

Utilização da detecção remota para estimar a distribuição espacial da evapotranspiração de região semiárida e série temporal MODIS.

John Elton de Brito Leite Cunha
Bárbara Barbosa Tsuyuguchi
Iana Alexandra Alves Rufino

Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/CTRN
Caixa Postal 505 –58429-900– Campina Grande - PB, Brasil
john@hidro.ufcg.edu.br, barbara.tsuyu@gmail.com, iana_alex@uol.com.br

Abstract. The remote sensing techniques have generated satisfactory results in the context of natural resources and water resources management. Among the parcels that comprise the hydrologic cycle, evapotranspiration (ET) is one of that presents the greatest uncertainty. The semiarid region characterized by present vegetation more susceptible to climate change, reacting quickly to the precipitation. In this study, it is applied the SEBAL algorithm, to LANDSAT 5/TM images in order to study the influence of rainfall in semiarid vegetation, and consequent changes in evapotranspiration. To complete the analysis, it is used time series MODIS, NDVI and surface temperature and it is studied the correlation between these components and the precipitation, rainfall data were then collected daily and by the method of interpolation of the inverse distance weighted (IDW), the precipitation was spatialized and the results show a high variation of NDVI and surface temperature for the same area: the NDVI ranged from 0.35 to 0.845 and the surface temperature ranged from 24 °C to 47 °C, for the year observed, accompanied of the variation in rainfall. By the evapotranspiration maps observed, was found variations from 3.5 to 7.5 mm and 0.5 mm and 7.5 mm, for the end of seasons analyzed.

Palavras chaves: remote sensing, evapotranspiration, semiarid, sensoriamento remoto, evapotranspiração, semiárido.

1. Introdução

As técnicas de sensoriamento remoto têm gerado resultados satisfatórios no âmbito dos recursos naturais e gerenciamento dos recursos hídricos (Bastiaansen *et al.*, 1998). A quantificação das perdas de água para a atmosfera de superfícies cultivadas é muito valiosa no planejamento de atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica (Silva e Bezerra, 2006). Dentre as parcelas que compõem o ciclo hidrológico, a evapotranspiração (ET) é uma das que apresenta maior incerteza (Giacomoni e Mendes, 2008). Diferentes métodos têm sido utilizados na determinação deste parâmetro, tão importante em estudos hidrológicos, como balanço de energia baseado na razão de Bowen, lisímetros, método aerodinâmico, balanço hídrico no solo e correlações turbulentas. Apesar de representarem de forma satisfatória os processos evapotranspirativos, o uso destes métodos em escala regional fica praticamente impossível de ser efetivado. Uma alternativa é o uso de técnicas de sensoriamento remoto baseadas em imagens de satélites.

Atualmente existem diversos sensores remotos com resoluções espaciais, temporais e espectrais diferentes, que vem sendo utilizados para estimativa de componentes agrometeorológicos (Allen *et al.*, 2007 ; Courault *et al.*, 2009 ; Giacomoni e Mendes, 2008; Mecikalski *et al.*, 1999).

O *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) (Bastiaansen, 1998), é um dos diversos algoritmos utilizados para extrair informações de sensores orbitais. Através deste algoritmo, é possível estimar evapotranspiração real (*ET_r*). O SEBAL é um algoritmo de base física e para sua utilização são necessárias imagens com informações de reflectância no visível, infravermelho próximo, bandas do infravermelho médio, emissividade, assim como da faixa do infravermelho termal. Devido a influência das variações topográficas sobre os componentes do balanço de energia, faz-se preciso também um modelo de elevação digital

(DEM) com a mesma resolução espacial das imagens de satélite (Hong *et al.*, 2009). Para o algoritmo, são ainda utilizados dados de estação meteorológica presentes na área de estudo.

Sensores que apresentam resolução média, como é o caso do sensor TM, a bordo do satélite LANDSAT 5, permite boa compressão dos processos de ocupação e uso do solo, podendo subsidiar análises ambientais. Entretanto, seu uso normalmente fica limitado a poucas imagens para dado intervalo de tempo, principalmente em regiões onde a cobertura de nuvens impossibilita o uso de diversas imagens, como é o caso da região semiárida no Nordeste do Brasil. Os produtos obtidos por sensores que apresentam uma maior resolução temporal, como é o caso do MODIS, a bordo dos satélites TERRA e AQUA, pode viabilizar o aprofundamento de estudos que necessitem de uma maior quantidade de dados para sua melhor compreensão e análise.

1.1 Área de estudo

A Bacia de São João do Rio do Peixe está localizada na porção noroeste do estado da Paraíba (Figura 1). É uma bacia interior, totalmente inserida na região semiárida do Nordeste do Brasil, com área de aproximadamente 3.420 km², abrangendo 17 municípios. A Figura 1 mostra a elevação do terreno da bacia. Esta área caracteriza-se por apresentar vegetação mais susceptível às mudanças climáticas, respondendo rapidamente à presença ou falta de chuvas. O clima da região de estudo segundo a classificação de Köppen, é do tipo *Aw'*- *Tropical quente e úmido com chuvas de verão-outono* (janeiro e abril), apresentando duas estações (seca e chuvosa). A pluviometria média anual varia em torno de 800 mm (Varejão-Silva *et al.*, 1984).

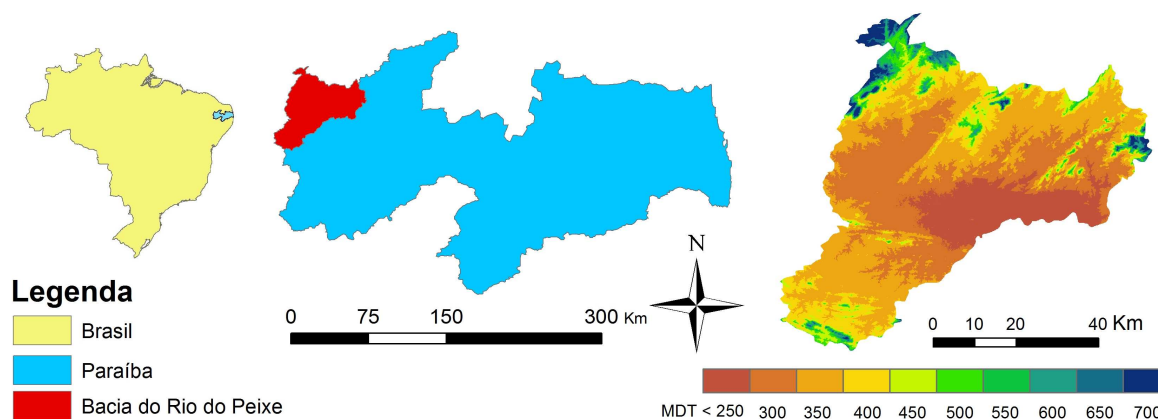


Figura 1. Localização da área de estudo e elevação do terreno

2. Metodologia de Trabalho

Com o intuito de estudar a influência do regime pluviométrico na vegetação semiárida, Cunha *et al.* (2010) utilizou duas datas de passagem do satélite LANDSAT 5 sensor TM, referentes ao final do período chuvoso e período seco, capturadas nos dias 29 de agosto de 2008 e 01 de novembro de 2008 e a essas imagens foi aplicado o algoritmo SEBAL. A escolha desse sensor se deve ao fato de que a resolução espacial da *ETr* derivada de imagens LANDSAT permite identificar o seu comportamento para diferentes usos da terra.

A fim de complementar a análise feita a partir das imagens LANDSAT, utilizamos os produtos do sensor MODIS para estudar vegetação e temperatura de superfície, de modo a fazer uma análise temporal das respostas a esses componentes agrometeorológicos ao longo de todo ano de 2008, assim como visualizar em que intensidade se relacionam com a precipitação e entre si.

As imagens do satélite TM Landsat 5 foram adquiridas junto à Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), o critério adotado para a

escolha das imagens foi da menor cobertura de nuvens possível. Os produtos MODIS foram adquiridos junto *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, 2010). Os produtos escolhidos foram MOD11 A2 e MOD13 Q1, para todo o ano de 2008. Do produto MOD 11 A2, que se caracteriza por ser um mosaico de oito dias dos pixels sem presença de nuvens, foi extraído o produto de temperatura da superfície dia (LST Day 1 km) de 1000 metros de resolução espacial, e do produto MOD 13 Q1, que se caracteriza por ser um mosaico de 16 dias dos pixels sem presença de nuvens, foi extraído o produto de NDVI com 250 metros de resolução espacial. Estes dados, originalmente na projeção *integerized sinusoidal* e no formato *Hierarchical Data Format* (HDF), foram convertidos para a projeção geográfica e formato GeoTiff através do software HEGTools (NASA, 2010)

Para estudar a correlação existente entre estes componentes e a precipitação, foram então coletados dados pluviométricos diários registrados em 16 postos situados no interior da área de estudo. O somatório destes dados para cada oito dias consecutivos foi usado como arquivo de entrada, e utilizando o módulo de análise espacial (*Spatial Analyst*) do Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 9.2[®], através do método de interpolação do *Inverso do Quadrado da Distância* (IQD), foi especializada a chuva na bacia.

Para retratar áreas de diferentes usos de solo e localização dentro da bacia, foram escolhidas áreas de 25 Km², onde para cada classe de uso específico foi extraída uma média dos valores de NDVI e temperatura de superfície, assim como o valor da precipitação média de cada área selecionada. Com estes valores, foram construídos gráficos expostos na seção seguinte deste trabalho, na intenção de apresentar numericamente a forte relação observada entre precipitação, NDVI e temperatura ao longo de todo ano de 2008, e como poderia influenciar as taxas evapotranspirativas.

2.1 O algoritmo SEBAL

Para este algoritmo são necessários alguns procedimentos computacionais de processamento digital de imagens, pois todas as operações são realizadas “pixel a pixel” nas diferentes bandas espectrais das imagens de satélite selecionadas. O fluxograma da Figura 2A mostra as etapas metodológicas para utilização do algoritmo SEBAL para obtenção do saldo de radiação. As etapas de obtenção do saldo de radiação estão descritas em Allen *et al.* (2007), Silva *et al.* (2005) e Di Pace *et al.* (2008). A equação clássica do balanço de energia à superfície, segundo Bastiaansen (2000) é dada por:

$$R_n = \lambda LE + H + G \quad (1)$$

Em que, R_n é o saldo de radiação, λLE a densidade do fluxo de calor latente, H a densidade de fluxo de calor sensível e G a densidade de fluxo de calor no solo, todos em (W/m^2). O fluxo de calor do solo (G) depende das condições de cobertura do solo. No SEBAL, o cálculo do mesmo é determinado em função do NDVI, temperatura da superfície, albedo e R_n .

A transferência de energia para camadas atmosféricas (H) foi estimada com base na velocidade do vento e temperatura da superfície usando uma calibração interna da diferença da temperatura próxima à superfície entre dois níveis da superfície segundo Bastiaansen *et al.* (1998):

$$H = \rho c_p \frac{(a + bT_s)}{r_{ah}} \quad (2)$$

[®] Spatial Analyst e ArcGIS 9.2 são marcas registradas pela ESRI (Environmental Systems Research Institute)

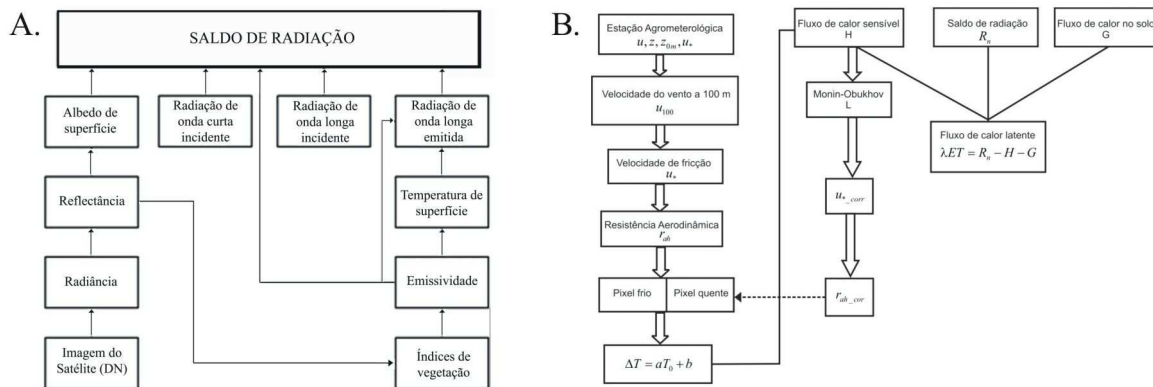


Figura 2 – Fluxograma das etapas do algoritmo SEBAL, em (A) saldo de radiação e em (B) balanço de energia.

Onde: ρ é a densidade do ar ($1,15 \text{ kgm}^{-3}$), c_p é o calor específico do ar ($1004 \text{ Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$), e a e b são constantes de calibração da diferença de temperatura, T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$) e r_{ah} é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor (sm^{-1}). É possível encontrar de forma detalhada os procedimentos metodológicos nos trabalhos de Bastiaanssen *et al.* (1998) e Bastiaanssen (2000).

O equacionamento para a determinação do balanço de energia obtido a partir do algoritmo SEBAL é apresentado na Figura 2B. Este é iniciado com dados de uma estação meteorológica no interior da cena estudada, quais sejam: a velocidade do vento (ms^{-1}) no nível de 2m e a altura média da vegetação (m) circundante no local da medição da velocidade do vento. Estes dados foram obtidos por meio de uma estação climatológica localizada na área de pesquisa, a estação utilizada foi a de São Gonçalo. Estes dados foram coletados para o dia da passagem do satélite pelo local e o horário das cenas.

O fluxo de calor latente λLE (W/m^2) corresponde ao fluxo de massa (água sob a forma de vapor) que deixa a superfície, através dos processos evaporação somados ao de transpiração vegetal, sua determinação é obtida como resíduo da equação do Balanço de Energia (Equação 1), onde os fluxos correspondem ao instante da passagem do satélite.

Para a determinação da evapotranspiração diária, obtém-se, inicialmente, a evapotranspiração horária (ET_H), dada pela razão entre o fluxo de calor latente, λLE , obtido pela operação anterior, e o calor latente de vaporização da água ($L = 2,45 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$), multiplicada por 3600, que é um fator de conversão do valor instantâneo para valor horário, conforme equação Allen *et al.* (2002), Trezza (2002). Em seguida, pela razão entre a ET_H e evapotranspiração de referência horária ($ET_{0,h}$), se obtém a fração da evapotranspiração de referência horária ($FET_{0,hora}$), que de acordo com Trezza (2002) é relativamente constante em todo o período dia (24 horas). A evapotranspiração real é determinada pela multiplicação da $FET_{0,hora}$ pela a evapotranspiração de referência diária ($ET_{0,24h}$).

Tanto a evapotranspiração de referência diária ($ET_{0,24h}$), quanto a evapotranspiração de referência horária – $ET_{0,hora}$, são calculadas usando o método da FAO Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998), com dados de estação automática. Os valores de $ET_{0,h}$ devem ser obtidos no intervalo de tempo que compreenda o instante da passagem do satélite na área de estudo.

3. Resultados e discussão

O índice NDVI foi utilizado para demonstrar o comportamento das mudanças temporal e espacial da vegetação da bacia de estudo. O NDVI é um índice que reflete a intensidade do estresse hídrico. Este índice pode variar de -1 a 1, sendo que os valores menores que 0 ocorrem em regiões com presença de água. Valores entre 0 e 0,2 ocorrem em regiões de solo com grande exposição, e maiores que 0,2 até 1 em regiões vegetadas.

A Figura 3 apresenta os mapas de NDVI obtidos a partir das imagens LANDSAT 5 para os dias 29 de agosto de 2008 e 01 de novembro de 2008. Analisando os resultados, pode-se observar que as respostas obtidas pelo índice de vegetação estão bastante diferentes para as duas datas, havendo uma diminuição no NDVI. Na imagem de 29 de agosto de 2008 a maior parte da bacia do rio do peixe apresenta NDVI maior que 0,2, indicando presença de vegetação fotossinteticamente ativa, sendo que a região central é a que apresenta os valores mais baixos ($0,2 < \text{NDVI} < 0,4$), enquanto os valores mais altos ($\text{NDVI} > 0,4$) encontram-se nas regiões ao sul e ao norte, principalmente nas áreas mais elevadas (Figura 1). Por outro lado, na imagem de 01 de novembro de 2008, os valores obtidos para o índice de vegetação NDVI estão no intervalo de 0 a 0,2, em quase toda região central da bacia, exceto nas margens dos rios e regiões mais elevadas ao norte e ao sul.

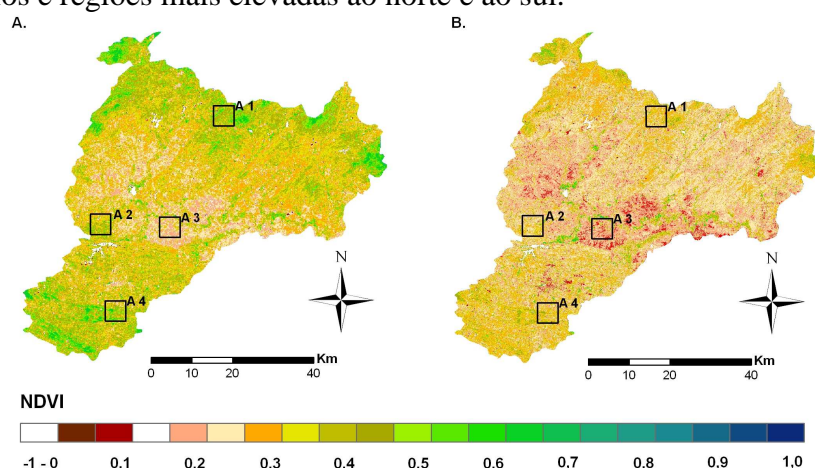


Figura 3 – Mapa de NDVI (A) em 29 de agosto de 2008 e (B) em 01 de novembro de 2008.

Analisando os gráficos da Figura 4, percebemos que as variações do NDVI acompanham as variações pluviométricas, e de forma geral, isto acontece em toda bacia, o que pode ser percebido nas diferentes amostras estudadas. As amostras 1 e 4, apresentam um comportamento similar, elas representam a parte mais declivosa da bacia, situadas respectivamente ao norte e ao sul, e pode-se notar que nessas regiões a elevação do índice de vegetação ocorreu de forma mais lenta, e apresenta um período mais prolongado quando comparamos com as mostras 2 e 3. A amostra 2 está localizada em uma região na qual desenvolvem-se atividades agrícolas, e fica próxima a um reservatório. Pode-se observar, através da Figura 2C, a ocorrência de uma relativa defasagem entre NDVI e precipitação, e o fato de que, quando ocorrem as primeiras chuvas mais significativas do ano, a intensidade do NDVI já está alta, ou seja, nesta região o NDVI é fortemente influenciado pela irrigação possibilitada pelo reservatório, independente das chuvas. Através do gráfico da amostra 3 (Figura 3C), situada numa área de solo descoberto (Figura 3), observa-se um pico de ascensão do NDVI, que acompanha a precipitação, e também o declínio do NDVI mais acentuado do que o que verificamos nas outras áreas.

A Figura 5 apresenta os dados de temperatura na superfície da bacia obtidos a partir das imagens LANDSAT, para os dois momentos estudados (agosto e novembro). Pode-se observar que, de um modo geral, a espacialização da temperatura foi praticamente a mesma, para as duas datas de observação, contudo, proporcionalmente mais baixa, para agosto. Entre os fatores que contribuem para a elevação da temperatura, podem ser destacadas as mudanças ocorridas na paisagem, devido ao período de escassez, facilmente observadas através dos mapas de NDVI (Figura 3), e também o fato da incidência solar ser maior em novembro do que em agosto.

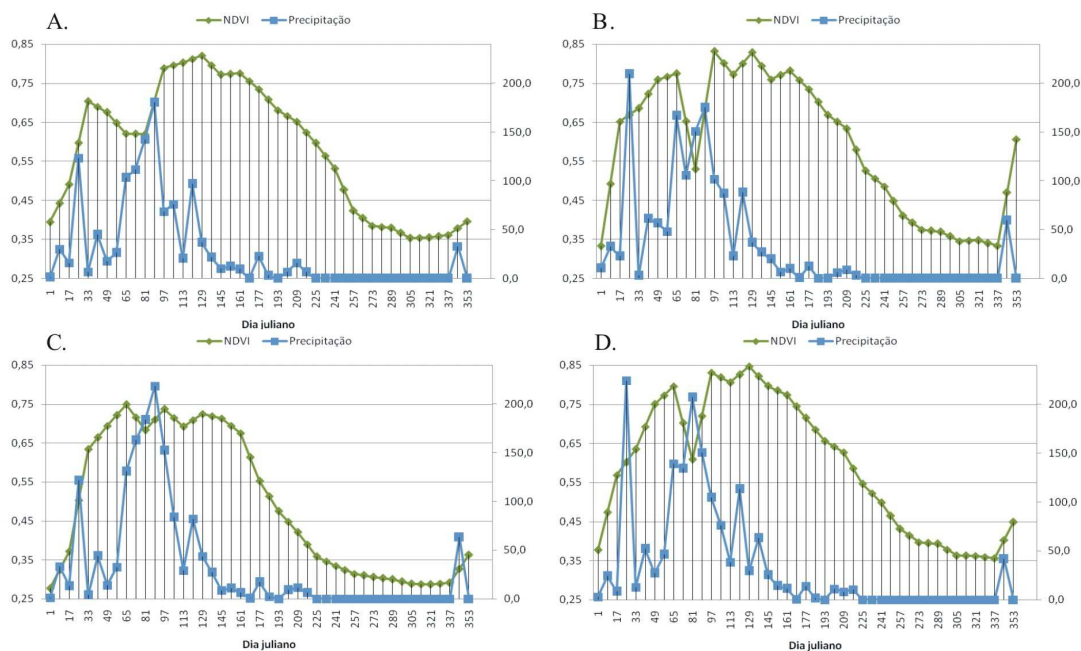


Figura 4 – Gráfico do NDVI obtido a partir do MODIS e precipitação no tempo, em (A) ponto 1, em (B) ponto 2, em (C) ponto 3 e em (D) ponto 4.

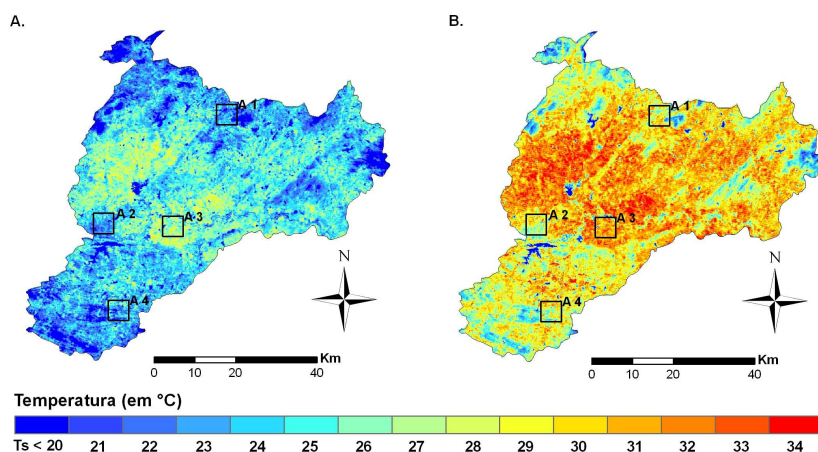


Figura 5 – Mapa de temperatura da superfície (A) em 29 de agosto de 2008 e (B) em 01 de Novembro de 2008.

Analisando os gráficos da Figura 6, percebemos que as variações da temperatura da superfície, ocorrem durante o ano, influenciadas pela precipitação, aumento da cobertura vegetal e variação da incidência solar. Analisando as amostras percebemos que a variação segue o que foi discutido para os gráficos de NDVI, de acordo com a localização de cada área, só que no caso da temperatura de superfície, isto ocorre de maneira inversa, NDVI maiores, temperatura menor.

A Figura 7 mostra os mapas com a distribuição espacial da evapotranspiração real para a Bacia do Rio do Peixe, obtida a partir das imagens LANDSAT, nos quais pode-se notar uma variação considerável deste componente. Observamos no mapa de novembro, que as maiores taxas evapotranspirativas são encontradas nas áreas mais altas (Figura 1), este fato ocorre devido à maior densidade de cobertura vegetal (Figura 3), e que estão mais expostas à ação dos ventos e possuem maior quantidade de energia disponível. Este fato também foi verificado por Giacomoni e Mendes (2008) em uma aplicação do SEBAL no estado do Rio Grande do Sul. Por outro lado, as áreas que apresentaram as menores taxas de ETr são as centrais da bacia e as de menor altitude (Figura 1) que estão entre as linhas de cumeeira das serras, tendo em vista que estas áreas estão menos suscetíveis à ação dos ventos, possuem

menor cobertura vegetal (Figura 3). A Figura 7 mostra a evapotranspiração real na bacia, apenas para dois momentos, agosto e novembro, a partir dos gráficos das Figuras 4 e 6 podemos perceber que as variações devem ser maiores ao longo do ano, devido às variações na cobertura vegetal e temperatura de superfície.

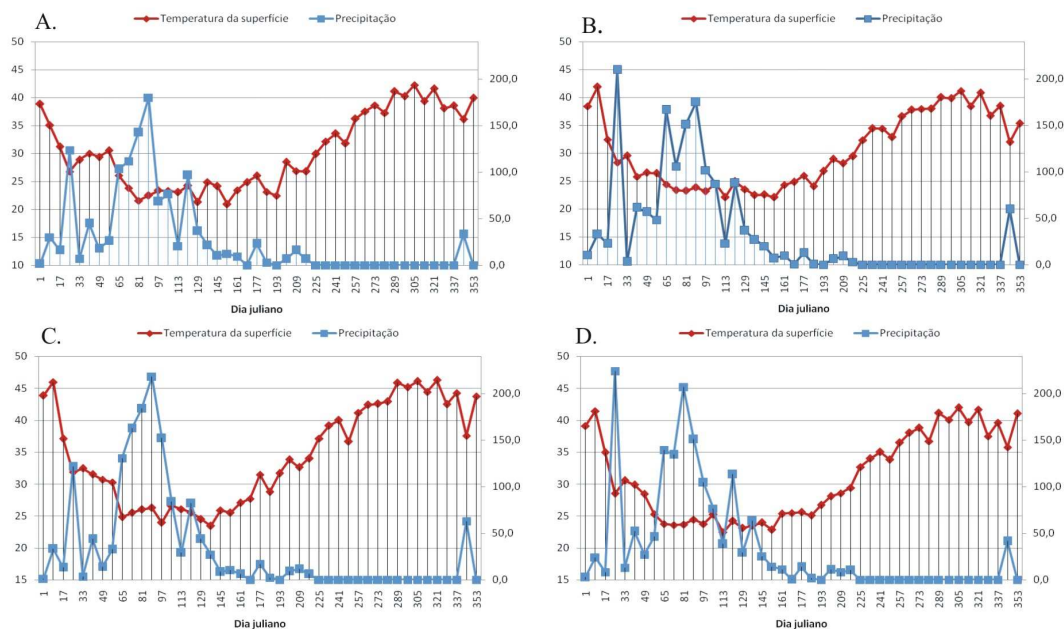


Figura 6 – Gráfico da Temperatura da superfície obtido a partir do MODIS e precipitação no tempo, em (A) ponto 1, em (B) ponto 2, em (C) ponto 3 e em (D) ponto 4.

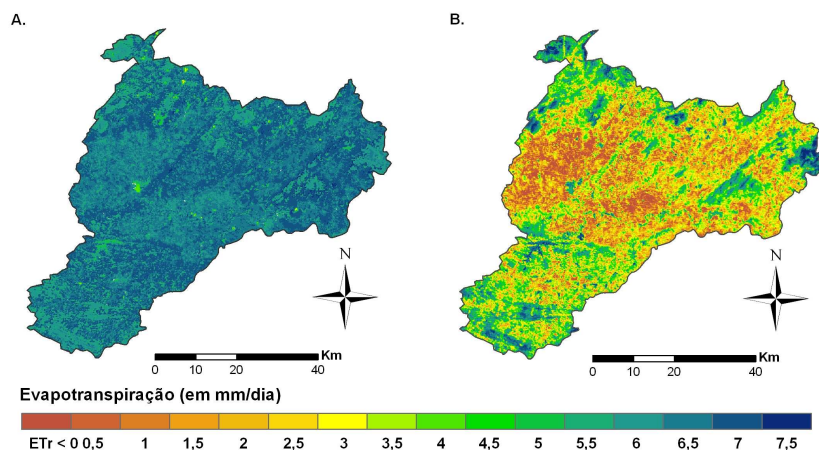


Figura 7 – Mapa de evapotranspiração real (A) em 29 de agosto de 2008 e (B) em 01 de novembro de 2008.

4. Conclusões

A partir das imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat 5 foi possível identificar a variação espacial do NDVI, temperatura de superfície e evapotranspiração real para diferentes regiões e uso do solo na bacia estudada. A resolução espacial deste sensor e a sua longa série de dados com mais de 25 anos de imagens coletadas da superfície terrestre, aponta para o fato de que este pode ser usado para subsidiar análises ambientais.

Uma análise dos valores de NDVI a cada 16 dias, e precipitação e temperatura de superfície a cada 8 dias para todo ano de 2008 possibilitou o estudo da variação contínua desses componentes na Bacia do Rio do Peixe, e da forma como estes relacionam-se entre si, ao longo do ano. Nesse contexto, destaca-se a importância do uso dos dados do sensor

MODIS, que apresenta alta resolução temporal, como uma alternativa para suprir a carência de imagens frente a um estudo mais detalhado da dinâmica interanual.

A partir das amostras tomadas, notam-se algumas particularidades para diferentes usos dos solos, mas de uma forma geral, é observada uma resposta rápida da vegetação à ocorrência de chuva, o que pode ser notado especialmente no final de dezembro. Durante o período seco, há uma gradativa redução nos valores de NDVI e aumento da temperatura.

Agradecimentos

Ao CNPq (Conselho Nacional de Pesquisa) pelo apoio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências Bibliográficas

Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and drainage paper**. v. 56. Rome, Italy, 1998.

Allen, R.G.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE 133, p. 380–394, 2007.

Bastiaanssen, W. G. M. SEBAL - based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p. 87-100. 2000

Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M; Feddes, R.A.; Holtslag, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**. v. 212–213, p. 198–212, 1998.

Courault, D.; Jacob, F.; Benoit, V.; Weiss, M.; Marloie, O.; J. F. Hanocq; E. Fillol; Oliosio, A.; Dedieu, G.; Gouaux, P.; Gay, M.; French, A. Influence of agricultural practices on micrometeorological spatial variations at local and regional scales. **International Journal of Remote Sensing**. v. 30, p. 1183 – 1205, 2009.

Cunha, J. E. B; Tsuyuguchi, B. B.; Rufino, I. A.; Braga, A. C. Sensoriamento remoto na estimativa da distribuição espacial do balanço de energia e evapotranspiração de região semiárida. In Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste (SRHN), 2010, Fortaleza. Anais... Campina Grande : UFCG, 2005.

Giacomoni M. H.; Mendes C.s A. B. Estimativa da Evapotranspiração Regional por meio de Técnicas de Sensoriamento Remoto Integradas a Modelo de Balanço de Energia. RBRH — **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 13, n. 4 Out/Dez 2008, p. 33-42

Hong, S.; Hendrickx, J. M.H.; Borchers, B. (2009). Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) scale. **Journal of Hydrology**, v.370, p 122–138.

Mecikalski, J.R.; Diak, G.R.; Anderson, M.C.; Norman, J.M. Estimating fluxes on continental scales using remotely-sensed data in an atmospheric-land exchange model. **Journal of Applied Meteorology**, v. 38, p. 1352–1369, 1999.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) Disponível em:
<<https://wist.echo.nasa.gov/api/>>. Acesso em: 10 de outubro de 2010.

National Aeronautics and Space Administration (NASA) Disponível em:
<<http://newsroom.gsfc.nasa.gov/sdptoolkit/HEG/HEGDownload.html>>. Acesso em: 10 de outubro de 2010.

Silva, B. B.; Bezerra, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.

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

Trezza, R. Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. 247 p. Tese (Doctor Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002

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