

CALIBRAÇÃO DO SEBAL/METRIC PARA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO DE ONDA LONGA INCIDENTE NO SEMI-ÁRIDO BRASILEIRO

Rafael da Costa Ferreira¹, Bernardo Barbosa da Silva², Valéria Peixoto Borges³, Alexandra Chaves Braga⁴

¹Eng. Agrônomo, Estudante de doutorado em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande – PB, Fone: (083) 3310-1054, rafaelcf4@gmail.com.

²Meteorologista, Prof. Doutor, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande – PB.

³Eng. Agrônoma, Estudante de doutorado em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande – PB.

⁴Matemático, Estudante de doutorado em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, Campina Grande – PB.

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

RESUMO: O estudo foi conduzido visando a determinação de coeficientes da equação para estimativa da emissividade atmosférica sugerida por Bastiaanssen et al. (1998) como forma de redução dos erros na estimativa da radiação de onda longa incidente mediante o algoritmo SEBAL/METRIC, aplicado a imagens TM – Landsat 5 no Semi-Árido do Brasil. Os coeficientes foram determinados por um método empírico de tentativa-erro onde a seleção dos coeficientes foi baseada no erro gerado sobre a radiação de onda longa incidente observada. Os resultados encontrados se apresentaram muito promissores, com um erro absoluto médio na faixa do erro instrumental para todos os dias imageados.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto; Balanço de Radiação; Emissividade atmosférica.

ABSTRACT: This research was conducted to determine the coefficients to the atmospheric emissivity equation suggested by Bastiaanssen et al. (1998) aiming the reduction of bias in the estimation of long wave incoming radiation using the SEBAL/METRIC algorithm applied to TM-Landsat 5 images in the Semi-Arid Region of Brazil. The coefficients were determined by a trial-error empirical model, which the coefficients selection was based in the errors generated for the observations of long wave incoming radiation. The results were very promising with absolute mean error in the range of the instrumental error for all the days studied.

Key Words: Remote sensing; Budget radiation; Atmospheric emissivity.

INTRODUÇÃO: O balanço de radiação em bacias hidrográficas é essencial ao conhecimento e entendimento dos processos físico-químicos que ocorrem na camada limite planetária, sendo aplicado, sobretudo na previsão do tempo e clima, modelagem atmosférica, gestão dos recursos hídricos, fisiologia vegetal e irrigação (Silva et al., 2006). Diversos estudos são inviabilizados pela inexistência ou descontinuidade na coleta de dados sobre radiação no Brasil. Essa é agravada por erros instrumentais advindos da baixa sensibilidade dos sensores e da falta de calibração dos mesmos que compromete a precisão das medições radiométricas. Estimar os componentes do balanço de radiação a partir de dados pontuais está atrelada a erros proporcionais a distância entre os pontos de coleta de dados. Nesse sentido, a utilização

de algoritmos aplicados a imagens de sensores orbitais que venham suprir essa necessidade apresenta-se de grande importância ambiental. O emprego de técnicas de sensoriamento remoto apresenta-se como um campo promissor, com a vantagem da determinação dos componentes do balanço de radiação e de energia com grande cobertura espacial de forma rápida e precisa. Ganha destaque nesse segmento por sua simplicidade e precisão o algoritmo SEBAL/METRIC, que tem como meta principal o cômputo da evapotranspiração e requer poucos dados da superfície para que possa ser empregado, além de possibilitar facilmente a calibração das equações que o integram, resultando em aumento da precisão dos resultados.

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo a calibração da equação para estimativa da emissividade atmosférica sugerida por Bastiaanssen et al. (1998) como forma de redução dos erros na estimativa da radiação de onda longa incidente no semi-árido do Brasil e concomitantemente da evapotranspiração a superfície.

METODOLOGIA: Foram utilizadas 3 imagens TM – Landsat 5 para a região de Quixeré-CE de ponto 216 e órbita 64, geradas no ano de 2006. O experimento foi desenvolvido na Fazenda Frutacor, em uma área 250 ha cultivados com a cultura da bananeira (Figura 2). O sistema de irrigação utilizado foi o gotejamento, com 3 gotejadores por planta. Os dados de superfície foram coletados em uma torre micrometeorológica instalada no centro da área a 5°4'35''S, 37°51'54''W e a 131m de altitude, inserida na cidade de Quixeré – CE, no semi-árido brasileiro, inserida na sub-bacia do Baixo Jaguaribe (Figura 1).

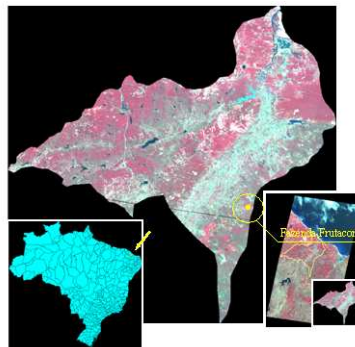


Figura 1: Imagem TM – Landsat 5 em composição falsa cor RGB (red, green and blue) das bandas 2, 3 e 4 referente à bacia do Baixo Jaguaribe, com os alvo área cultivada com Bananeiras na Fazenda Frutacor.

Para o cômputo da radiação de onda longa incidente através do SEBAL/METRIC (Equação 1) é indispensável a determinação da emissividade atmosférica, com sua equação original apresentada por Bastiaanssen et al. (1998) (Equação 2), que no oeste do Egito obteve para os coeficientes “a” e “b” valores, 1,08 e 0,265 respectivamente. No entanto, os coeficientes da emissividade atmosférica são intrínsecos a cada região, devendo ser computados. Allen et al. (2000) determinaram esses coeficientes para a região semi-árida de Idaho, EUA, encontrando valores iguais a 0,85 e 0,09, respectivamente e Teixeira et al.(2008), no semi-árido brasileiro, encontraram valores iguais a 0,942 e 0,103. Os coeficientes de Allen et al. (2000) até então foram utilizados para as condições semi-áridas do Brasil e até mesmo para todo o território nacional.

$$R_{OLi} = \varepsilon_a * \sigma * T_{ar}^4 \quad (1)$$

$$\varepsilon_a = a * (-\ln \tau_{sw})^b \quad (2)$$

onde: τ_{sw} é a transmissividade atmosférica; “a” e “b” são coeficientes da equação.

Nesse processo de ajuste ou calibração foram utilizados dados observados a superfície, em pomar bananeiras inserido a cidade de Quixeré, na bacia do Baixo Jaguaribe – CE (Figura 1).

A partir dos dados de latitude, longitude, dia seqüencial do ano, temperatura do ar e radiação de onda longa incidente a superfície foram determinados pelo método de “tentativa-erro” os coeficientes da emissividade. Para tanto, fez-se variar os coeficientes “a” e “b” (Equação 2), sendo a seleção destes em função do erro absoluto médio.

Para o semi-árido do Nordeste do Brasil foram utilizados 359 dias de dados coletados em intervalos de tempo variados, de 10 min, 20 min ou 30 min. A transmissividade atmosférica para fins de calibração, foi calculada pela definição, como uma relação entre as radiações de onda curta incidente a superfície ($R_{s,inc}$) e no topo da atmosfera ($R_{s,toa}$), integradas para o intervalo de tempo de armazenamento dos dados, variando de acordo com o ângulo horário solar.

A radiação no topo da atmosfera foi estimada em função da constante solar e corrigida pela excentricidade da órbita terrestre, conforme a Equação 3, sendo integrada entre os ângulos horários respectivos aos intervalos.

$$R_{SI_{TOA}} = \frac{S * \cos \theta}{d^2} \quad (3) \quad \varepsilon_a = \frac{R_{OLi}}{\sigma * T_{ar}^4} \quad (4)$$

Finalmente a emissividade atmosférica para o processo de calibração foi determinada pela expressão (4), onde R_{OLi} é a radiação de onda longa incidente observada.

Após a determinação dos coeficientes da emissividade atmosférica, a radiação de onda longa incidente pode então ser computada pixel a pixel pela Equação 1, sendo que para este caso, a transmissividade e a emissividade atmosférica devem ser calculados pixel a pixel, conforme a metodologia apresentada por Allen et al. (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Para as condições do semi-árido do Nordeste do Brasil os coeficientes por método de determinação submetido à análise de erro (EM e EAM) em relação aos valores observados são apresentados na Tabela 1. Ao se analisar a Tabela 1, verifica-se que os coeficientes sugeridos por Allen et al. (2000) apresentam melhores resultados em relação aos sugeridos por Bastiaanssen et al. (1998). Quando comparados os resultados obtidos pelos coeficientes de Allen et al. (2000) aos de Teixeira et al. (2008), observa-se grandes semelhanças em relação ao EAM, porém com melhores resultados para Teixeira et al. (2008) no que se refere ao EM. Os coeficientes obtidos por tentativa-erro em função do EAM, obtiveram resultados muito próximos, com um EM sobre a radiação de onda longa incidente e sobre a emissividade atmosférica observada muito próximo a zero e um EAM inferior a 5%, revelando melhoria das estimativas da radiação de onda longa incidente e da emissividade atmosférica para a região da bacia do Baixo Jaguaribe, em relação aos coeficientes sugeridos por Allen et al. (2000) e Teixeira et al. (2008), com um EAM superior a 8% (Tabela 1). Verifica-se, ainda na Tabela 1, que as estimativas dos coeficientes de Allen et al. (2000), subestimam a emissividade atmosférica e a radiação de onda longa incidente, com uma magnitude muito superior para Allen et al. (2000) e tendendo a neutralidade para os coeficientes calibrados. Os resultados obtidos por Bastiaanssen et al. (1998) e Teixeira et al. (2008) superestimam a emissividade e a radiação de onda longa incidente, com magnitude muito superior para Bastiaanssen et al. (1998).

Tabela 1: Coeficientes da emissividade por método de determinação para a bacia do Baixo Jaguaribe e erro médio sobre emissividade atmosférica e radiação de onda longa incidente para os dias utilizados no processo de calibração (n = 15271).

	Coef. da ϵ_a		Emissividade		Rad_Lon_inc		Características dos Coeficientes
	b	a	EM %	EAM %	EM %	EAM %	
Allen	0,090	0,850	-7,290	8,224	-7,290	8,224	Subestima a Ea e a Rlinc
Bastiaanssen	0,265	1,080	10,776	23,102	10,776	23,102	Superestima a Ea e a Rlinc
Teixeira	0,103	0,942	2,176	8,153	2,176	8,153	Superestima a Ea e a Rlinc
Tent_Erro (EAM)	0,020	0,884	-0,344	4,553	-0,344	4,553	Subestima a Ea e a Rlinc

Na Tabela 2 são apresentados os resultados do erro sobre a radiação de onda longa incidente no momento da passagem do satélite em relação aos valores observados nos dias imageados na bacia do Baixo Jaguaribe. Observam-se resultados semelhantes aos relatados anteriormente com exceção dos obtidos pelos coeficientes sugeridos por Bastiaanssen (1995). Destaque para os coeficientes obtidos, com erros inferiores aos apresentados na Tabela 1 e muito inferiores aos apresentados por Allen et al. (2000) e Teixeira et al. (2008). Este último, tentativa-erro (EAM), ganhando destaque, apresentando o menor erro médio quadrático (RMSE) em relação a radiação de onda longa incidente observada. Desta forma, pode-se inferir que os coeficientes da equação sugerida por Bastiaanssen (1995) para a determinação da emissividade atmosférica no cômputo da radiação de onda longa incidente, iguais a 0,02 para multiplicador (“a”) e 0,884 para o expoente (“b”), são mais adequados.

Tabela 2: Erro percentual na estimativa da radiação de onda longa incidente como função da emissividade atmosférica estimada e das observações.

	Coef. da ϵ_a		Rad_longa_inc (W.m-2)					
	b	a	1/ago	14/jun	29/mai	Média		
Allen	0,090	0,850	333,4	339,9	345,5	339,6		
Bastiaanssen	0,265	1,080	337,3	360,6	353,0	350,3		
Teixeira	0,103	0,942	363,3	371,6	376,8	370,6		
Tent_Erro (EAM)	0,020	0,884	379,9	379,9	392,1	384,0		
Observado			376,5	386,3	383	381,9		
Erro Absoluto %							Máx	RMSE
Allen	0,090	0,850	11,4	12,0	9,8	11,1	12,0	42,5
Bastiaanssen	0,265	1,080	10,4	6,7	7,8	8,3	10,4	32,1
Teixeira	0,103	0,942	3,5	3,8	1,6	3,0	3,8	12,0
Tent_Erro (EAM)	0,020	0,884	0,9	1,7	2,4	1,6	2,4	6,7

Na Tabela 3 é apresentado o resultado da estimativa da radiação de onda longa incidente pelo SEBAL/METRIC aplicado a imagens TM – Landsat 5. Observa-se que o erro absoluto máximo observado na estimativa da radiação de onda longa incidente pelo METRIC calibrado foi de 2,45% para o dia 24/08/06 sendo inferior no mês de julho, 1,22%. Para o METRIC, utilizando os coeficientes determinado por Allen et al. (2000) o erro variou de 9,45% a 13,28%. O menor EAM foi encontrado para os resultados apresentados pelo METRIC com os coeficientes da emissividade calibrado para as condições locais, 1,88%. O mesmo ocorre na análise do erro médio quadrático. A aplicação dos coeficientes determinados

por Teixeira et al. (2008) também resultaram em resultados muito satisfatórios na estimativa da radiação de onda longa incidente.

Tabela 3: Análise dos resultados da estimativa da radiação de onda longa incidente sobre a cultura da cana-de-açúcar na bacia do Baixo Jaguaribe mediante o METRIC aplicado a imagens TM - Landsat 5.

	Coef. da ϵ_a		Rad. Longa Incidente ($W.m^{-2}$)			Média	
	b	a	22/jul	8/ago	24/ago		
Allen	0,090	0,850	338,2	335,0	346,8	340,00	
Bastiaanssen	0,265	1,080	351,6	345,5	357,0	351,37	
Teixeira	1,103	0,942	369,2	365,6	378,4	371,07	
Tent. Erro (EAM)	0,020	0,884	381,1	378,7	392,4	384,07	
Observados			376,5	386,3	383	381,93	
	Erro %						RMSE
Allen	0,09	0,85	10,17	13,28	9,45	10,97	42,46
Bastiaanssen	0,265	1,080	6,61	10,56	6,79	7,99	31,41
Teixeira	1,103	0,942	1,93	5,37	1,19	2,83	12,96
Tent. Erro (EAM)	0,02	0,884	1,22	1,97	2,45	1,88	7,47

Tendo-se em vista que o erro instrumental advindo das medições com “instrumentos calibrados” são na ordem de 2,5%, verifica-se que o erro na estimativa desse componente através do SEBAL/METRIC está contido no erro instrumental das medições, podendo-se admitir que o SEBAL/METRIC calibrado aplicado a imagens TM – Landsat 5 representa fielmente a distribuição espacial da radiação de onda longa incidente para a região da Bacia do Baixo Jaguaribe, no Semiárido brasileiro.

CONCLUSÕES

Houve melhoria significativa resultante do processo de calibração do SEBAL/METRIC como função da correção dos coeficientes da emissividade atmosférica para a estimativa da radiação da onda longa incidente para a região da Bacia do Baixo Jaguaribe. O SEBAL/METRIC calibrado para condições de clima vigentes na bacia do Baixo Jaguaribe se mostrou mais preciso e proporciona melhoria na determinação do saldo de radiação a superfície em escala regional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G., HARTOGENSIS, O., AND DE BRUIN, H. “Long-wave radiation over alfalfa during the RAPID field campaign in southern Idaho.” **Research Report**, Kimberly, Univ. of Idaho, Id, 2000.
- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. .SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- BASTIAANSEN, 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. 1998a
- SILVA, B. B. da ; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, SP, v.14, p.1- 10, 2006.
- TEIXEIRA, A.H. C., BASTIAANSEN, W.G.M., AHMAD, M.D., BOS, M.G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, 2008.