

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO NDVI E NDWI SOB DIFERENTES INTENSIDADES PLUVIOMÉTRICAS NO MUNICÍPIO DE SOUSA-PB

Analysis of the behavior of NDVI and NDWI under different rainfall intensities in the municipality of Sousa-PB

Erickson Melo de Albuquerque

Mestrando em Meteorologia pela UFCG, na Unidade de Ciências Atmosféricas - UACA, Graduado em Geoprocessamento e graduando em Sistemas Para Internet, ambos pelo IFPB

Silvia Cristina de Pádua Andrade¹

Heliene Ferreira de Moraes¹

Julio Mannuel Tavares Diniz¹

Carlos Antonio Costa dos Santos¹

¹Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande. Caixa Postal 10.078, 58.429-140 - Campina Grande - PB, Brasil. {silviacrisandrade, helienemorais, juliomannueltavares}@gmail.com, carlos@dca.ufcg.edu.br

RESUMO

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido fundamentais para realizar o monitoramento e mapeamento dos recursos naturais. Através de imagens de satélite é possível ter uma visão ampla de uma região, permitindo a análise da dinâmica da paisagem em diferentes escalas espacial e temporal, variando conforme a configuração do sensor. Na região nordeste do Brasil, vários estudos têm sido desenvolvidos para caracterizar e monitorar as mudanças ocorridas no uso do solo e na cobertura vegetal utilizando para isto, os índices de vegetação (IV) que permitem analisar a abundância relativa e a atividade da vegetação, a porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida (APAR), entre outros. Desta maneira, este trabalho teve por objetivo analisar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal através de índices de vegetação, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) proposto por Rouse *et al.* (1974) e o Índice de Umidade por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Water Index* - NDWI) desenvolvido por Gao (1996) sob intensidades pluviométricas diferentes no município de Sousa-PB. Para esta finalidade foram utilizadas duas imagens dos anos de 2007 e 2009 do satélite Landsat-5, sensor TM, datadas de 26/07 e 28/09 de 2007, e 29/06 e 01/09 de 2009, as quais correspondem aos períodos considerados chuvoso (dezembro a maio) e seco (junho a novembro), e registradas na órbita e ponto 216/65. As imagens foram processadas iniciando-se com a execução da calibração radiométrica, em seguida, pela obtenção da refletância monocromática e, por fim, o cômputo dos índices de vegetação e umidade. Além disso, também foi gerada uma composição colorida, fazendo uso das bandas 3, 4 e 5, do sensor TM, para a realização de fotointerpretação como forma de auxiliar na identificação dos alvos componentes da cena. Dados de precipitação total mensal acumulada (em milímetros) foram obtidos através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e utilizados para representar o regime pluviométrico do município no período estudado. Os resultados indicaram que os valores mais baixos de NDVI e NDWI nas cenas estudadas foram encontrados em períodos de baixa precipitação (mês de setembro). A cena referente à data 26/07/2007 mostrou um aumento significativo nestes índices, que pode estar associada com o aumento da precipitação neste período. Isso mostra a influência da ocorrência de chuvas na resposta da vegetação encontrada na caatinga e a importância da água

Recebido em: 02/02/2014

Aprovado para publicação em: 03/05/2014

no seu desenvolvimento. De maneira geral, os índices de vegetação utilizados mostraram-se eficientes para analisar a resposta espectral da cobertura vegetal da área estudada.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, NDWI, NDVI, índices de vegetação, cobertura vegetal.

ABSTRACT

The remote sensing techniques have been instrumental to perform the monitoring and mapping of natural resources. Through satellite images it is possible to take a broad view of a region, allowing the analysis of landscape dynamics at different spatial and temporal scales, varying depending on the configuration of the sensor. In northeastern Brazil, several studies have been developed to characterize and monitor the changes in land use and land cover using for this, vegetation indices (VI) which allow to analyze the relative abundance and vegetation activity, the percentage green cover, chlorophyll content, green biomass and photosynthetically absorbed radiation (PAR), among others. Thus, this study aimed to analyze the changes in vegetation cover through vegetation indices such as the Index Normalized Difference Vegetation (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) proposed by Rouse et al. (1974) and the Normalized Difference Moisture Index (Normalized Difference Water Index - NDWI) developed by Gao (1996) under different rainfall intensities in the municipality of Sousa-PB. For this purpose we used two images of the years 2007 and 2009 Landsat-5/TM sensor, dated 26/07 and 28/09, 2007, and 29/06 and 01/09, 2009, which correspond to periods considered rainy season (December-May) and dry (June to November), and recorded in orbit and point 216/65. The images were processed starting with the implementation of radiometric calibration, then by obtaining monochromatic reflectance and, finally, the computation of vegetation indices and moisture. Furthermore, a colored composition was also generated, using the bands 3, 4 and 5, the sensor TM for performing image interpretation as an aid in identifying the components of the target scene. Data cumulative monthly total precipitation (mm) were obtained from the National Institute of Meteorology (INMET) and used to represent the rainfall during the study period the county website. The results indicated that the lowest values of NDVI and NDWI in scenes studied were found in periods of low rainfall (September). The scene corresponding to date 26/07/2007 showed a significant increase in these indices, which may be associated with increased precipitation during this period. This shows the influence of rainfall on the response of vegetation found on the savanna and the importance of water in their development. In general, the vegetation indices used were effective for analyzing the spectral response of vegetation cover in the study area

Keywords: NDWI, NDVI, vegetation cover, remote sensing, semiarid

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas as técnicas de sensoriamento remoto têm sido fundamentais para realizar o monitoramento e mapeamento dos recursos naturais. Através de imagens de satélite podemos ter uma ampla visão de uma região permitindo a análise da dinâmica da paisagem em escala espacial e temporal. A gama de informações extraídas de imagens de satélite é bastante ampla e sua utilização se dá em várias vertentes. No Nordeste brasileiro diversos estudos têm sido realizados para caracterizar e monitorar as mudanças ocorridas no uso e cobertura da vegetação através de dados obtidos de sensores orbitais, principalmente devido à complexidade do bioma caatinga. Segundo Ferreira (2001), o estudo da vegetação natural na região semiárida por meio de imagens de satélite é de fundamental importância, devido às características peculiares que a mesma apresenta, mesmo que não conhecidas suficientemente e adequadamente.

Uma das ferramentas desenvolvidas e amplamente utilizadas em vários países para monitorar a cobertura vegetal de determinada região são os índices de vegetação (IV). Estes índices são medidas radiométrica adimensionais que indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente absorvida (APAR), como afirma Jensen (2011). Tais índices ressaltam o

comportamento espectral da vegetação relacionada aos parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como a biomassa e o índice de área foliar em relação a sua dinâmica fisiológica, fenológica e a detecção de mudanças tanto naturais como antrópicas. Dentre estes, destacam-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (sigla em inglês, *Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) e o Índice de Água por Diferença Normalizada (sigla em inglês, *Normalized Difference Water Index* - NDWI).

O NDVI foi o primeiro índice de vegetação desenvolvido e proposto por Rouse *et al.* (1974), no qual normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1. Para alvos terrestres, o limite inferior é de aproximadamente zero, e o limite superior, de aproximadamente 0,8 (PONZONI *et al.*, 2012). Desde então, o NDVI tem sido amplamente explorado em diversas abordagens, tais como em estudos do vigor da vegetação, no coeficiente de culturas agrícolas, mapeamento do uso e ocupação do solo, desmatamentos florestais, mudanças climáticas entre outros. Segundo Araújo (2006), este índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial bem como sua evolução no decorrer do tempo. Destacando ainda que, para uma melhor interpretação dos dados recebidos é necessário considerar os ciclos fenológicos anuais para se distinguir as oscilações naturais do estado da vegetação.

O NDWI, proposto por Gao (1996) é também outro importante índice nos estudos da cobertura vegetal, sendo este altamente correlacionado com o conteúdo de água na cobertura vegetal e permite-nos acompanhar mudanças na biomassa e avaliar o estresse hídrico da vegetação, através de operações aritméticas com as bandas do infravermelho próximo e do infravermelho médio do Landsat-5/TM (JENSEN, 2011).

Deste modo, o presente trabalho visa analisar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal para períodos com diferentes intensidades pluviométricas por meio dos índices de vegetação NDVI e NDWI nos anos de 2007 e 2009 na região do município de Sousa-PB utilizando imagens do satélite/sensor Landsat-5/TM.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

O município de Sousa está localizado no extremo Oeste do Estado da Paraíba e está distante da capital do Estado aproximadamente 427 km, ocupando uma área de 739 km², estando compreendido entre as coordenadas 38° 22' 25,2''O, 06° 54' 58''S e 38°05'8,1''O, 6°35'13,5''S (Figura 1). A altitude média é de 120 metros e uma população estimada em 65.803 habitantes (IBGE, 2010).

A região está inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila, que é um tipo de vegetação de caráter mais seco, onde há a abundância de cactáceas e plantas de porte mais baixo, espalhada com trechos de Floresta Caducifólia. De acordo com a classificação climática de Koppen, na região predomina o clima *Aw* – quente e úmido, com chuvas de verão – outono, que ocorre em grande parte depressão sertaneja, na mesorregião do Sertão Paraibano.

Sousa está inserida nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, entre a região do Alto Piranhas e a sub-bacia do Rio do Peixe, o que contribui para o significativo desenvolvimento da agricultura irrigada nesta região. De acordo com Silva Neto (2012), novas técnicas de irrigação têm sido aplicadas na microrregião em estudo, pois a mesma oferece condições favoráveis de clima, solo e água para expansão e desenvolvimento, sobretudo da fruticultura irrigada.

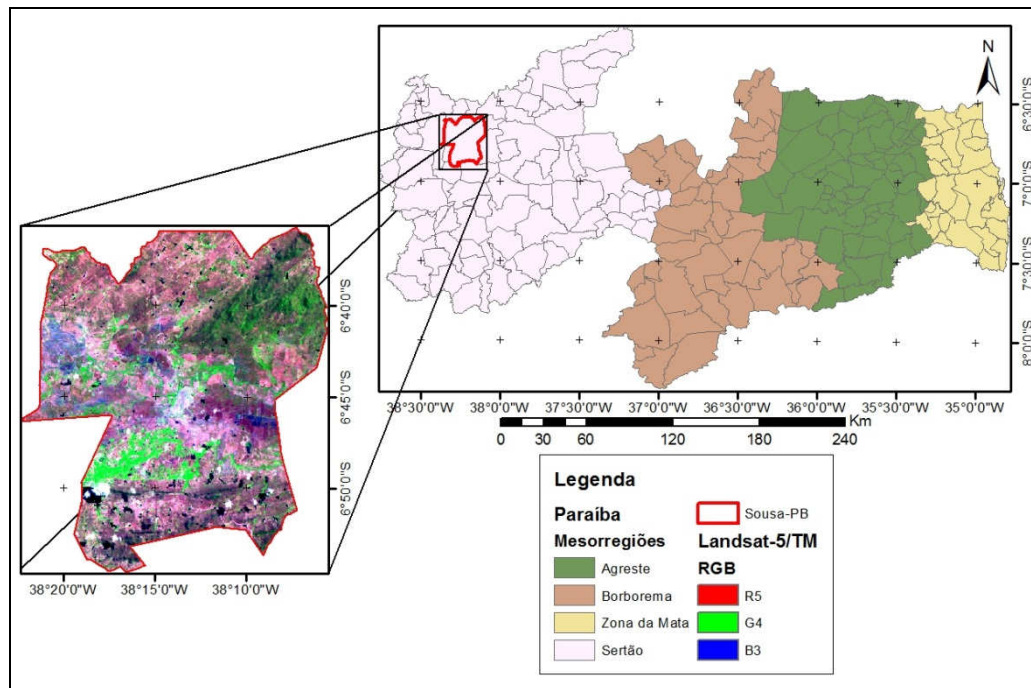


Figura 1: Localização geográfica do município de Sousa-PB.

2.2 Métodos

Foram utilizadas imagens do satélite/sensor Landsat-5/TM, órbita/ponto 216/65, que abrangem o município de Sousa-PB, correspondentes às datas 26/07 e 28/09 de 2007 e 29/06 e 01/09 de 2009. Tais cenas foram obtidas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e foram escolhidas de acordo com o percentual de cobertura de nuvens na cena, considerando a dificuldade em se obter imagens com essa característica até mesmo em região semiárida para o período chuvoso. Também foram adquiridos dados meteorológicos de pluviometria diária, abrangendo um período de 30 anos – de 1981 a 2011, para obtenção do comportamento da climatologia do local, e especificamente nos anos de 2007 e 2009, alvos deste estudo, através do acesso ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados foram coletados por uma estação meteorológica convencional localizada no distrito de São Gonçalo, pertencente ao município de Sousa, na latitude de 6°45'00"S e longitude 38°12'36"O, instalada em 1938. Os dados foram exibidos no próprio navegador de internet e apresentados com uma formatação padrão do INMET, de forma que a primeira linha continha os títulos das colunas e as demais linhas os registros, estando as colunas separadas por ponto-e-vírgula (;). Em seguida os dados foram copiados para um editor de planilhas, no qual ocorreu a geração de gráficos.

Na etapa de pré-processamento foram registradas as bandas 3, 4 e 5 que correspondem aos comprimentos de ondas do vermelho (0,63-0,69 μm), infravermelho próximo (0,76-0,90 μm) e infravermelho médio (1,55-1,75 μm), respectivamente, referenciadas às imagens do Landsat-5/TM corrigidas geometricamente e ortorretificadas, disponíveis no sítio landsat.org.

A primeira etapa do processamento consistiu no cômputo da radiação espectral em cada banda (L_{λ}), em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática Equação (1):

$$L_{\lambda,i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{2^8} ND \quad (1)$$

Onde $L_{\lambda,i}$ é a radiância efetivamente medida pelo sensor; a_i é a radiância mínima e b_i é a radiância máxima que o sensor é capaz de registrar; 2^8 se refere à resolução radiométrica do sensor TM+ (8 bits); e ND é o número digital do pixel.

Em seguida, com os dados convertidos em radiância aparente, é aceito que eles podem ser comparados entre si. Porém, a radiância depende da intensidade de radiação radiada pela fonte, o que a torna um parâmetro inadequado ao estudo das propriedades espectrais de objetos, transferindo o papel de destaque para a refletância (PONZONI *et al.*, 2012). Sendo assim, a segunda etapa consistiu em obter a refletância monocromática de cada banda $\rho_{\lambda,i}$ através da razão entre a radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar incidente, sendo obtida por Equação (2):

$$\rho_{\lambda,i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda,i}}{ESUN_{\lambda} \cos \theta \cdot d_r^2} \quad (2)$$

onde: $ESUN_{\lambda}$ é a constante solar monocromática associada a cada banda do sensor ($W \cdot m^{-2} \cdot \mu m^{-1}$), os valores de $ESUN$ são tabelados e descritos por Allen *et al.* (2002), θ é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol. Essa operação possibilita realizar operações aritméticas sobre as diferentes bandas espectrais de um sensor, uma vez que os valores apresentados estão numa mesma escala.

Em seguida, para a obtenção do NDVI (etapa 3), calculou-se a razão entre a diferença das refletividades do infravermelho-próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) pela soma das mesmas refletâncias Equação (3):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3)$$

em que, ρ_{IV} e ρ_V , correspondem as bandas 4 e 3 do Landsat -TM 5.

O NDWI foi calculado para cada pixel utilizando as refletividades das bandas no infravermelho próximo (banda 4) e do infravermelho médio (banda 5) conforme proposto por Gao (1996) na Equação 4:

$$NDWI = \frac{\rho_{IVp} - \rho_{IVm}}{\rho_{IVp} + \rho_{IVm}} \quad (4)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mesorregião do sertão paraibano apresenta um perfil regular de chuvas anuais, as quais ocorrem inicialmente em dezembro/janeiro e se estendem até meados de junho. Os períodos aqui estudados para o município de Sousa são caracterizados por uma distribuição de chuvas que se

aproximam da climatologia, ou seja, média histórica referente ao mínimo de 30 anos de dados registrados.

Na Figura 2 é retratado o comportamento da pluviometria, comparando-a com a climatologia, em Sousa, no ano de 2007, na qual se pode identificar os meses mais chuvosos e secos daquele ano. Além disso, neste ano a precipitação seguiu, na maioria do período, o comportamento da média climatológica, à exceção dos meses de março e junho, que choveu muito abaixo e muito acima do esperado, respectivamente.

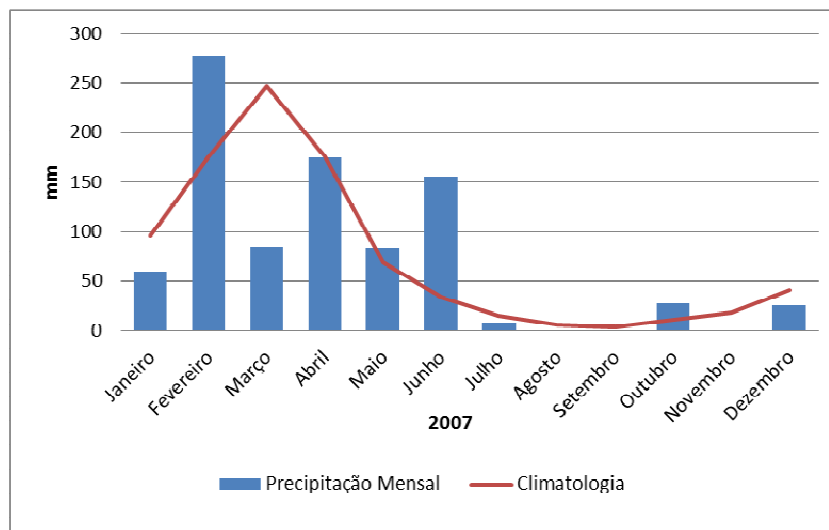


Figura 2: Comportamento da precipitação acumulada mensal (mm), no ano de 2007, no município de Sousa em comparação com a climatologia. Fonte: dados INMET.

A Figura 3 apresenta o comportamento pluviométrico no ano de 2009 para a mesma região. Observa-se que os meses de janeiro a maio apresentaram regularidade na distribuição da precipitação, inclusive superando com destaque a média climatológica nos meses de abril e maio. Ao analisar a climatologia, é perceptível que os meses de estiagem total ou quase total, se configuram após o mês de junho, se estendendo até novembro.

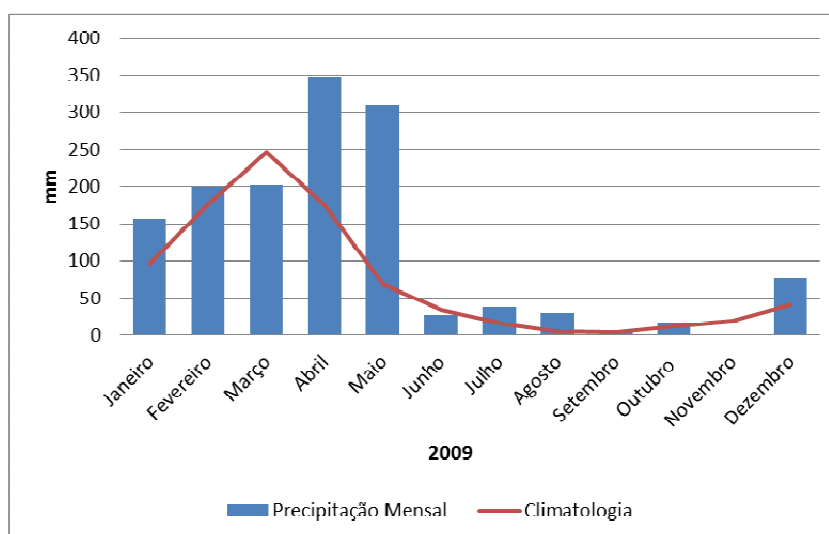


Figura 3: Comportamento da precipitação acumulada mensal (mm), no ano de 2009, do município de Sousa em comparação com a climatologia. Fonte: dados INMET.

Ao transformar os gráficos das Figuras 2 e 3 em números, pode-se analisar que o ano de 2009 apresentou um total de chuvas de 56% acima de 2007 e 57% acima da climatologia. Isso

significa dizer que em 2009 o total precipitado correspondeu a 1411 mm, enquanto que em 2007, esse valor foi de 901,4 mm e a média climatológica representada por 895,2 mm. Essas diferenças foram observadas para realizar a escolha do período estudado, com o objetivo de identificar a influência da chuva na vegetação típica de Sousa, localizada no sertão paraibano.

Na região estudada podem-se identificar, a exemplo da Figura 4, que apresenta uma composição colorida RGB (543) de uma cena Landsat-5/TM, datada de 26/07/2007, áreas de solo exposto, com tonalidade avermelhada e a variação da vegetação predominante, em que os tons azulados indicam vegetação rala, diferenciando-a do solo exposto. As áreas em verde claro correspondem à cobertura vegetal com boa disponibilidade hídrica, presente principalmente em porções próximas aos rios que banham a região.

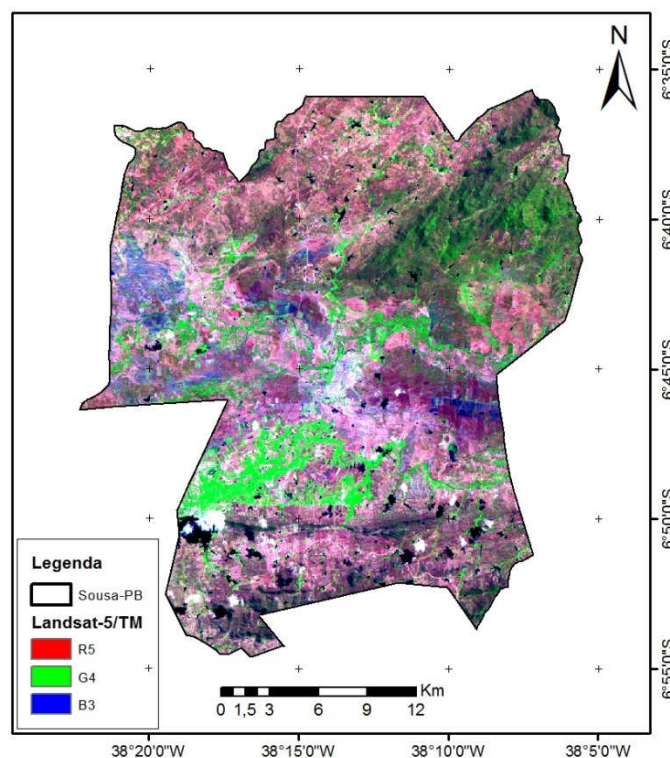


Figura 4: Cena estudada em composição RGB do Landsat 5/TM.

As Figuras 5 e 6 apresentam os valores obtidos de NDVI e NDWI para os períodos seco e chuvoso, respectivamente, no município de Sousa-PB. Os resultados foram condizentes com os valores encontrados na literatura para áreas de caatinga, assim como para a resposta espectral de corpos d'água.

No período de baixa precipitação de 2007 (Figura 5(a)), o NDVI variou de -1,0 a 0,8 sendo a média 0,23 e o desvio padrão 0,09. Conforme mostra a figura, o NDVI apresentou valores negativos para corpos d'água e valores intermediários variando entre 0,01 a 0,29 em áreas de solo exposto e vegetação esparsa. Percebe-se que estes predominam em toda cena e estão representados nas cores vermelho, laranja e amarelo, demonstrando que ocorre perda de cobertura vegetal neste período devido à escassez das chuvas. As áreas que possuem alto vigor vegetativo representados por zonas de cor verde e azul na imagem, correspondem a uma pequena fração da cena em que há a prática de agricultura irrigada e estão localizadas próximas aos rios que banham a região. Na Figura 5(b), representando o NDWI para o mesmo período, nota-se que a área estudada apresenta um baixo valor de umidade, evidenciado por uma grande distribuição de valores negativos na cena, representada pelas áreas do mapa em vermelho. Apenas em áreas onde há o cultivo irrigado este índice apresentou valores altos variando entre 0,02 a 0,23, entretanto, a média foi de -0,16 e desvio padrão 0,12. Essas áreas irrigadas podem ser identificadas ao levar em consideração que

nesse período de estiagem a vegetação continua com vigor elevado e a presença de água foi detectada, fatores esses observados através dos índices NDVI e NDWI.

No mesmo período estudado acima, o NDVI em 2009 (Figura 5(c)) apresentou um aumento significativo, perceptível pelo aumento nas áreas de cor verde e azul no mapa. Os valores que se encontraram entre 0,3 e 0,5 representam vegetação menos densa, e os maiores que 0,5 indicam que a vegetação apresenta um bom estado fenológico. O NDWI apresentou um aumento significativo, sua média foi em torno de 0,15 e desvio padrão de -0,08. Conforme mostra a Figura 5(d), pode-se observar um expressivo aumento de áreas com valores entre 0,2 a 0,8, indicando um bom teor de umidade na vegetação. Esses aumentos na média do NDVI e do NDWI se devem ao fato de que, apesar de se tratar do período de estiagem, em 2009 houve maior volume de chuva do que em 2007. Segundo Choudhury (1992), as características da vegetação natural da caatinga contrastam com as das culturas irrigadas implantadas que apresentam alta atividade vegetativa (atividade fotossintética), com dominância de poucas espécies.

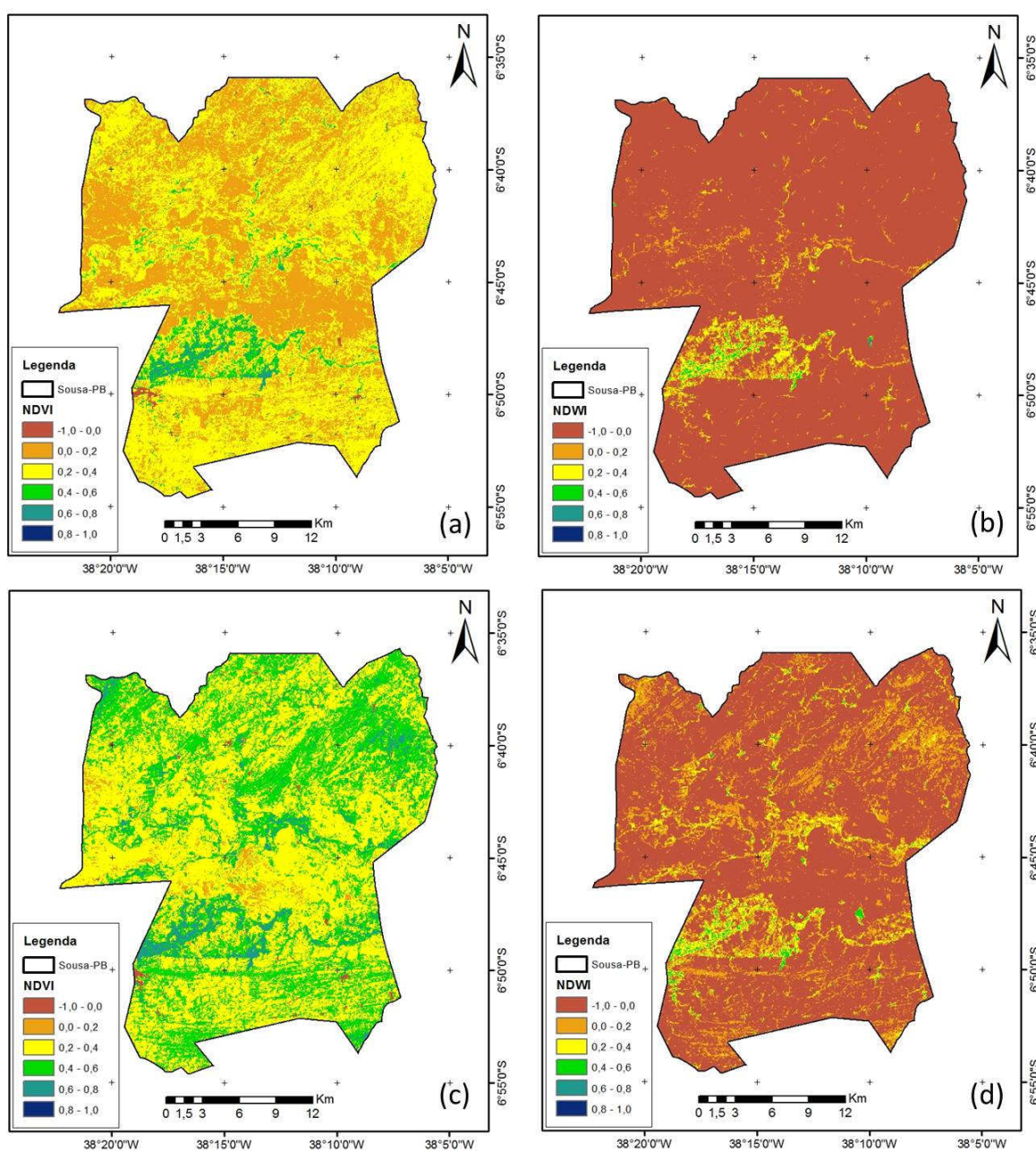


Figura 5: Distribuição espacial do NDVI e NDWI para os anos de 2007 e 2009 durante o período seco.

Os valores para o NDVI em 26 de julho de 2007 variaram entre -0,02 e 0,80, mínimo e máximo, respectivamente, a média foi de 0,34 e o desvio padrão 0,12. A Figura 6(a) mostra a distribuição deste índice sobre Sousa-PB, onde os maiores valores foram encontrados em áreas de vegetação densa (0,5 e 0,8), representados pelas tonalidades verde e azul. Valores intermediários foram obtidos em áreas de caatinga e no perímetro urbano do município, variando entre 0,2 e 0,4. A Figura 6(b) mostra que o comportamento do NDWI na data da cena não diferiu muito das imagens do período seco, o que pode ser atribuído ao baixo regime pluviométrico no ano de 2007. O valor médio foi de -0,08 e o desvio padrão 0,13. Para o mesmo período em 2009, os valores estatísticos do NDVI mínimo e máximo foram -0,04 e 0,60, a média foi 0,60 e o desvio padrão 0,02. Observa-se que há diminuição em valores mínimos e máximos para este período com relação a 2007, contudo existe uma maior distribuição espacial de áreas com elevado índice de vegetação, representados pela maior frequência da tonalidade verde escuro, como mostra a Figura 6(c), o que significa dizer que também houve uma maior distribuição espacial da chuva. O NDWI apresentou um índice muito baixo considerando-se o período chuvoso, a média foi 0,23 e o desvio padrão 0,02. Em zonas onde predominam a vegetação esparsa característica da região, a cobertura vegetal é baixa o que corrobora os valores negativos encontrados na cena (Figura 6(d)).

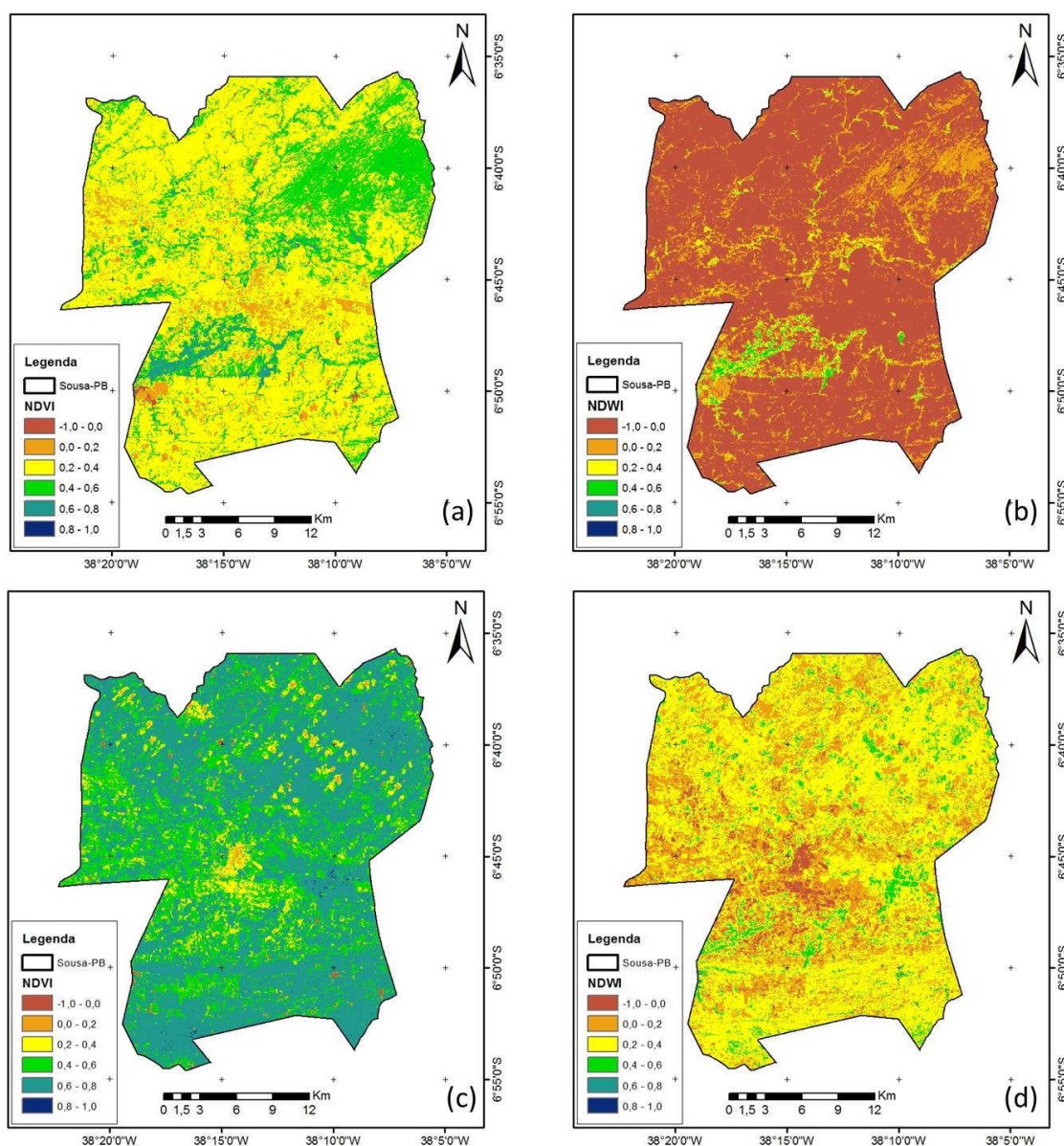


Figura 6: Distribuição espacial do NDVI e NDWI para as datas de (a) e (b) 26/07/2007, (c) e (d) 29/06/2009, durante parte do período chuvoso em dois anos com pluviometrias distintas.

A Tabela 1 quantifica, com o propósito de fornecer uma alternativa que permita a análise quantitativa, os valores médios de NDVI e NDWI apresentados para os períodos estudados, bem como a pluviometria total e relativa aos períodos (chuvoso ou seco) a que as imagens do município de Sousa-PB se referem. Como é possível observar, até mesmo no período seco, o ano de 2009 apresentou maior quantidade de chuvas que 2007. Da mesma forma para o período chuvoso, apresentando considerável superioridade. Os índices NDVI e NDWI acompanharam a comportamento das chuvas, ou seja, apresentaram maiores valores quando ocorreu maior quantidade de chuvas.

Tabela 1: Quantificação dos resultados. Média do NDVI e NDWI e precipitação acumulada nos períodos chuvoso e seco.

Data	Período Chuvoso		Período Seco	
	26/07/2007	29/06/2009	28/09/2007	01/09/2009
NDVI	0,34	0,60	0,23	0,40
NDWI	-0,08	0,23	-0,16	0,15
Precipitação Mensal* (mm)	846,80	1284,70	29,10	48,90
Precipitação Total** (mm)	901,40	1411,00	901,40	1411,00

*Precipitação acumulada durante o referido período (chuvoso ou seco).

**Precipitação acumulada durante todo o ano.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados através do NDVI e NDWI para a região do município de Sousa foram consistentes com os valores disponíveis na literatura científica. De maneira geral, os índices de vegetação utilizados mostraram-se eficientes para analisar a resposta espectral da cobertura vegetal da área estudada, possibilitando a espacialização dos valores e consequentemente a identificação das áreas com maiores e menores valores de NDVI e NDWI.

A observação do comportamento da vegetação, utilizando esses índices, de acordo com o regime pluviométrico apresenta informações relevantes sobre sensibilidade hídrica e/ou áreas com possível manejo irrigado para a prática da agricultura, necessária à subsistência na região, considerando que se trata de uma região semiárida.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation – Advanced training and user’s manual, v. 1.0, 2002. 97p.

ARAÚJO, T.L. **Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-Al utilizando imagens TM/LANDSAT 5** (2006).. Dissertação (Mestrado em Meteorologia)-Programa de Pós-Graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Alagoas, Maceió-Al. 86f

BASTIAANSEN, W.G.M.(1995). **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain**. Tese de Doutorado, Wageningen Agricultural University, Wageningen The Netherlands. 273p

Censo Populacional 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat> >. Acesso em: 12 nov. 2012.

CHOUHDURY, B.J. 1992. Multispectral satellite observations for arid land studies. **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.47, p.101-126.

FERREIRA, L.; TEOTIA, H.S.; FILHO, J.F. C.; SANTOS, J.R. Levantamento e classificação da vegetação nativa do município de Patos, através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto SBSR, Foz do Iguaçu, Brasil. **Anais**, 21-26 abril 2001. INPE, p.1609-1616.

GAO, B. C. NDWI - A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p.257- 266, 1996.

HOLANDA, A. S. S.; GUERRA, C., E. Monitoramento da vegetação da região do eixo-forte no município de Santarém-PA utilizando imagens dos índices de vegetação NDVI e NDWI. In: **Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife - PE, 27-30 de Julho de 2010 p. 001-005.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio. Sao Jose dos Campos, SP: Parentese, 2009.

OLIVEIRA, L. M. T.; FRANÇA, G. B.; NICÁCIO, R. M.; COSTA, T. C. e C.; ANTUNES, M. A. H (2007). Análise do comportamento das Regiões Fitoecológicas brasileiras através de série temporal de NDVI. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil. **Anais**, 21-26 abril, INPE, p.1765-1773.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. 2. Ed. Atualizada e ampliada - São Paulo: Oficina de textos, 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; D.W. Deering. Monitoring Vegetation systems in the Great Plains with ERTS, Proceedings. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Greenbelt: NASA SP-351,3010-3017. 1974.

SILVA NETO, M.F da. MACEDO, M. L. A. de. ANDRADE, A.R.S. de. FREITAS, J. C. PEREIRA, E. R. R. Análise do perfil agrícola do perímetro irrigado de São Gonçalo-PB. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.2, p. 155-172, 2012.