

Caracterização espaço-temporal do NDVI e do albedo da superfície na bacia hidrográfica do rio Ipanema

Valter Vitor dos Santos¹
Rosilene Mendonça Nicácio¹
Elba Pereira Gonzaga¹

¹ Universidade Federal de Alagoas – UFAL/IGDEMA
Av. Lourival Melo Mota, s/n, Tabuleiro dos Martins - 57072-970 - Maceió - AL, Brasil
retlav_tec@hotmail.com; rmonicacio@gmail.com; elbagonzaga@hotmail.com

Abstract. The understanding of the vegetation and surface albedo dynamics is essential for planning and environmental monitoring. Thus, investigations that evaluate the spatial distribution of normalized difference vegetation index (NDVI) and surface albedo contribute to understanding of the radiative and energy fluxes at the surface. These fluxes affect the hydrological cycle in a region and are associated with the use and occupation of soil. Under this framework, this study aims to evaluate the spatial and temporal variation of normalized difference vegetation index and surface albedo in the Ipanema river basin. Images of the sensor TM-Landsat 5 of the August/1990 and September/2008 were used. The NDVI and surface albedo were obtained after calculation of the spectral radiance and reflectance. The results show that the average NDVI was 0.297 and 0.402 for August/1991 and September/2008, respectively. The surface albedo averaged 0.197 and 0.135 for 08/1991 and 09/2008, respectively. These changes in the values of NDVI and surface albedo are directly related to the variations in total rainfall, which changed from 358,4 mm in August/1990 from 993,1 mm in September/2006. The evaluation of the Pearson correlation coefficient showed that there is a strong inverse linear relationship between normalized difference vegetation index and surface albedo.

Palavras-chave: NDVI, surface albedo, Ipanema river basin, remote sensing, NDVI, albedo da superfície, bacia do rio Ipanema, sensoriamento remoto.

1. Introdução

Nos últimos anos, o avanço da tecnologia, possibilitou o desenvolvimento de sensores remotos capazes de fazer o monitoramento do comportamento espectral da vegetação que ocupa uma determinada área. O comportamento espectral dos alvos da superfície, traçados a partir da refletância nas bandas do visível (VIS) e infravermelho próximo (IV), permite acessar informações sobre a vegetação de uma região, o que possibilita delimitação das áreas com cobertura vegetada em todo o globo (Braga *et al.* 2000).

Esses dados tornaram-se operacionalmente disponíveis no início da década de 1970, e abriram caminho para estudos de uso e cobertura vegetal sobre grandes áreas. Os dados de sensoriamento remoto tornaram-se cada vez mais necessários para projetos com foco no diagnóstico e monitoramento das mudanças ocorridas na superfície terrestre. Este aspecto aprimorou-se com a evolução dos sensores, considerando suas resoluções espaciais, temporais, radiométricas e espectrais, o que proporcionou aos cientistas uma ferramenta útil em estudos da cobertura da vegetação e sua relação com os processos de degradação dos solos (Simeonakys *et al.*, 2004).

As modificações na cobertura vegetal são, em geral, oriundas das atividades antrópicas, associadas ao aumento da demanda social pelos recursos naturais. As rápidas e intensas mudanças da cobertura do solo alteram a distribuição espacial de variáveis fundamentais para a manutenção do ciclo hidrológico, cita-se, como exemplo, o albedo da superfície (Nicácio *et al.*, 2009).

De acordo com Silva *et al.* (2009), o albedo é a razão entre a energia refletida e a quantidade de energia eletromagnética incidente. Este é um importante parâmetro utilizado nas ciências atmosféricas, na climatologia, no sensoriamento remoto, na astronomia, na hidrologia, dentre outras. É importante destacar que, o albedo da superfície é fundamental no entendimento dos processos de balanço de energia da superfície, os quais estão intimamente

relacionados com dinâmica do ciclo hidrológico. Para Arya (2001), variações do albedo podem causar significativa variação no balanço de energia à superfície e, com isso, favorecem variações no micro ou macro-clima. O albedo varia conforme as características físico-químicas das superfícies e com o ângulo zenital. Em superfícies vegetadas, o albedo depende da textura do solo e das condições fisiológicas da copa da planta. Já em um solo seco, o albedo é expressivamente maior que o observado em um solo úmido (Hartmann, 1994). A medida do albedo da superfície é facilmente obtida quando se dispõe de medições de radiação de ondas curtas incidentes e refletidas pela superfície, o que se torna oneroso para monitoramento de grandes regiões. Assim, o sensoriamento remoto se apresenta com uma forma alternativa para estimativa do albedo. Associado ao albedo da superfície, o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) viabiliza a constituição de uma importante estratégia para o monitoramento das alterações naturais, ou produzidas pelo homem, nos ecossistemas. Sendo combinadas, essas informações podem ser muito importantes na identificação de fenômenos ocorrentes em uma determinada área, notadamente, os relacionados com os processos de degradação.

O NDVI é um índice que permite a identificação da presença de vegetação na superfície e a caracterização de sua distribuição espacial. A integração de imagens multitemporais permite a identificação da alteração na cobertura vegetal ao longo de décadas.

O processo de desenvolvimento de uma região tem como ponto inicial o conhecimento de seus recursos naturais. Na região do semiárido, tal conhecimento é ainda mais fundamental, pela fragilidade dos solos, dos diferentes gradientes de aridez e de condições microclimáticas, dentre outros fatores (Teotia *et. al.* 2003). Em regiões sob processos de desertificação, tem-se o solo como principal componente da resposta espectral nos sistemas sensores (Carvalho e Almeida-Filho, 2007). A quantificação, avaliação de risco e monitoramento da desertificação podem ser dados a partir de parâmetros biofísicos (índices de vegetação) e físicos (albedo, temperatura, emissividade, dentre outros) obtidos em imagens orbitais. A avaliação de dados históricos da precipitação e da evapotranspiração podem também auxiliar nesta identificação bem como em sua quantificação (Lopes *et. al.* 2005).

A bacia do rio Ipanema, afluente do rio São Francisco, está situada no semiárido nordestino, uma região, muitas vezes, dependente de rios intermitentes. Além disso, esta é uma área ainda pouco estudada, dessa maneira, carente de diagnósticos e monitoramento precisos que viabilizem uma gestão ambiental mais eficiente. Neste contexto, esta pesquisa tem como objetivo avaliar o índice de vegetação da diferença normalizada e o albedo da superfície na bacia do rio Ipanema, em períodos de diferentes intensidades pluviométricas.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A bacia do rio Ipanema está localizada no semiárido nordestino, entre os Estados de Pernambuco e Alagoas, e é compreendida entre as latitudes 9°53'16" e 8°18'38" sul, e entre as longitudes 37°27'42" e 36°37'41" oeste. Sua área abrange total ou parcialmente os municípios de Pesqueira, onde está localizada sua nascente, Alagoinha, Venturosa, Pedra, Tupanatinga, Buíque, Águas Belas, Itaíba, Caetés, Ibirim, Manari Paranatama, Saloá, Iati, Arco Verde e Bom conselho, no Estado de Pernambuco; e Ouro branco, Maravilha, Dois Riachos, Santana do Ipanema, Poço das Trincheiras, Carneiros, Olho d'água das flores, Olivença, Major Isidoro, Batalha, Belo monte, no Estado de Alagoas. O rio Ipanema é um afluente temporário da margem esquerda do rio São Francisco, com bacia hidrográfica ocupando uma área de 6.209,67km². Seus principais afluentes são: pela margem direita: riacho do Mororó, riacho Mulungú, riacho do Pinto, riacho Mandacaru e rio Topera; e, pela margem esquerda: rio dos Bois, riacho da Luíza, rio Cordeiro e rio Dois Riachos, sendo o rio

Cordeiro o principal tributário do rio Ipanema. A Figura 1 mostra a localização da bacia do rio Ipanema.

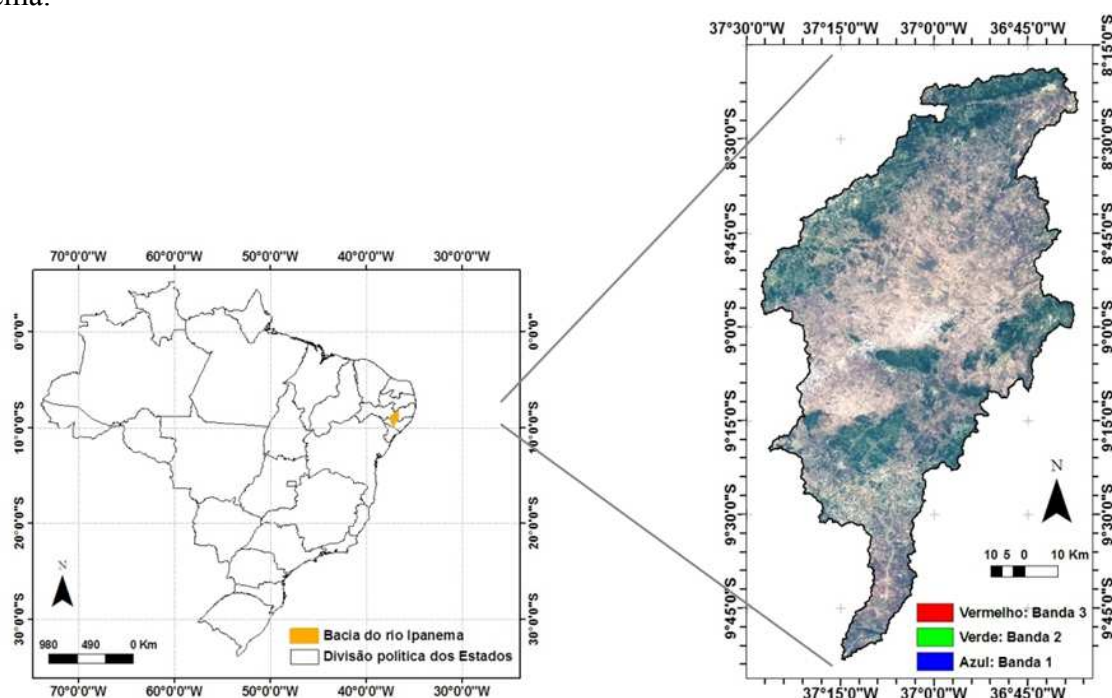


Figura 1. Localização da bacia do rio Ipanema.

2.2. Dados utilizados

Para a execução deste trabalho foram utilizadas imagens do satélite TM (*Thematic Mapper*) a bordo do LANDSAT-5, obtidas junto ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). As imagens obtidas correspondem a órbita/ponto 215/66 e 215/67, dos dias 08 de agosto de 1991 e 23 de setembro de 2008.

Também foram utilizados os mosaicos ortoretificados *GeoCover* 1990 e 2000, que são derivados a partir de imagens do Landsat 5 e 7, respectivamente. Esses mosaicos foram obtidos no endereço eletrônico <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid> e utilizados no processo de correção geométrica das imagens do sensor TM sobre a bacia do rio Ipanema.

Além destas imagens, também foram utilizados dados diários de precipitação pluviométrica da estação Santana do Ipanema, situada no interior da bacia do rio Ipanema, com coordenadas: $9^{\circ}22'22''\text{S}$ e $37^{\circ}14'43''\text{W}$. Estes dados foram obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA), através do endereço eletrônico www.ana.gov/hidroweb.

2.3. Metodologia

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi feita a correção geométrica das quatro imagens do sensor TM. Utilizou-se a técnica imagem-imagem, a partir dos mosaicos *GeoCover* 1990 e 2000. O erro médio quadrático obtido neste processo foi de $\approx 0,4$ e $\approx 0,3$, para as imagens de 08 de agosto de 1991 e $\approx 0,3$ e $\approx 0,3$, para as de 23 de setembro de 2008. Após a correção geométrica das imagens, o recobrimento da área total da bacia foi obtido através da confecção do mosaico das imagens de pontos 66 e 67 do sensor TM. Finalmente, as imagens foram enquadradas no retângulo envolvente com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo: $8^{\circ}9'53''\text{S}$ e $37^{\circ}30'22''\text{W}$; canto inferior direito: $9^{\circ}55'37''\text{S}$ e $36^{\circ}34'45''\text{W}$. Esse enquadramento foi feito com a finalidade de ressaltar a área de interesse.

A obtenção do NDVI e do albedo foi precedida pela calibração radiométrica das imagens, onde os números digitais (ND_{λ}) das imagens foram convertidos em valores de radiância espectral (L_{λ}). Para isso foram utilizados os coeficientes de calibração máximo

(L_{max}) e mínimo (L_{min}) do sensor TM, conforme dado por Chander *et al.* (2009). O cálculo da radiância espectral foi realizado conforme a Equação 1.

$$L_{\lambda(x,y)} = L_{min} + \frac{L_{max}-L_{min}}{255} ND_{\lambda(x,y)} \quad (1)$$

Em seguida, a radiância espectral (L_{λ}) foi convertida, através da Equação 2, em reflectância espectral (ρ_{λ}), em função da radiação solar exo-atmosférica ($ESUN_{\lambda}$) correspondente a cada banda do sensor TM, do ângulo zenital do sol ($\cos\theta$), e da distância Terra-Sol (dr).

$$\rho_{\lambda(x,y)} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda(x,y)}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos\theta \cdot dr} \quad (2)$$

O NDVI foi calculado a partir da reflectância espectral, considerando a divisão da diferença pela soma das bandas do infravermelho próximo (banda 4 – sensor TM) e do vermelho (banda 3 – sensor TM) das imagens Landsat-5. O NDVI foi calculado através da Equação 3.

$$NDVI_{(x,y)} = \frac{\rho_{4(x,y)} - \rho_{3(x,y)}}{\rho_{4(x,y)} + \rho_{3(x,y)}} \quad (3)$$

O cálculo do albedo da superfície (α_{sup}) para o sensor TM foi precedido da obtenção do albedo no topo da atmosfera (α_{Toa}), Equação 5, e calculado em função da radiação solar retroespalhada pela atmosfera na direção do sensor (α_{path_rad}) e da transmitância atmosférica (τ), Equação 6. O albedo da superfície é dado conforme a Equação 4.

$$\alpha_{sup(x,y)} = \frac{\alpha_{Toa(x,y)} - \alpha_{path_rad}}{\tau^2} \quad (4)$$

$$\alpha_{Toa(x,y)} = \sum_{\lambda=1}^n \omega_{\lambda} \cdot \rho_{\lambda(x,y)} \quad (5)$$

O albedo no topo da atmosfera foi calculado através do coeficiente de peso para cada banda (ω_{λ}), que é determinado pela razão da irradiância no topo da atmosfera em cada banda e a soma dessa irradiância em todas as bandas, onde n representa o número de bandas.

$$\tau = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Z_{Est} \quad (6)$$

No cálculo da transmitância atmosférica, Z_{Est} é a altitude da estação meteorológica utilizada.

3. Resultados e Discussão

A Figura 2 mostra a precipitação pluviométrica mensal nos anos de 1991 e 2008 para a estação Santana do Ipanema.

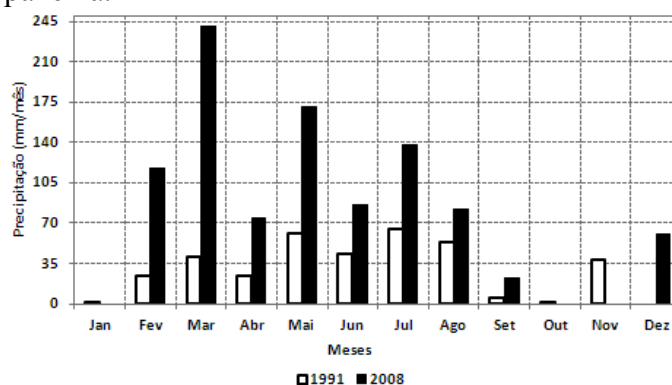


Figura 2. Variação da precipitação na bacia do rio Ipanema.

Observa-se que a intensidade pluviométrica no ano de 1991 apresentou valores mensais sistematicamente inferiores aos observados em 2008, exceto para o mês de novembro. A chuva anual total foi de 358,4mm e 993,1mm, para 1991 e 2008, respectivamente. Os meses mais secos ocorreram entre setembro e janeiro, sendo os índices pluviométricos mínimos observados em janeiro e outubro, com valores médios aproximados de 1mm em 2008 e ausência de chuva em 1991. Já os maiores totais pluviométricos aconteceram entre fevereiro e

julho, com os valores máximos de, aproximadamente, 64,5mm ($\approx 18\%$ do total anual) em julho, para o ano de 1991, e de aproximadamente 241mm ($\approx 24\%$ do total anual) para o ano de 2008. Os meses das imagens TM utilizadas apresentaram total pluviométrico de 53,2mm ($\approx 14,8\%$ do total anual) e 22,2mm ($\approx 2,2\%$ do total anual) para agosto de 1991 e setembro de 2008.

As Figuras 3a e 3b mostram a variação espacial do NDVI para a bacia do rio Ipanema nos dias 08/08/1991 e 23/09/2008, respectivamente. Em agosto de 1991, os maiores valores de NDVI encontrados estão associados a cobertura de vegetação mais densa. Podem ser observados valores negativos de NDVI sobre a água, nas duas datas avaliadas, em concordância com o encontrado na literatura. A escala de cor varia do azul ao vermelho, onde o azul mostra os valores mais baixos de NDVI, indicando menor verdor ou ausência de vegetação, enquanto o vermelho representa os mais altos valores, indicando vegetação mais densa. Nota-se que, no dia 08/08/1991, os valores de NDVI predominantes encontram-se na faixa de 0,10 a 0,25, representado pela cor verde escuro. Esta faixa de valores de NDVI apresentou uma ocupação da área de $\approx 40\%$. Também podem ser observadas regiões com cor laranja, com NDVI entre 0,45 e 0,55. A média e desvio padrão do NDVI em agosto de 1991 foram 0,297 e 0,138, respectivamente.

Na Figura 3b, percebe-se uma substituição do verde mais escuro (0,10 a 0,25) pelo verde mais claro (0,25 a 0,35) e pelos tons laranja, que representam $\text{NDVI} > 0,45$. Este aspecto também pode ser observado através da avaliação dos histogramas apresentados na Figura 4, que mostra um nítido deslocamento para valores mais elevados de NDVI em setembro de 2008. Destaque-se que, em agosto de 1991 o total pluviométrico foi de 53,2mm, enquanto em setembro de 2008 foi de 22,2mm, sendo que o total de chuva antecedente aos meses das imagens de agosto e setembro, foram de 260mm e 910mm, respectivamente, o que mostra uma resposta retardada da vegetação a chuva. A média do NDVI em setembro de 2008 foi cerca de 26% mais elevada que a observada em agosto de 1991.

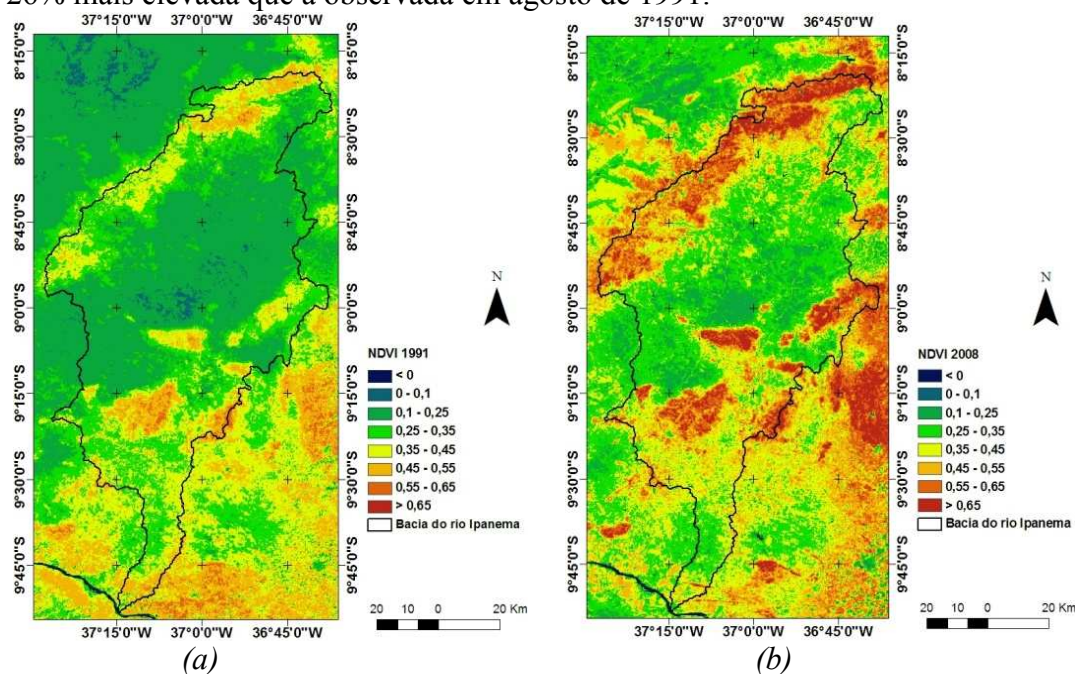


Figura 3. Distribuição espacial do NDVI em (a) 08/08/1991 e (b) 23/09/2008 na bacia do rio Ipanema.

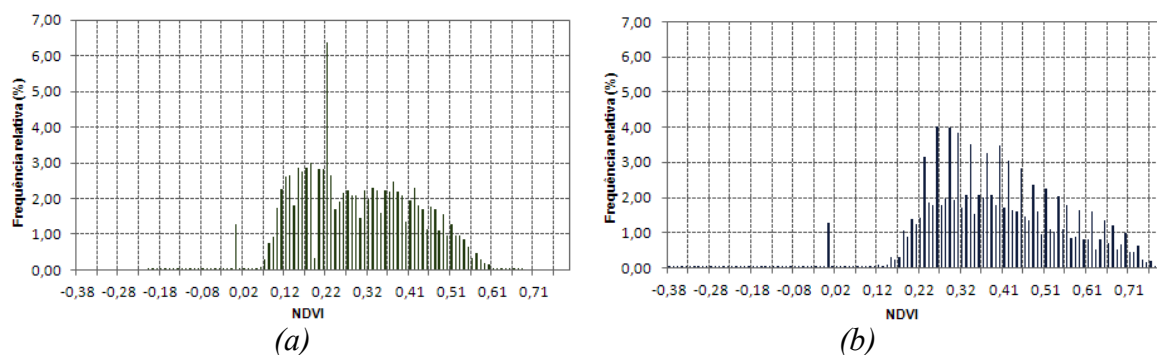


Figura 4. Histograma de frequência relativa do NDVI para (a) 08/08/1991 e (b) 23/09/2008.

Em suma, pode-se dizer que há uma sintonia no comportamento do índice de vegetação da diferença normalizada e dos dados pluviométricos, estando a data de maiores valores de NDVI dentro do ano de maior quantidade de chuva, enquanto a data de menores valores do índice encontra-se no ano de menor quantidade de chuva, 1991, mostrando que o NDVI é sensível a variação da intensidade pluviométrica.

A Figura 5 mostra o albedo da superfície na bacia do rio Ipanema, respectivamente, dos dias 08/08/1991 e 23/09/2008. Os maiores valores de albedo encontrados estão ligados a superfícies com maior poder de reflexão, como solos com pouca vegetação ou expostos, como observado na literatura. A escala de cor varia do azul ao amarelo, sendo que o azul mostra os menores valores de albedo da superfície, enquanto o amarelo representa os valores mais altos. No dia 08/08/1991, os valores mais frequentes encontram-se na faixa de 0,17 a 0,20, representada pela cor verde. Esta faixa apresentou uma ocupação da área de $\approx 50\%$. Também podem ser observadas, poucas, mas, presentes regiões na cor amarela, com valores de albedo de superfície igual ou acima de 0,34. A média e desvio padrão do albedo de superfície em agosto de 1991 foi 0,197 e 0,044, respectivamente.

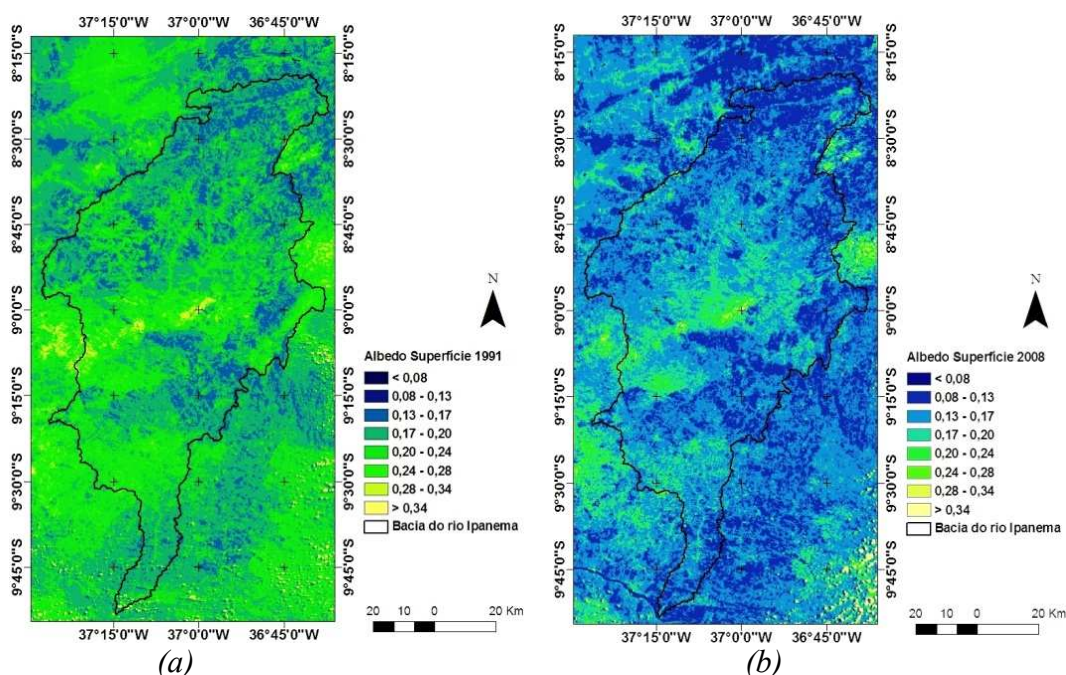


Figura 5. Distribuição espacial do albedo da superfície em (a) 08/08/1991 e em (b) 23/09/2008 na bacia do rio Ipanema.

Na Figura 5b, percebe-se uma substituição dos tons verdes (0,20 a 0,28) por tons de azul, que representam albedo da superfície entre 0,08 e 0,17. Este aspecto também pode ser observado através da avaliação dos histogramas apresentados na Figura 6, que mostra um nítido deslocamento para valores mais baixos de albedo de superfície em setembro de 2008. A média do albedo da superfície em setembro de 2008 foi aproximadamente 12% mais baixa que a observada em agosto de 1991.

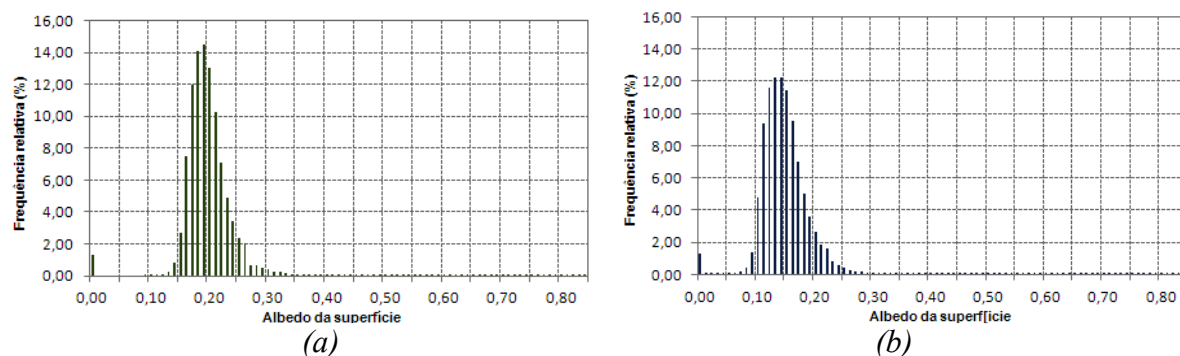


Figura 6. Histograma de frequência relativa do albedo da superfície para (a) 08/08/1991 e (b) 23/09/2008.

Para melhor avaliar a relação entre o albedo e o NDVI sobre a bacia do rio Ipanema, foram calculadas as correlações de Pearson para o dia de 08/08/1991 (Figura 7a) e 23/09/2008 (Figura 7b). Para o cálculo deste coeficiente de correlação considerou-se uma amostra contendo 484 elementos. Como já era esperado, observa-se uma relação linear inversamente proporcional para as amostras de NDVI e albedo da superfície, apontando para um decréscimo de albedo da superfície com um aumento do NDVI, impulsionado pelo aumento na intensidade pluviométrica. Os valores de correlação foram $-0,705$ e $-0,766$, para 08 de agosto de 1991 e 23 de setembro de 2008, respectivamente, significativos a 95% de confiança.

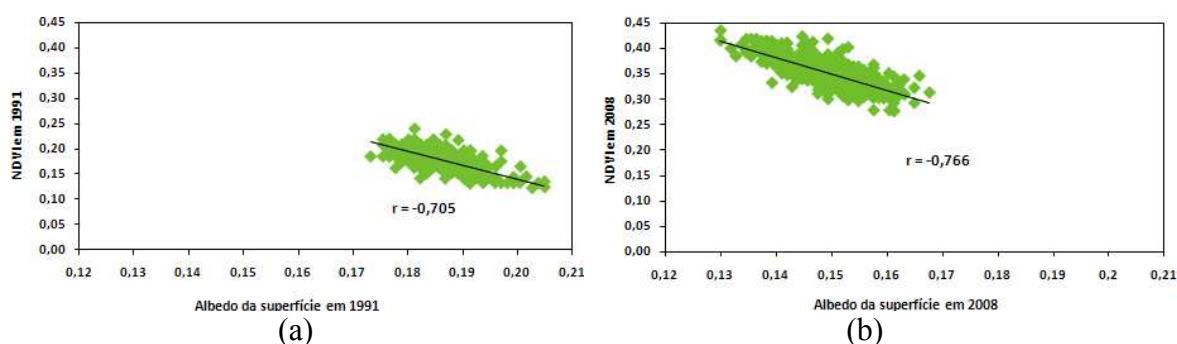


Figura 7. Correlação de Pearson entre o índice de vegetação da diferença normalizada e o albedo da superfície em (a) 08/08/1991 e (b) 23/09/2008, na bacia do rio Ipanema.

4. Conclusões

A área de estudo, bacia do rio Ipanema, situada entre os Estados de Pernambuco e Alagoas, mostrou expressiva variação nos valores de NDVI entre as duas imagens consideradas. Destaque-se que, em 2008 ocorreu um aumento do NDVI, que está associado ao aumento da intensidade pluviométrica. A avaliação pluviométrica da estação Santana do Ipanema mostrou que as chuvas que antecederam o mês de setembro em 2008 foram bem maiores que as antecedentes ao mês de agosto de 1991. O desvio percentual entre as médias do NDVI foi de aproximadamente 26%. É ainda importante mencionar que a vegetação predominante na área de estudo é a savana estépica, que, durante os meses com totais pluviométricos baixos, perde suas folhas com a finalidade de reduzir a perda de água, fazendo

com que haja uma interação mais expressiva da radiação eletromagnética como o solo. Além disso, a savana estépica responde rapidamente a ocorrência pluviométrica.

O albedo da superfície teve uma forte variação em seus valores, sendo essa variação inversa a do NDVI, entre as duas imagens consideradas. Em 2008 ocorreu um decréscimo do albedo da superfície, que está associado ao aumento do verdor da vegetação e ao aumento da intensidade pluviométrica.

A obtenção do coeficiente de correlação de Pearson evidenciou a relação linear inversamente proporcional entre as duas variáveis, a saber: NDVI e índice da vegetação da diferença normalizada, com correlação variando de valor médio de -0,705 e -0,766, significativos a 95% de confiança.

5. Referências Bibliográficas

Arya, S. P. **Introduction to micrometeorology**. 2 ed., San Diego, California, USA, Academic Press, 2001. 420p.

Braga, C. C.; Sansigolo, C. A.; Rao, T. V. R. **Padrões de variabilidade espaciais e temporais de NDVI na região nordeste do Brasil utilizando análise fatorial**. Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 2000 Edição XI. Rio de Janeiro, RJ, 2000.

Carvalho, C. M.; Almeida-Filho, R. **Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do estado do Piauí**. Anais XIII SBSR, Florianópolis, Brasil, 21 - 26 abril, 2007, INPE, p. 4365-4372.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment** 113. p. 893–903, 2009.

Hartmann, D. L. **Global physical climatology**. 1 ed. San Diego, California, Academic Press. 1994. 411p.

Lopes, H. L.; Candeias, A. L. B.; Accioly, L. J. O.; Tavares, J. R. J. **Utilização dos parâmetros físicos albedo e temperatura na identificação de áreas degradadas na Bacia do Rio Brígida –PE**. Anais XII SBSR, Goiânia, Brasil, 16 - 21 abril, 2005, INPE, p. 3119-3127.

Nicácio, R. M.; Araujo, L. L.; Gonzaga, E. P.; Libos, M.; Oliveira, L. M. T. Relação NDVI e precipitação na bacia do rio Coxim - MS. In: 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2009, Corumbá, **Anais Embrapa Informática Agropecuária/INPE**. 2009, Artigos, p.537-547.

Silva, L.; Costa, J. F. F.; Lima, E. R. V.; Almeida, H. A. **Análise do albedo e do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) em uma bacia hidrográfica, usando o SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land**. XIII SBGFA, 054, UFV - Viçosa, MG, 2009.

Symeonakis, E.; Koukoulas, S.; Calvo, C. A.; Arnau, R. E.; Makris I. **A Landuse Change and Land Degradation Study in Spain and Greece using Remote Sensing and Gis**. XX International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Congress. V. 35. Istanbul - Turkey. July, 2004. P. 553.

Teotia, H. S.; Silva, I. F.; Santos, J. R.; Veloso, J. F. J.; Gonçalves, J. L. G. **Classificação da cobertura vegetal e capacidade de uso da terra na região do Cariri Velho (Paraíba), através de sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril, 2003, INPE, p. 1969 - 1976.