

Validação do Modelo Espectral de Estimativa de Evapotranspiração na Região de Gilbués, Piauí.

Marcia Rodrigues de Oliveira ¹
Gustavo Macedo de Mello Baptista ¹

¹ Universidade de Brasília - UnB/IG
Caixa Postal 4465 - 70910-900 - Brasília - DF, Brasil
marciaambiental@gmail.com
gmbaptista@unb.br

Abstract. The aim of this paper is validate a spectral model developed by Nagler et al. (2005) to determinate the evapotranspiration rates in a semi-arid zone of Gilbués, Piauí. For this we used a hydrological year by means MODIS data. The vegetation index EVI (MOD13A2) and the land surface temperature (MOD11A2) were used, on scene for each month. We selected some weather stations for calculate the water balance by means the Thornthwaite and Matter (1955) method and compare with the evapotranspiration obtained by satellite data model. The results showed the data are correlated and their means and variance are statistical similar. The weather stations in semi-arid zone present the highest determination coefficient. New studies must be develop to validate the Nagler et al. (2005) evapotranspiration model for Brazil context.

Palavras-chave: Evapotranspiration, Desertification, MODIS, Evapotranspiração, Desertificação, MODIS.

1 Introdução

No Brasil, a ocorrência dos processos de desertificação é observada, especialmente, no ambiente do sertão nordestino, nas denominadas Áreas Susceptíveis à Desertificação - ASD, conforme definidas no Plano de Ação Nacional de Combate à Desertificação - PAN-Brasil do Ministério do Meio Ambiente. Essas áreas englobam a porção semi-árida e subúmida seca do território Nacional, abrangendo todos os Estados da Região Nordeste.

A desertificação é responsável por parte das reduções da biodiversidade, da biomassa e da bioprodutividade globais, além de ser considerada como uma das principais causas de perda de produtividade das terras agrícolas, além de ser responsabilizada pela promoção da instabilidade econômica e política das áreas afetadas.

Devido à ocorrência de forte insolação e temperaturas elevadas, essas áreas normalmente apresentam elevados índices de evapotranspiração potencial e forte irregularidade na pluviosidade, na qual intensos volumes de precipitação intercalam-se aos prolongados períodos de seca, onde as características ambientais, hoje vislumbradas, sugerem a ocorrência de processos de degradação tendentes a transformá-las em áreas também sujeitas à desertificação.

De acordo com Costa (2002), a evapotranspiração, indica o total da perda de água transferida da superfície do solo para a atmosfera na forma de vapor, ou seja, é a soma da água evaporada de superfícies livres, dos solos, da vegetação úmida e a transpiração dos vegetais.

A ocorrência dos processos de desertificação depende, fundamentalmente, da fragilidade natural do meio frente às ações de uso e ocupação do solo e da conseqüente susceptibilidade aos processos de degradação. Fragilidade e susceptibilidade estas que, encontram-se basicamente marcadas pelas limitações climáticas e edáficas locais.

De acordo com Santos (2001), o sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta cada vez mais utilizada para o monitoramento de processos climáticos, sendo vantajoso

em relação a estações de monitoramento climático por coletar dados de forma abrangente e não de forma pontual como as estações meteorológicas.

Alguns trabalhos visando testar a potencialidade de sensores remotos para a determinação da evapotranspiração, principalmente no contexto do semi-árido brasileiro (MOTA et al., 2010; BAPTISTA, 2008)

O presente trabalho, tem o objetivo de validar o modelo proposto por Nagler *et al.* (2005) para 13 estações meteorológicas situadas nos estados da Bahia, Tocantins, Piauí e Maranhão com uma perspectiva sazonal, visando compreender o comportamento da evapotranspiração que irão posteriormente subsidiar a discussão sobre desertificação no Núcleo de Desertificação de Gilbués - PI.

2. Material e Métodos

O município de Gilbués - PI está localizado na microrregião do Alto Médio Gurguéia (Figura 1), a 797 km de Teresina compreendendo uma área irregular de 3.475,18 km² e tendo como limites ao norte, os municípios de Baixa Grande do Ribeiro, Bom Jesus e Santa Filomena; ao sul, Barreiras do Piauí e São Gonçalo do Gurguéia; a leste, Monte Alegre do Piauí e Riacho Frio e, a oeste, Barreiras do Piauí, Santa Filomena e o estado do Maranhão.

Nesse município encontra-se o cenário da degradação ambiental, conhecido como desertificação do Núcleo de Gilbués. As erosões têm causado efeitos negativos tanto na zona urbana como na zona rural, afetando estradas, ruas, residências, a cobertura vegetal e o solo, culminando com o assoreamento de baixões (geralmente de terras mais férteis), de grotas, riachos, rios, açudes, barragens e lagoas.

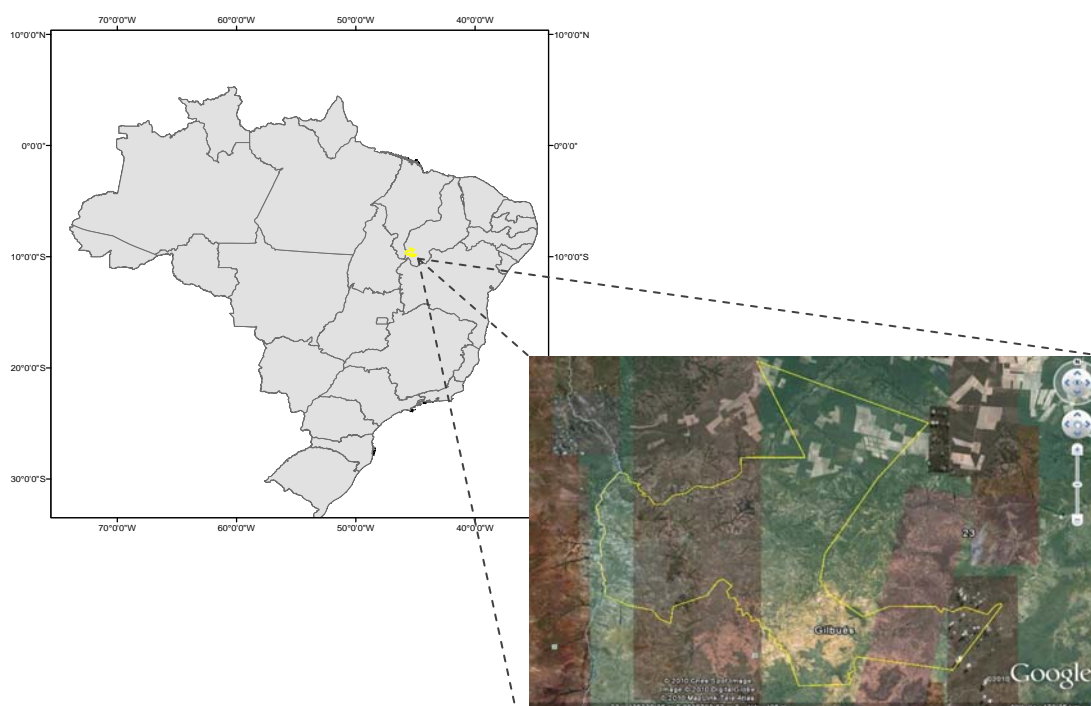


Figura 1 - Área afetada pelo processo de desertificação, no entorno do Município de Gilbués – PI.

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) consiste em um dos cinco instrumentos a bordo do satélite TERRA (EOS AM-1), além de também estar inserido no satélite AQUA. O MODIS possui alta resolução radiométrica, de 12 bits, em 36 bandas espectrais que imageiam o intervalo de 0,4 a 14,4 μm do espectro.

Apresenta duas bandas com resolução de 250 m, outras cinco bandas com resolução de 500 m e as demais 29 bandas com 1 km.

No presente estudo utilizaram 12 cenas para cada um dos dois produtos do sensor MODIS utilizados no modelo proposto por Nagler *et al.* (2005): o índice de vegetação – EVI de 16 dias com resolução de 1 km (MOD13A2) e a temperatura de superfície – LST de 8 dias com resolução espacial também de 1 km (MOD11A2). Para recobrir a área de estudos utilizaram-se os *tiles* H13V09 e H13V10, conforme destacado na figura 2.

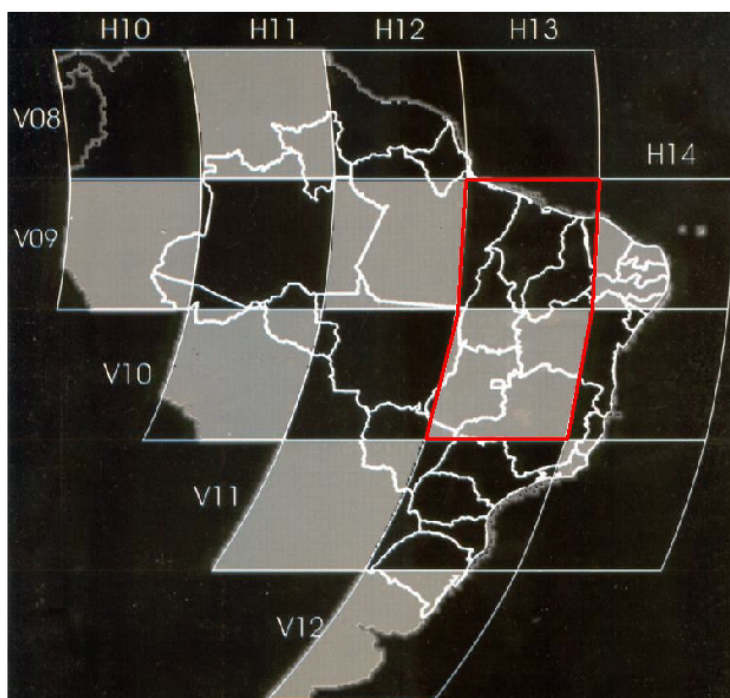


Figura 2 - *Tiles* MODIS H13V09 e H13V10 destacados em vermelho.

Para o processamento das imagens utilizou-se a versão 4.3 do software ENVI©. Para aplicação do modelo proposto por Nagler *et al.* (2005) utilizou-se o mesmo período de tempo para os dois produtos MODIS, visando obter um ano hidrológico para avaliar a sazonalidade da evapotranspiração. A tabela 1 apresenta as datas das cenas MODIS utilizadas no trabalho para o ano de 2009.

Tabela 1: Datas das cenas do sensor MODIS usadas.

MOD11A2	MOD13A2
01/01 – 08/01	01/01 – 16/01
02/02 – 09/02	02/02 – 17/02
06/03 – 13/03	06/03 – 21/03
07/04 – 14/04	07/03 – 22/04
09/05 – 16/05	09/05 – 24/05
10/06 – 17/06	10/06 – 25/06
12/07 – 19/07	12/07 – 27/07
13/08 – 20/08	13/08 – 28/08
14/09 – 21/09	14/09 – 29/09
16/10 – 23/10	16/10 – 31/10
01/11 – 08/11	01/11 – 16/11
03/12 – 10/12	03/12 – 18/12

Por meio de dados do INMET de 13 estações meteorológicas automatizadas localizadas na área de estudo (Figura 3), foram obtidos os dados de temperatura e de

precipitação médias diárias para os mesmos dias dos dados MODIS e foi calculado o balanço hídrico pelo método Thornthwaite e Matter (1955) para cada estação.

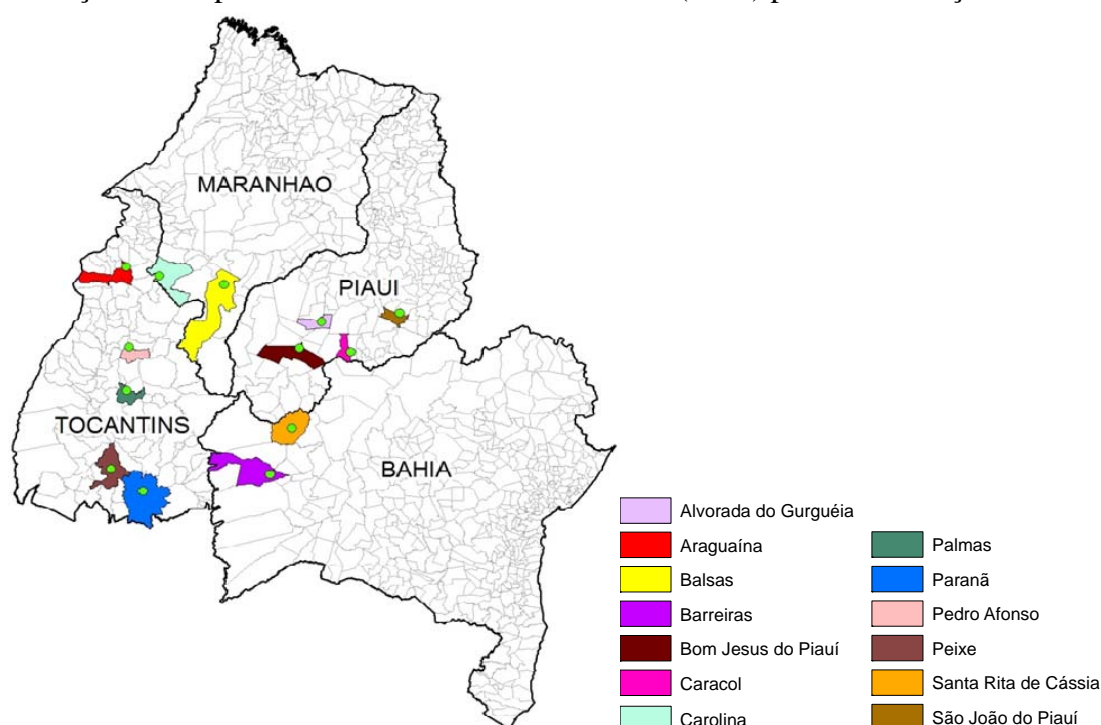


Figura 3 - Localização das estações meteorológicas do INMET (2009) utilizadas no estudo e destacados em cores, nos estados da Bahia, Piauí, Maranhão e Tocantins.

Para a aplicação do modelo de evapotranspiração proposto por Nagler *et al.* (2005) são necessários alguns ajustes dos dados de índice de vegetação, bem como o de temperatura de superfície. Como são produtos pré-processados, eles são normalmente disponibilizados em formato 16 bits e para sua utilização é necessária a conversão para as suas respectivas unidades. Para tal, foi utilizada a ferramenta *band math* do ENVI.

Para utilização do produto MOD11A2 disponibilizado em 16 bits é necessária sua conversão, primeiramente para temperaturas em graus Kelvin (K) (Equação 1) e posteriormente para graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) (Equação 2), por meio das seguintes equações:

$$T (\text{K}) = \text{MOD11A2} \times 0,02 \quad (1)$$

$$T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,15 \quad (2)$$

Para utilização do EVI (índice de vegetação melhorado) disponível no produto MOD13A2 e disponibilizado na escala de -1 a 1 é necessário o reescalonamento do mesmo para valores positivos ou EVI^* de acordo com a equação 3.

$$\text{EVI}^* = \frac{\text{EVI} + 1}{2} \quad (3)$$

O modelo de evapotranspiração proposto por Nagler *et al.* (2005) é apresentado na equação 4.

$$\text{ET} (\text{mm} \times \text{d}^{-1}) = 0,355 (1 - \exp^{-2,28 \times \text{EVI}^*}) \times (T (^{\circ}\text{C}) - 20,3) + 0,70 \quad (4)$$

Foram realizadas análises de regressão linear entre a evapotranspiração potencial calculada no balanço hídrico pelo método Thornthwaite e Matter (1955) (ET balanço hídrico, como variável independente) e a evapotranspiração calculada de acordo com o modelo proposto por Nagler *et al.* (2005) (ET MODIS, como variável dependente).

Inicialmente, verificou-se a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk. Depois, verificou-se se existia correlação entre os dois parâmetros ou tratamentos (ET balanço hídrico e ET MODIS), por meio do teste t de student para o coeficiente b da regressão linear.

Finalmente, testaram-se as hipóteses iniciais de as médias entre ET balanço hídrico e ET MODIS serem estatisticamente semelhantes, por meio do teste t de student e se as variâncias são semelhantes por meio do teste F de Snedecor.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos pelo cálculo do balanço hídrico pelo método de Thornthwaite e Matter (1955) são apresentados na tabela 3 e os obtidos pelo modelo de Nagler et al. (2005), na tabela 4.

Tabela 3 – Evapotranspiração (mm/dia) obtida pelo método de Thornthwaite e Matter (1955), para as treze estações INMET no ano de 2009.

Estações	Estado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Bom Jesus do Piauí	PI	3,88	3,89	3,95	3,57	3,60	3,46	3,83	4,64	7,07	6,51	5,71	4,24
São João do Piauí	PI	5,34	4,33	4,78	3,65	3,98	4,24	4,65	5,39	8,24	7,49	6,74	6,68
Barreiras	BA	3,79	3,83	3,99	3,42	3,25	2,43	2,72	3,05	5,44	5,10	3,64	3,99
Santa Rita de Cássia	BA	3,92	4,02	4,04	3,67	3,59	2,89	3,06	3,32	5,77	5,93	4,49	4,19
Palmas	TO	4,71	4,55	4,33	4,09	3,88	4,73	4,65	5,83	5,73	4,60	4,26	3,95
Paraná	TO	4,40	4,57	4,31	4,03	3,65	3,11	3,24	3,50	5,99	4,44	4,07	3,80
Peixe	TO	4,45	4,38	4,23	3,79	3,66	3,49	3,45	3,93	5,42	4,78	4,15	3,72
Pedro Afonso	TO	4,50	4,74	4,37	3,97	3,59	4,07	4,12	4,72	5,30	5,11	4,62	4,07
Araguaina	TO	3,89	4,12	3,81	3,48	3,48	3,64	3,73	3,87	3,72	4,14	4,30	3,84
Balsas	MA	3,80	4,16	3,99	3,63	3,58	3,61	3,75	4,13	5,40	4,59	4,96	4,02
Carolina	MA	4,22	4,31	3,97	3,65	3,35	3,79	4,23	4,34	5,17	5,32	5,18	5,19
Alvorada do Gurgueia	PI	3,91	3,20	3,89	3,37	3,48	3,37	4,35	4,83	6,16	6,03	5,94	4,51
Caracol	PI	3,91	3,20	3,89	3,37	3,48	3,37	4,35	4,83	6,16	6,03	5,94	4,51

Tabela 4 – Resultados da evapotranspiração (mm/dia) obtidos pelo modelo de Nagler *et al.* (2005), para as treze estações INMET no ano de 2009.

Estações	Estado	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Bom Jesus do Piauí	PI	3,31	2,43	3,49	3,25	2,01	3,10	3,55	4,84	6,00	5,90	4,46	3,15
São João do Piauí	PI	4,17	2,41	2,60	1,42	2,51	3,28	3,82	5,33	5,96	5,37	3,58	3,49
Barreiras	BA	3,44	2,79	1,62	2,65	3,53	2,35	3,85	4,30	6,30	5,01	2,52	3,69
Santa Rita de Cássia	BA	4,00	2,40	1,32	2,95	4,35	2,71	3,47	4,32	6,33	5,13	4,30	3,80
Palmas	TO	3,52	1,90	1,85	1,75	3,85	2,26	3,03	3,89	4,89	1,81	2,80	3,83
Paraná	TO	3,69	2,45	2,51	2,01	3,59	2,24	3,30	4,30	6,54	3,92	3,56	2,96
Peixe	TO	2,44	3,78	1,85	2,76	2,67	2,48	3,62	4,46	4,90	3,51	3,12	1,85
Pedro Afonso	TO	2,74	3,38	2,84	2,52	2,76	2,43	3,55	4,46	4,90	3,07	4,01	3,25
Araguaina	TO	2,76	2,60	2,29	1,96	2,34	2,81	3,39	5,29	4,22	2,99	4,11	1,90
Balsas	MA	3,24	3,71	3,06	2,90	1,17	3,74	3,73	5,30	4,83	2,68	4,42	3,24
Carolina	MA	1,72	3,50	2,75	2,36	2,74	2,78	3,71	4,42	5,12	3,11	3,67	2,12
Alvorada do Gurgueia	PI	2,81	2,12	1,96	1,38	1,21	2,04	3,02	3,98	4,65	4,65	5,33	2,66
Caracol	PI	2,44	2,13	1,77	1,67	1,36	1,79	2,12	3,59	4,79	5,57	2,39	2,80

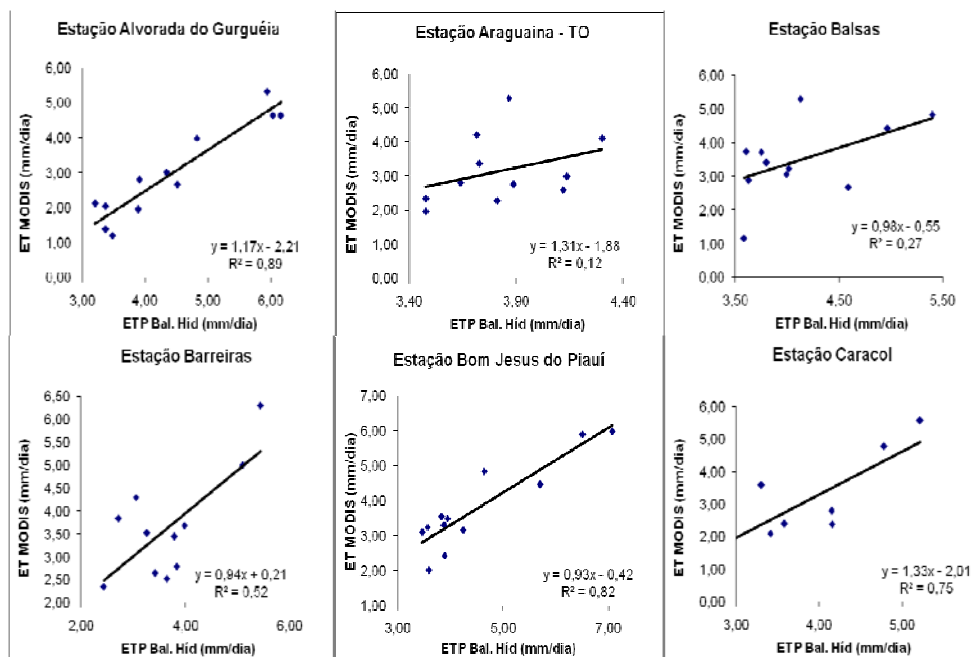
Tanto os dados de ET obtidos pelo cálculo de balanço hídrico como os obtidos pelo MODIS apresentaram distribuição normal, pelo teste de Shapiro-Wilk. Portanto, aplicaram-se métodos paramétricos para testar algumas hipóteses. Inicialmente,

verificou-se a correlação entre os dois parâmetros ou tratamentos (ET balanço hídrico e ET MODIS), por meio do teste t de student para o coeficiente b da regressão linear. Como o t calculado (41,12) foi maior que o t tabelado (1,96) rejeita-se a H_0 ($b=0$) e, portanto, ET balanço hídrico e ET MODIS se correlacionam, mesmo com um $R^2 = 0,39$ para todas as estações.

Depois, testou-se a hipótese inicial de as médias entre ET balanço hídrico e ET MODIS serem estatisticamente semelhantes, por meio do teste t de student. Como o t calculado (0,0000000027) é menor que o t tabelado (1,98), não se rejeita a H_0 ($\mu_1=\mu_2$) e, portanto, as médias de ET balanço hídrico e de ET MODIS são estatisticamente semelhantes.

Testou-se também se as variâncias são semelhantes, por meio do teste F de Snedecor. Como o F calculado (0,05) é menor que o F tabelado (3,93), não se rejeita a H_0 ($\sigma_1=\sigma_2$) e, portanto, as variâncias de ET balanço hídrico e de ET MODIS são estatisticamente semelhantes.

As regressões lineares entre a evapotranspiração potencial calculada pelo balanço hídrico (variável independente) e a evapotranspiração calculada pela MODIS (variável dependente) para cada uma das 13 estações são apresentadas na Figura 3.



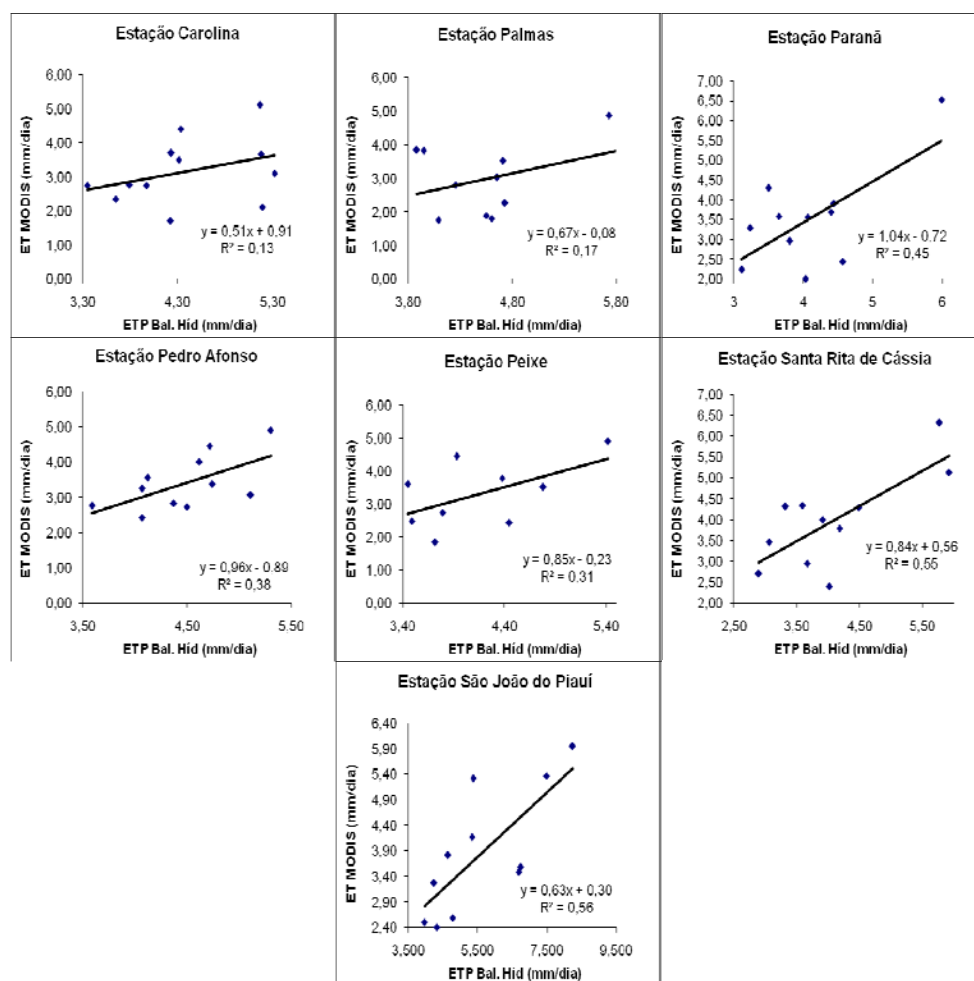


Figura 3 - Regressão linear entre a ETP balanço hídrico e ET MODIS para as 13 estações meteorológicas do INMET no ano de 2009.

Todas as estações apresentaram tendências positivas e os coeficientes de determinação variaram de 0,12 a 0,89. A avaliação das estações permitiu separá-las em dois grupos, sendo um com os valores R^2 inferiores a 0,5 e no outro os maiores que 0,5.

O grupo que apresentou valores inferiores 0,5 é composto pelas estações de Palmas (0,17), Paraña (0,45), Peixe (0,31), Pedro Afonso (0,38), Araguaína (0,12), Balsas (0,27) e Carolina (0,13). O grupo com os maiores valores de R^2 compreende as estações de Bom Jesus do Piauí (0,82), São João do Piauí (0,56), Barreiras (0,52); Santa Rita de Cássia (0,55), Alvorada do Gurgueia (0,89) e Caracol (0,75).

A análise desses dois grupos permite deduzir que nas áreas as quais o clima é tropical semi-úmido ou equatorial, como as estações dos estados de Tocantins e do Maranhão, os valores dos coeficientes de determinação são baixos. Já as estações inseridas no contexto de semi-aridez apresentaram os maiores coeficientes e sendo que os quatro maiores coeficientes são encontrados para as estações do Piauí.

Como o modelo proposto por Nagler et al. (2005) foi desenvolvido no estado do Novo México, nos Estados Unidos, num contexto de aridez, os resultados encontrados são bastante coerentes. Apesar disso, é importante ressaltar quatro pontos que conferem imprecisão na avaliação dos dados: 1) os dados do MODIS representam a evapotranspiração para uma área de 1 km² enquanto que os dados das estações meteorológicas são pontuais; 2) os valores diários obtidos pelo método de Thornthwaite e Matter (1955) são o valor mensal dividido pelo número de dias; os dados do MODIS serem um mosaico das melhores partes da cena em 8 dias para a temperatura de

superfície e de 16 para o EVI e não seu valor médio; e finalmente, 4) nas áreas que apresentaram nuvens adotou-se o vizinho mais próximo.

4. Conclusões

De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que os dados de evapotranspiração obtidos pelo modelo de Nagler et al. (2005) se correlacionam com os obtidos pelo cálculo de balanço hídrico para estações meteorológicas automáticas do INMET, por meio da análise do teste t do coeficiente b da regressão linear, mesmo com coeficiente de determinação igual a 0,39 para todas as estações.

Os dados apresentaram distribuição normal e apresentaram semelhanças estatísticas entre as médias, pelo teste t de student e entre as variâncias, pelo teste F de Snedecor.

Todas as estações apresentaram tendências positivas e os coeficientes de determinação variaram de 0,12 a 0,89. As áreas onde o clima é tropical semi-úmido ou equatorial, como as estações dos estados de Tocantins e do Maranhão, os valores dos coeficientes de determinação foram baixos. As estações localizadas no semi-árido apresentaram os maiores coeficientes e sendo que os quatro maiores coeficientes são encontrados para as estações do Piauí. Isso é bastante coerente, pois o modelo de Nagler et al. (2005) foi desenvolvido no estado do Novo México, nos Estados Unidos.

Novos estudos devem ser incentivados para melhorar a validação do modelo de Nagler et al. (2005) para o contexto brasileiro, gerando subsídios ao monitoramento de áreas sujeitas à desertificação.

Referências Bibliográficas

BAPTISTA, G.M.M. As Geotecnologias nos Estudos de Geografia Física Aplicada. **Sociedade e Território (Natal)**, v. 20, p. 287-322, 2008.

COSTA, M. C. **Estimativa da evapotranspiração regional considerações teóricas**. Primeira versão. Ano 1, nº 122, Porto Velho: UFRO, set 2002.

MOTA, D.M.; SILVA, L.F.; DUARTE, P.A.; BAPTISTA, G.M.M.; SANTOS, P.F. Validação do Modelo Espectral de Estimativa de Evapotranspiração de Nagler et al (2005) nos Domínios Morfoclimáticos da Caatinga e do Cerrado no Oeste Baiano Brasileiro. In: VI Seminário Latino Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, 2010, Coimbra. **Actas**. Departamento de Geografia da Universidade de Coimbra, 2010. v. 1. p. 1-17.

NAGLER, P. L.; CLEVERLY, J.; GLENN, E.; LAMPKIN, D.; HUETE, A. WAN, Z. Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation. **Remote Sensing of Environmental**, Arizona, n. 94, p.17-30, 2005

SANTOS, I. **Hidrometria aplicada**. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 371 p. ISBN 8588519011

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The Water Balance**. Climatology, Centerton, NJ. v.8, n.1. 1955.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009a. **Contagem da População 2009, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2009**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2009/default.shtm>. Acessado em outubro de 2010.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (Brasil). **Gráficos**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?lnk=Gráficos>>. Acesso em: setembro de 2010.