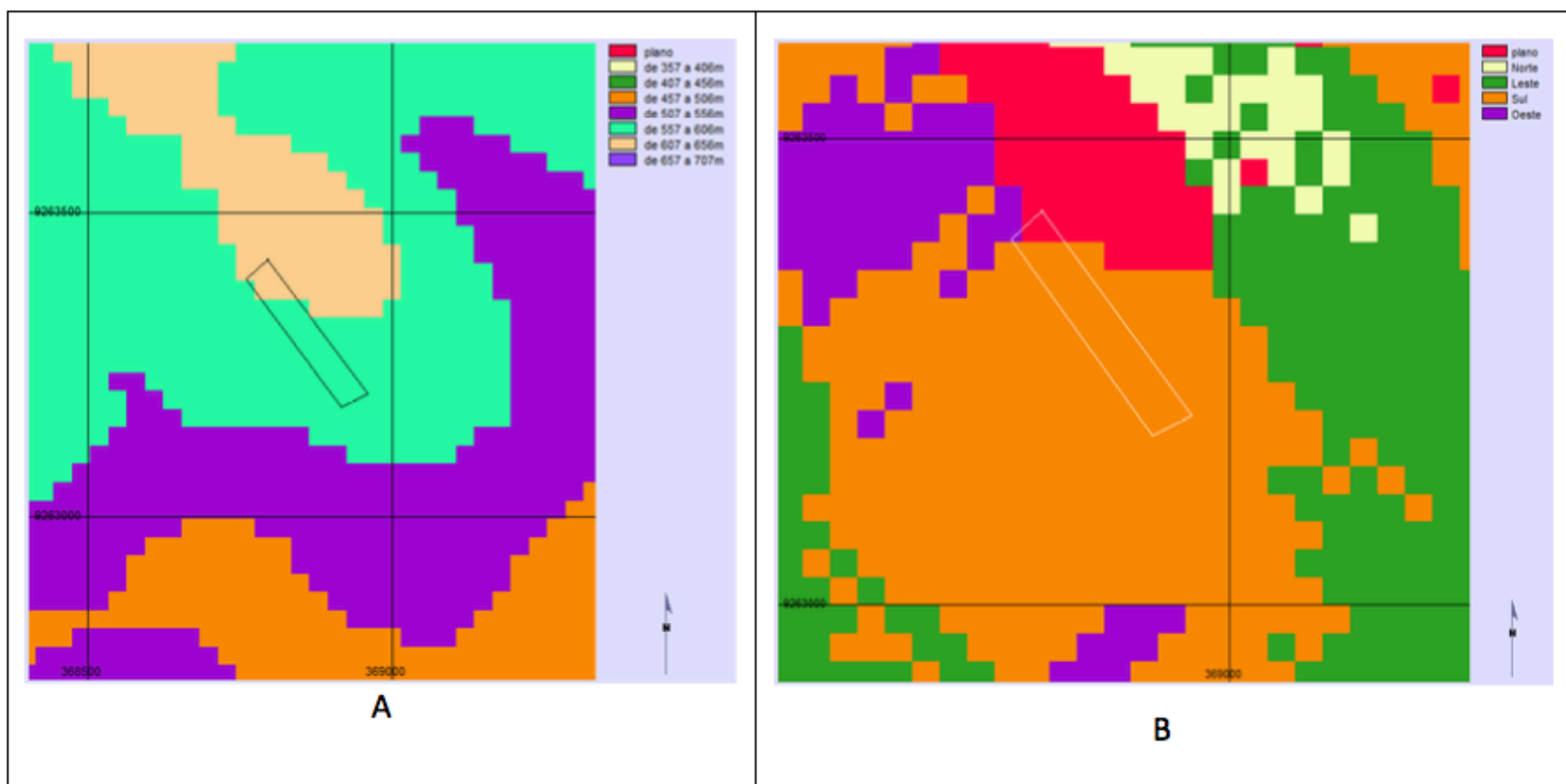
Mapa de Orientação de Vertentes extraída da imagem TOPODATA



A figura 5 apresenta detalhes das duas figuras anteriores (*a* é a hipsometria e *b* a orientação de vertentes) focalizando o espaço amostral. Analisando a Figura 5a verifica-se que o espaço amostral se localizou entre 557 e 656 m de altitude e analisando a Figura 5b constata-se que o espaço amostral localiza-se na face Sul, próximo a uma pequena região plana.

**Figura 5**

Localização do espaço amostral no mapa hipsométrico (A) e no de orientação de vertentes (B)



### 3.4. Análise espectro-temporal da vegetação

Como ponto de partida tem-se que em análise de sinais há o cálculo de convolução, o qual

gera uma nova função a partir da integral da sobreposição de duas funções em função de um deslocamento entre elas. A partir da convolução tem-se a função de autocorrelação que fornece uma medida de memória e, finalmente, a correlação cruzada a qual mede a correlação entre dois sinais em função de deslocamento entre eles.

### 3.5. Índices de Diferença Normalizada

As imagens de satélite passivas são obtidas a partir da reflexão das ondas eletromagnéticas provenientes do Sol, logo sua intensidade depende da radiação incidente no alvo, da interação do alvo com a radiação incidente, de fatores atmosféricos, do posicionamento do satélite e da eficiência dos sensores. Assim, a análise das imagens de cada banda espectral isoladamente implica muitas incertezas, mesmo aplicando-se todas as correções possíveis. Uma forma de se contornar esta dificuldade é relacionar as bandas espectrais de forma relativa. Neste sentido, foram propostos vários índices, principalmente para vegetação, levando-se em consideração a resposta espectral das folhas.

O pigmento das folhas tem assinatura no visível (absorção dos cloroplastos), a estrutura interna das folhas tem assinatura (retroespalhamento) no IVP e a água (absorção) no IVM. As folhas mortas têm espectro semelhante ao solo, assim quando se analisa a vegetação em diversas épocas do ano (sazonalidade) deve-se levar em conta a troca das folhas.

O espaço amostral foi usado como a janela através da qual os valores dos índices de todas as datas foram extraídos. Assim, a imagem NDVI obtida com CBERS-2 (2006), após verificação de campo, possibilitou a classificação do espaço amostral nas três classes predominantes na Estação, o que facilitou a extração dos valores dos índices nas demais datas. Em cada data, o vetor com o espaço amostral classificado foi sobreposto à imagem índice e seus valores foram extraídos em cada *pixel*, gerando um valor médio de cada classe para cada data.

As imagens NDVI revelam a porcentagem de reflectância das folhas verdes presentes, enfatizando o contraste entre a forte absorção pela clorofila no vermelho e a forte reflexão no infravermelho próximo pelo mesofilo. Nesse caso, quanto mais folhas verdes mais o valor do NDVI se aproxima do 1, sendo que os valores negativos revelam ausência de folhas verdes.

A Tabela 2 apresenta os valores médios do NDVI encontrados para cada data das imagens LANDSAT (livre de nuvens) estudadas. As datas foram maio/2007, junho/2009, julho/2003, janeiro/2007 e agosto/2011.

**Tabela 2**  
Média de valores de NDVI nas três classes registradas no espaço amostral da ESEC de Aiuaba, Ceará.

Média de valores de NDVI (Landsat)					Classes
05/1987	06/1990	07/2003	01/2007	08/2011	
0,42	0,35	0,35	0,53	0,30	(CArArboAA)
0,42	0,35	0,36	0,51	0,32	(CArArboAD)
0,36	0,34	0,34	0,51	0,28	(CArboArBD)

Os resultados de NDVI encontrados na área de estudo foram próximos aos valores encontrados por diversos autores, tais como Baptista et al., 2005; Morais et al., 2011; Bezerra et al., 2012 e Ferreira et al., 2012. Barbosa et al. (2006), quando estudaram a variabilidade dos valores de NDVI da região Nordeste do Brasil ao longo de 20 anos, encontraram variações semelhantes pelos citados autores.

Analisando toda a ESEC de Aiuaba, a Tabela 3 traz a variação dos dois índices nas cinco

datas, bem como seus desvios-padrão e a Tabela 4 traz a situação hídrica de cada data das imagens.

**Tabela 3**

Valores médios de NDVI e NDWI na ESEC de Aiuaba, em função do período das imagens LANDSAT.

Mês/ano	Período	NDVI $\pm \sigma$	NDWI $\pm \sigma$
Janeiro 2007	chuvoso	0,4578 $\pm$ 0,0911	-0,0923 $\pm$ 0,0746
Mai 1987	chuvoso	0,5542 $\pm$ 0,0944	0,2802 $\pm$ 0,1063
Junho 1990	seco	0,2846 $\pm$ 0,0709	-0,2341 $\pm$ 0,0735
Julho 2003	seco	0,2279 $\pm$ 0,0775	-0,2718 $\pm$ 0,0644
Agosto 2011	seco	0,1699 $\pm$ 0,0617	-0,3676 $\pm$ 0,0584

-----

**Tabela 4**

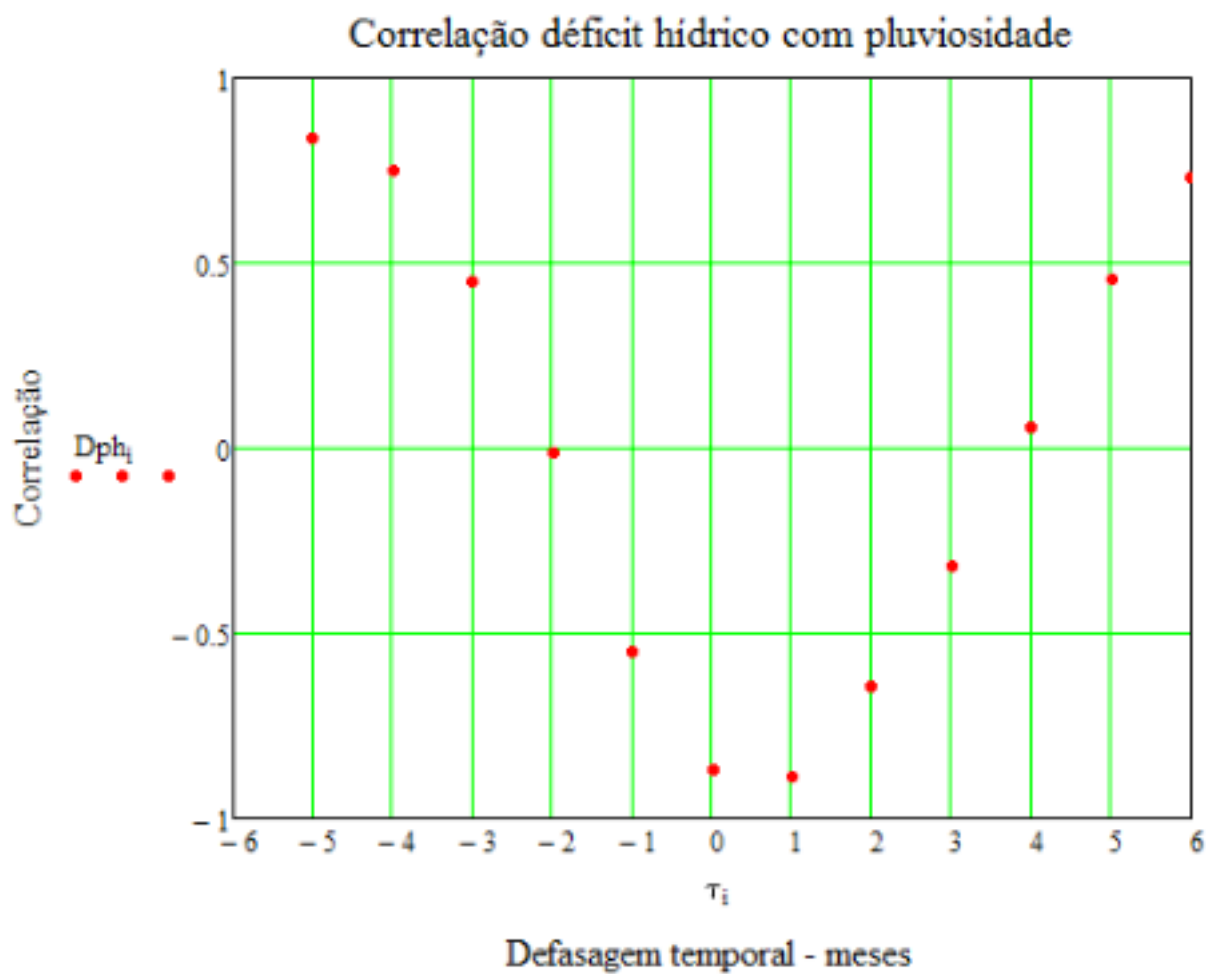
Relação entre mês das imagens e situação hídrica da área de estudo

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Imag	X	-	-	-	X	X	X	X	-	-	-	-
Prec (mm)	65	95	165	118	49	10	6	3	3	10	18	45
Def (mm)	85	25	0	0	49	75	90	122	138	145	135	110

A Figura 6 mostra a correlação cruzada entre a precipitação e o déficit hídrico na área de estudo. A partir da correlação cruzada se observa que o déficit hídrico apresenta maior correlação com a pluviosidade, com defasagem de 1 mês. O sinal da correlação é negativo, indicando que um aumento da pluviosidade implica uma diminuição do déficit, conforme esperado.

**Figura 6**

Correlação cruzada entre precipitação e déficit hídrico na área estudada.



Com relação aos índices de vegetação, NDVI e NDWI (efeitos), é esperada uma correlação positiva com a pluviosidade (causa). Como as imagens analisadas não cobrem o ano todo, além de não serem do mesmo ano, para os meses que não se dispõe de dados dos índices de vegetação utiliza-se como aproximação a média dos índices (NDVI = 0,3389; NDWI = -0,1371), obtida a partir dos meses disponíveis (Tabela 5).

**Tabela 5**  
Valores médios dos dois índices, por mês.

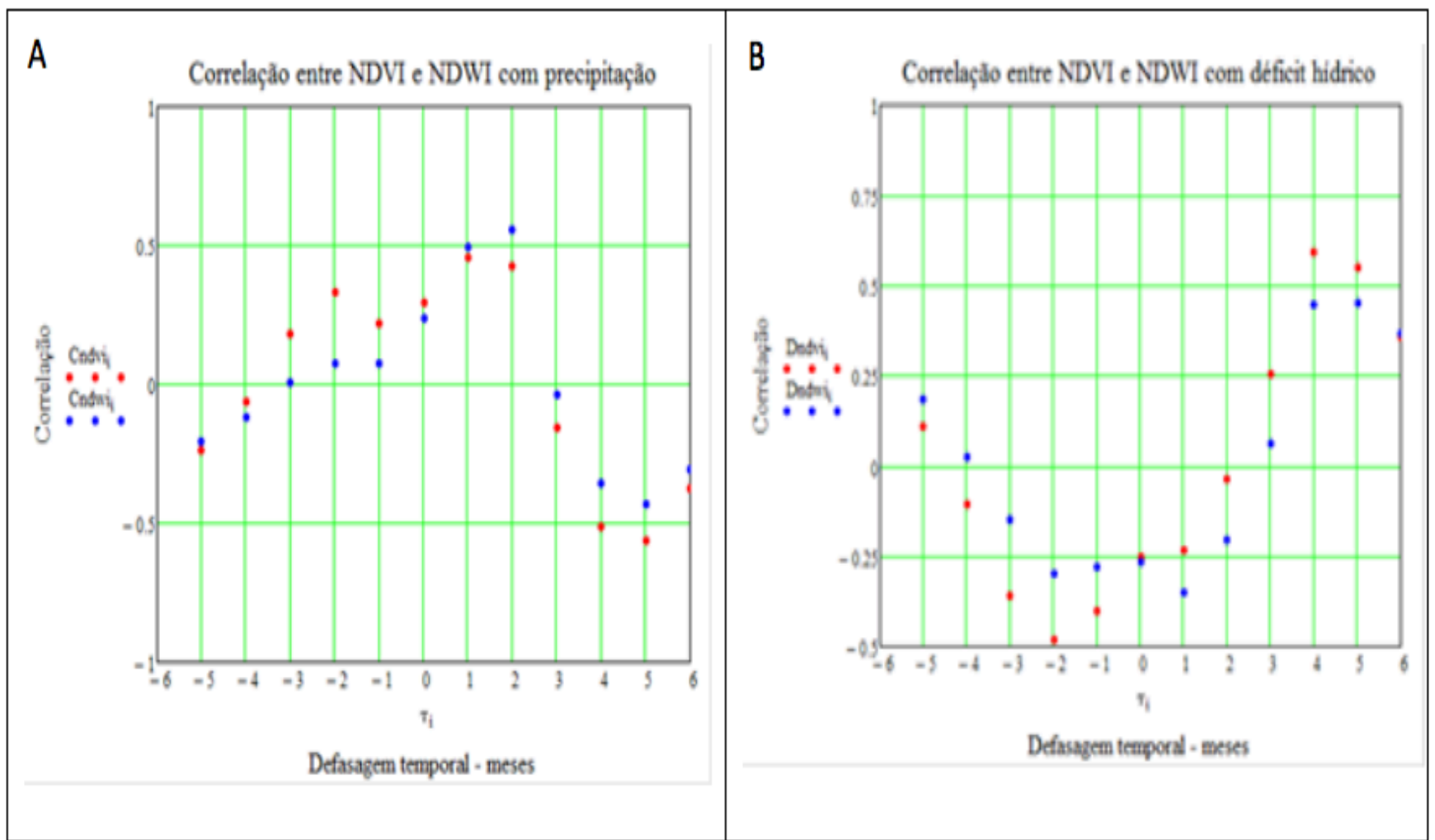
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
NDVI	0,458	0,338	0,338	0,338	0,5542	0,2846	0,2279	0,1699	0,338	0,338	0,338	0,338
NDWI	-0,092	-0,138	-0,138	-0,138	0,2802	-0,234	-0,272	-0,368	-0,138	-0,138	-0,138	-0,138

A partir do cálculo da correlação cruzada obtêm-se os resultados mostrados na Figura 7.

**Figura 7**

- A) Correlação cruzada entre os índices de vegetação e a precipitação na área de estudo;
- B) Correlação cruzada entre os índices de vegetação e o déficit hídrico na área estudada.





A partir da correlação cruzada, observa-se que o NDVI apresenta maior correlação com a pluviosidade, com defasagem de um mês, enquanto o NDWI apresenta maior correlação com esta, com defasagem de dois meses. Ambos apresentam sinal da correlação positivo, indicando que um aumento da pluviosidade implica em um aumento do índice, conforme esperado. Seria esperada uma correlação negativa entre estes índices de vegetação e o déficit hídrico (causa).

Também a partir da correlação cruzada, observa-se que os índices de vegetação apresentam uma intensa correlação com o déficit hídrico, com defasagem de -2 meses, com sinal negativo. Esta defasagem temporal negativa e o máximo de correlação na defasagem em quatro meses indicam uma relação casual trocada, ou, o mais provável é que ambos têm uma causa comum, neste caso a precipitação.

O caminho seguido para se desenvolver a ideia de determinação do tempo de resposta dos índices de vegetação em relação à precipitação não foi direto neste estudo, seguiu do conceito de convolução, passando pelo de autocorrelação para finalmente chegar ao conceito correto de correlação cruzada. Barbosa (1999) também obteve um tempo de resposta de 1 mês entre NDVI e precipitação.

## 4. Conclusões

O sensoriamento remoto do óptico (LANDSAT) e do não óptico (TOPODATA) se mostraram muito úteis para avaliar as condições da vegetação da Caatinga e para caracterizar o meio físico. As três classes de vegetação amostradas no campo são as mesmas encontradas em toda a Estação. O tempo de resposta do índice de vegetação NDVI para variações de pluviosidade é de um mês, enquanto o tempo de resposta do índice NDWI é de dois meses. Com relação ao déficit hídrico, este estudo não mostrou uma relação casual com os índices de vegetação, provavelmente porque ambos sofrem efeitos da pluviosidade.

A análise do meio físico indica que a região amostrada no campo encontra-se em altitudes entre 557 e 656m, predominantemente na vertente sul da Estação.

As imagens utilizadas neste trabalho correspondem a cinco meses, sendo três delas do início do período seco (junho a agosto) e duas do período chuvoso (janeiro e maio), não sendo imagens do mesmo ano (entre 1987 e 2011). Os resultados de NDVI encontrados na área de estudo foram próximos aos valores encontrados por diversos autores quando estudaram a variabilidade dos valores de NDVI da região Nordeste do Brasil ao longo de 20 anos.

# Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela bolsa de Doutorado concedida ao primeiro autor; à Fundação O Boticário de Proteção à Natureza-FBPN, pelo auxílio financeiro concedido; ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis-IBAMA, pela licença desta pesquisa na EE de Aiuaba; à Gerência da Estação Ecológica de Aiuaba pelo apoio logístico e à família do Sr. Plínio Matias pela hospitalidade e atenção dispensadas.

---

## Referências bibliográficas

- Araújo, E. L. (2003). Diversidade de herbáceas na vegetação da caatinga. In: E. G. Jardim, M. N. C. Bastos, & J. V. M. Santos (eds.), *Desafios da botânica brasileira no novo milênio: inventário, sistematização e conservação da diversidade vegetal* (pp. 82-84). Belém: Sociedade Brasileira de Botânica.
- Associação Plantas do Nordeste (1999). *Cobertura Vegetal: município de Aiuaba-CE*. Fortaleza: APNE.
- Baptista, G. M. M., Carvalho, J. M., Camacho, R. G. V., Ribeiro, R. J. S., Bias, E. S., & Zara, L. F. (abril, 2005). Comportamento sazonal da vegetação da caatinga na região de Lucrécia, RN, em 2003 e 2004, por meio dos dados do sensor CCD do CBERS-2. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 797-804). Goiânia, Brasil: INPE.
- Barbosa, H. A. (1999). *Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos.
- Barbosa, H. A., Huete, A. R., & Baethgen, W. E. (2006). A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *Journal of Arid Environments*, 67, 288-307.
- Bezerra, J. M., Vasconcelos, R. S., Moura, G. B. A., & Sobrinho, J. E. (2012). Spectral indices of vegetation to caatinga of the area of semi-arid of Rio Grande of Norte, Brazil. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 2, 010-024.
- Brasil. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. *Dados pluviométricos mensais do Nordeste: Estado Ceará*. (1990). Recife: SUDENE, Vol 2, p. 425.
- Brinkmann, K., Dickhoefer, U., Schlecht, E.; Buerkert, A. (2011). Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data. *Remote Sensing of Environment*, 115, 465-474.
- Broughton, S.A., & Bryan, K. (2009). *Discrete Fourier Analysis and Wavelets, applications to signal and image processing*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Correia Filho, E. P., Farias, M. T. B., & Sousa, J. V. (1983). Geologia. In: J. G. B. Oliveira (Coord.) *Projeto Aiuaba: relatório técnico (maio/1982-outubro/1983)* (pp. 5-50). Fortaleza-CE: FCPC/UFC/NECO.
- Cunha, J. E. B. L., Rufino, I. A. A., Silva, B. B., & Chaves, I. B. (2012). Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16(5), 539-548.
- Dombroski, J. L. D., Praxedes, S. C., Freitas, R. M. O., & Pontes, F. M. (2011). Water relations of Caatinga trees in the dry season. *South African Journal of Botany*, 77, 430-434.
- Doorenbos, J., & Kassam, A. H. (1979). *Efeito da água no rendimento das culturas*. Campina Grande: UFPB. (FAO. Estudos FAO Irrigação e drenagem, 33).
- Ferreira, J. M. S., Ferreira, H. S., Silva, H. A., Santos, A. M., & Galvíncio, J. D. (2012). Análise Espaço-Temporal da Dinâmica da Vegetação de Caatinga no Município de Petrolina-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 4, 904-922.
- Gao, B. C. (1996). NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. *Remote Sensing of Environment*, 58, 257-266.

- Gonzales, R. C., & Woods, R. E. (2007). *Processamento de imagens digitais*. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda.
- Huete, A. R., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 195-213.
- Hsu, H. P. (1973). *Análise de Fourier*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.
- Jackson, T. J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., & Hunt, E. R. (2004). Vegetation water content mapping using Landsat data derived normalized difference water index for corn and soybeans. *Remote Sensing of Environment*, 92, 475-482.
- Jacomine, P. K. T., Almeida, J. C., & Medeiros, L. A. R. (1973). *Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Ceará*. v. 1/2. Recife: SUDENE. (Boletim Técnico, 28; Série Pedologia, 16).
- Kazmierczak, M. L. (1996). Uso de dados AVHRR/NOAA GAC para análise da sazonalidade da caatinga. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp 513-518). Salvador, Brasil: INPE.
- Kozlowski, T. T., Kramer, P. J., & Pallardy, S. G. (1991). *Physiological ecology of woody plants*. New York: Academic Press.
- Larcher, W. (1995). *Physiological plant ecology: ecophysiology and stress physiology of functional groups*. Berlin: Springer.
- Lemos, J. R. (2006). *Florística, estrutura e mapeamento da vegetação da caatinga da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará*. (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Lemos, J. R., & Meguro, M. (2015). Estudo fitossociológico de uma área de Caatinga na Estação Ecológica (ESEC) de Aiuaba, Ceará, Brasil. *Revista Biotemas*, 28(2), 39-50.
- Lemos, J. R., & Meguro, M. (2010). Florística e fitogeografia da vegetação decidual da Estação Ecológica de Aiuaba, Ceará, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Biociências*, 8(1), 34-43.
- Lima, G. C., Silva, M. L. N., Curi, N., Silva, M. A., Oliveira, A. H., Avanzi, J. C., & Ummus, M. E. (2013). Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Revista Ambiente & Água*, 8(2), 204-214.
- Morais, Y. C. B., Santos, B. O., Laurentino, M. L. S., Silva, J. C. B., & Galvíncio, J. D. (2011). Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta/PE – Brasil, utilizando o NDVI. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp 2128-2134). Curitiba Brasil: INPE.
- Müeller-Dombois, D., & Ellenberg, H. (1974). *Aims and methods of vegetation ecology*. New York: John Wiley.
- Nimer, E. (1979). *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Fundação IBGE-SUPREN. (Recursos Naturais e Meio Ambiente 4).
- Ponzoni, F. J., & Shimabukuro, Y. E. (2007). *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos: Editora Parêntese.
- Reddy, S. J. (1983). Climatic classification: the semiarid tropics and its environment: a review. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18(8), 823-47.
- Reis, A. C. S. (1976). Clima da caatinga. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(2), 325-335.
- Rouse, J. W., Haas, R. H. Jr., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). Monitorando os sistemas de vegetação nas Grandes Planícies com ERTS. NASA SP-351, Terceiro Simpósio ERTS-1 NASA Washington DC. Vol 1, pp. 309-317.
- Sampaio, E. V. S. B. (1995). Overview of the Brazilian caatinga. In: S. H. Bullock, H. A. Mooney, & E. Medina (eds.), *Seasonally dry tropical forests* (pp. 35-63). Cambridge:

University Press.

Silva, A. P. N., Moura, G. B. A., Giongo, P. R., & Silva, A. O. (2009). Dinâmica espaço-temporal da vegetação no semi-árido de Pernambuco. *Revista Caatinga*, 22(4), 195-205.

Silva, K. S. T., André Lima, A., & Almeida, A. M. (2011). Estudo da sazonalidade da Caatinga com dados do sensor MODIS. In: *Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR* (p. 1881). Curitiba, PR, Brasil: INPE.

Souza, M. J. N. (1988). Contribuição ao estudo das unidades morfo-estruturais do estado do Ceará. *Revista de Geologia*, 1, 73-91.

Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Recife, PE). (1986). *Mapa Cartográfico DSG Aiuaba (SB.24-Y-B-IV)*. Recife. 1 mapa. Escala 1:100.000.

Thornthwaite, C. W., & Mather, J. R. (1955). *The water balance*. Centerton: Laboratory of Climatology.

Valeriano, M. M. (2004). *Modelo Digital de Elevação com base em dados SRTM disponíveis para América do Sul*. São José dos Campos, Brasil: Relatório Técnico do INPE. INPE-10550-RPQ/756.

---

1. Doutor, Coordenação de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Piauí/Campus Ministro Reis Velloso, Parnaíba, Brasil. E-mail: [jrlemos@ufpi.edu.br](mailto:jrlemos@ufpi.edu.br) (autor correspondente).

2. Técnico de Nível Superior, IB/Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: [welaless@ib.usp.br](mailto:welaless@ib.usp.br)

3. Aluno da Matemática Aplicada IME/Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: [kblanesp@yahoo.com.br](mailto:kblanesp@yahoo.com.br)

4. Doutora, IB/Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. E-mail: [tencourt@ib.usp.br](mailto:tencourt@ib.usp.br)

---

Revista ESPACIOS. ISSN 0798 1015  
Vol. 39 (Nº 34) Ano 2018

[Índice]

[No caso de você encontrar quaisquer erros neste site, por favor envie e-mail para [webmaster](mailto:webmaster)]

©2018. revistaESPACIOS.com • ®Derechos Reservados