

Obtenção do albedo e IVDN em áreas heterogêneas do estado do Ceará com imagens TM - Landsat 5 e algoritmo SEBAL/METRIC

Bernardo Barbosa da Silva¹
Rosimary Ramos de Oliveira Mendonça¹
Saulo Tasso Araújo Silva¹
Bergson Guedes Bezerra¹

¹ Universidade Federal de Campina Grande – UFCG
Programa de Pós-graduação em Meteorologia
Av. Aprígio Veloso, 822. Campina Grande, PB – 58109-970
bernardo@dca.ufcg.edu.br

Abstract: The main objective of this study was the determination of the surface albedo and IVDN based on spectral bands of TM - Landsat 5 and some data obtained in a meteorological station located into the area. The study area is located in Ceará State, involving the city of Quixeré (5 ° 04'27 "S, 37 ° 59'19" W). Six TM - Landsat 5 images, comprising irrigated and native vegetation areas on 24th October 2005, 28th January, 23th July, 8th and 24th August 2006, and 28th September 2007, were used. The Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) proposed by Bastiaanssen (1995) and improved by Allen et al. (2007) and Tasumi (2006), were used for obtaining the surface albedo. Data from a field experiment, conducted from August 2005 to September 2006, at Farm Frutacor, were used to validate albedo obtained with SEBAL/METRIC. The impact of atmospheric correction in IVDN and albedo was evaluated with the Student's test. The albedo calculated by METRIC method showed great agreement with measurements of surface, with an estimating standard error equal to 0.01. It was found a significant difference between the albedo obtained from atmospheric correction for each spectral band, when compared to the other methods that consider the atmospheric correction in the solar radiation spectrum. The results showed a significant difference between the IVDN with and without atmospheric correction, for all days and six selected areas with different types of vegetation cover.

Palavras-chave: radiância espectral, albedo planetário, transmissividade atmosférica

1. Introdução

Quando da efetivação do balanço de radiação com o SEBAL/METRIC, ou em diversos experimentos agrometeorológicos com cultivos irrigados, faz-se necessário à determinação do albedo, definido como a razão entre a radiação solar refletida e a radiação solar incidente em dado instante. Essa importante propriedade da superfície varia com o ângulo zenital do Sol, morfologia do cultivo, condições de umidade do solo, particularmente quando uma fração do mesmo não está coberta pela cultura, e tem sido objeto de estudos de diversos grupos de pesquisadores.

O albedo da superfície é um parâmetro muito importante, pois o seu monitoramento global possibilita identificar importantes alterações que ocorrem em diversos biomas do nosso planeta, resultantes de processos naturais e/ou antropogênicos. Por essa razão, em alguns programas globais têm sido geradas imagens de satélite que propiciam a determinação do albedo e diferentes índices de vegetação, que são imprescindíveis ao monitoramento ambiental do nosso planeta.

Este trabalho tem como objetivo principal mapear o albedo de áreas de vegetação nativa (Caatinga) e áreas irrigadas do Distrito Irrigado Jaguaribe - Apodi, mediante imagens obtidas com o Mapeador Temático do satélite Landsat 5 e diferentes metodologias de correção atmosférica. Dados do albedo medido à superfície, durante um ano de medições em pomar de bananeiras, localizado no município de Quixeré - CE, são usados para identificar o método mais preciso. A pesquisa objetiva, ainda, avaliar o impacto da correção atmosférica na refletividade das bandas espectrais usadas no cômputo do IVDN, muitas vezes usado sem a mencionada correção.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de Estudo

O Estado do Ceará localiza-se na Região Nordeste do Brasil (NEB), possui uma área territorial de 148.825,6 Km² (IBGE, 2008), limita-se a oeste com o Estado do Piauí, ao sul com Pernambuco, a leste com os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, e ao norte com o Oceano Atlântico. A área de estudo compreende parte da bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, formada pelo DIJA (Distrito Irrigado Apodi-Jaguaribe), áreas de vegetação nativa e diversos pomares irrigados com bananeiras, mamoeiros e meloeiro, principalmente, localizados no município de Quixeré (5°04'27"S; 37°59'19"W; 130m). Este município pertence ao Estado do Ceará e possui uma área de 15.225 km².

O clima do município de Quixeré é tropical quente semi-árido e, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo BSw'h'. A temperatura média anual é de 28,5°C, sendo de 22,5°C e 35,3 °C as médias anuais das temperaturas mínima e máxima, respectivamente. A estação chuvosa situa-se entre os meses de fevereiro a maio, com média pluviométrica anual de 877,7mm e umidade relativa média anual de 62%. O recorte da imagem da área de estudada resultou num retângulo com as coordenadas, para o canto superior esquerdo 5° 03' 42"S e 38° 02' 24"W e, 5° 15' 06"S e 37° 48' 39" W para o canto inferior direito, correspondendo a 747 x 620 pixels e uma área de aproximadamente 41.683 ha.

2.2 Dados obtidos

Os dados necessários à obtenção do albedo em superfície foram obtidos de um experimento de campo instalado no município de Quixeré - CE, mais precisamente na fazenda Frutacor, localizada às margens da rodovia CE-377. Nesta área foram efetuadas medidas da radiação solar incidente e da radiação solar refletida pelo bananal com dois piranômetros modelo CM3 (Keep Zonnen, The Netherlands). A temperatura e umidade relativa do ar foram medidas com um equipamento modelo HMP24C e pressão atmosférica com barômetro analógico modelo CS105 (Campbell Scientific, Logan, USA). Todos esses dados foram coletados em sistema de aquisição de dados (CR23X da Campbell Scientific, Logan, USA) programado para coleta de dados a cada 5 segundos e extração de médias a cada 20 minutos. Essas medições são utilizadas para caracterizar os ciclos diurno e sazonal do albedo do pomar de bananeiras ao longo de um ano de medições (agosto de 2005 a setembro de 2006), bem como alimentar os modelos usados para correção atmosférica, além de validação do albedo obtido por diferentes procedimentos usando técnicas de sensoriamento remoto com imagens do TM - Landsat 5 e o albedo medido à superfície.

2.3 Obtenção e tratamento das imagens

Para alcançar os objetivos da pesquisa foram utilizadas seis imagens da área de estudo, captadas pelo sensor TM - Landsat 5, que foram adquiridas junto à Divisão de Geração de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Essas imagens correspondem à órbita 216 e ponto 64, e as datas de sua obtenção, assim como informações referentes ao horário, ângulo de elevação e distância relativa Terra-Sol, constam da Tabela 1.

A seguir são descritas as etapas do processamento do SEBAL-METRIC no recorte da imagem órbita/ponto 216/64, objetivando a obtenção do albedo da superfície com os três diferentes métodos (Allen, Idaho e METRIC) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada com e sem correção atmosférica.

2.3.1 Radiância espectral

É o processo de calibração radiométrica, no qual o Número Digital (*ND*) de cada pixel da imagem original foi convertido em *Radiância espectral monocromática* ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$). Para a sua realização foi usada expressão proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda,b} = a_i + \frac{(b_i - a_i)}{255} \cdot ND \quad (1)$$

onde a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima, respectivamente ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$) para o TM - Landsat 5, conforme Tabela 2; ND é o número digital do pixel (número inteiro de 0 a 255) e i representa cada uma das 7 bandas do TM - Landsat 5.

Tabela 1: Dados das imagens captadas pelo TM - Landsat 5, dia e horário da captação, dia sequencial do ano (DSA), quadrado da distância relativa Terra-Sol e ângulos de incidência.

Data de obtenção da imagem	DSA	Horário		dr	Ângulos (°)	
		UTM	Local		E	Z
24/out/2005	297	12:29:24	9:29:24	1,0129	63,79	26,21
28/jan/2006	28	12:31:12	9:31:12	1,0292	55,98	34,02
23/jul/2006	204	12:34:12	9:34:12	0,9692	50,63	39,37
8/ago/2006	220	12:34:48	9:34:48	0,9740	53,09	36,90
24/ago/2006	236	12:34:48	9:34:48	0,9800	53,42	33,90
28/set/2007	271	12:29:34	9:29:34	0,9884	63,07	26,93

Tabela 2: Descrição dos canais do TM - Landsat 5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b), irradiâncias espectrais no topo da atmosfera ($ESUN_{\lambda}$) e coeficientes de regressão linear de cada banda para o cômputo do albedo do topo da atmosfera (TOA).

Bandas	Faixa e descrição das bandas espectrais (μm)	Coeficientes de calibração ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)		$ESUN_{\lambda}$ ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)	$w_{\lambda i}$
		a	b		
1	0,45 – 0,52 (Azul)	- 1,52	193,0	1957	0,293
2	0,52 – 0,60 (Verde)	- 2,82	365,0	1826	0,274
3	0,63 – 0,69 (Vermelho)	- 1,17	264,0	1554	0,233
4	0,76 – 0,90 (IV Próximo)	- 1,51	221,0	1036	0,157
5	1,55 – 1,75 (IV Médio)	- 0,37	30,2	215,0	0,033
6	10,4 – 12,5 (IV Termal)	1,2378	15,303	---	---
7	2,08 – 2,35 (IV Médio)	- 0,15	16,5	80,67	0,011

Fonte: Chander & Markham, (2003) e Allen *et al.* (2002).

2.3.2 Reflectância Planetária

Essa etapa representa o cálculo da reflectância monocromática planetária de cada banda, definida pela razão entre a integração hemisférica da radiância monocromática e a irradiância solar monocromática incidente em cada pixel:

$$\rho_{\lambda,b} = \frac{\pi L_{\lambda,b}}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos Z \cdot dr} \quad (2)$$

onde $L_{\lambda,b}$ é a radiância espectral ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); $ESUN_{\lambda}$ é a irradiância solar espectral associada a cada banda do TM - Landsat 5, no topo da atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$), constante na Tabela 2; Z é o ângulo zenital do Sol, obtido através do cabeçalho da imagem e dr é o inverso

do quadrado da distância relativa Terra-Sol em unidade astronômica para cada dia específico do ano, que foi calculado pela expressão (Iqbal, 1983):

$$dr = 1 + 0,033 \cos \left(DSA \cdot \frac{2\pi}{365} \right) \quad (3)$$

em que DSA representa o dia seqüencial do ano.

2.3.3 Albedo planetário

Após a obtenção da refletância espectral planetária de cada uma das seis bandas reflectivas do TM - Landsat 5, foi obtido o albedo no topo da atmosfera – α_{plan} ; portanto, sem qualquer correção atmosférica e segundo a seguinte equação:

$$\alpha_{plan} = W_{\lambda_1} \cdot \rho_{\lambda_1} + W_{\lambda_2} \cdot \rho_{\lambda_2} + W_{\lambda_3} \cdot \rho_{\lambda_3} + W_{\lambda_4} \cdot \rho_{\lambda_4} + W_{\lambda_5} \cdot \rho_{\lambda_5} + W_{\lambda_7} \cdot \rho_{\lambda_7} \quad (4)$$

em que ρ_{λ_i} representam a reflectância planetária da banda i e w_{λ_i} os pesos de cada banda na composição do albedo planetário, sendo igual a razão entre o $ESUN_{\lambda}$ e o somatório de todos os $ESUN_{\lambda}$.

2.3.4 Albedo da Superfície

O albedo da superfície ou o albedo corrigido os efeitos atmosféricos, foi obtido segundo três procedimentos.

2.3.4.1 Método 1 (Albedo Allen)

Esse método de cálculo do albedo da superfície – α_{sup} se baseou na equação utilizada por Bastiaanssen (2000), qual seja:

$$\alpha_{sup} = \frac{\alpha_{plan} - \alpha_{atm}}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

onde α_{plan} representa o albedo planetário; α_{atm} é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera (que neste trabalho considerou-se 0,03); e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica para radiação de onda curta em condições de céu claro, que de acordo com Allen *et al.* (2002) pode ser obtida por:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} \cdot MED \quad (6)$$

em que MED representa a altitude (m) de cada pixel, extraída de Modelo de Elevação Digital.

2.3.4.2 Método 2 (Albedo Idaho)

Esse método de obtenção do albedo corrigido utiliza metodologia adotada por Trezza (2002) e Tasumi (2003), no cálculo da transmissividade atmosféricas, sendo necessárias medidas de pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, usadas na quantificação da água precipitável da atmosfera e pressão parcial do vapor de água. A transmissividade atmosférica é obtida de acordo com a seguinte expressão:

$$\tau_{sw} = K_B + K_D \quad (7)$$

em que K_B é o índice de turbidez atmosférica para a radiação solar direta e K_D é o índice de turbidez associada à radiação solar difusa ASCE-EWRI (2005).

2.3.4.3 Método 3 (Albedo METRIC)

No METRIC a reflectância espectral planetária é corrigida banda a banda, diferentemente das versões anteriores do SEBAL. No entanto, faz-se uso da Equação 5, e determinam-se os efeitos da atmosfera na geração de sua refletância monocromática (banda a banda), e as transmissividades atmosféricas correspondentes aos fluxos de radiação solar

monocromático incidente e fluxo de radiação solar monocromática refletida ascendente, conforme expressão abaixo (Allen et al., 2007; Tasumi, 2003):

$$\rho_{sup,b} = \frac{(\rho_{\lambda,b} - \rho_{atm,b})}{\tau_{inc,b} \cdot \tau_{asc,b}} \quad (8)$$

onde $\rho_{sup,b}$ é a refletividade à superfície da banda b ; $\rho_{\lambda,b}$ é a refletividade planetária (no topo da atmosfera) calculada pela Equação 2; $\rho_{atm,b}$ é a refletância atmosférica, adquirida através da Equação 11, que será detalhada mais adiante; $\rho_{inc,b}$ é a transmissividade atmosférica relativa à radiação solar incidente na superfície e $\rho_{asc,b}$ é a transmissividade relativa à radiação refletida pela superfície, obtidos para cada banda b (1, 2, 3, 4, 5 e 7 do TM - Landsat 5), individualmente.

A *transmissividade incidente* ($\tau_{inc,b}$) foi obtida por expressão proposta em Tasumi *et al.* (2006):

$$\tau_{inc,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \cos Z} - \frac{C_3 \cdot W + C_4}{\cos Z} \right] + C_5 \quad (9)$$

onde C_1 , C_2 , C_3 , C_4 e C_5 são coeficientes providos através de modelo de transferência radiativa, determinados para cada banda espectral b (Allen et al., 2007); P_{atm} é a pressão atmosférica média (KPa); W é a água precipitável na atmosfera (mm); Z é o ângulo zenital solar e k_t é o coeficiente de turbidez atmosférica.

A *transmissividade ascendente* ($\tau_{asc,b}$) foi obtida pela seguinte expressão:

$$\tau_{asc,b} = C_1 \exp \left[\frac{C_2 \cdot P_{atm}}{k_t \cdot \cos \eta} - \frac{C_3 \cdot W + C_4}{\cos \eta} \right] + C_5 \quad (10)$$

em que η representa o ângulo zenital do sensor, que no caso do TM - Landsat 5 é muito próximo de 0.

Após o cômputo das transmitâncias atmosféricas incidente e ascendente, foi efetivado o cálculo da reflectância atmosférica ($\tau_{atm,b}$), mediante uso da equação (Allen et al., 2007; Tasumi, 2003):

$$\rho_{atm,b} = C_{\lambda,b} (1 - \tau_{inc,b}) \quad (11)$$

em que C_{λ} é um parâmetro determinado para cada banda b do sensor TM. O albedo da superfície, corrigido segundo o METRIC, foi computado através da combinação linear expressa pela Equação 4, com as reflectâncias monocromáticas obtidas pela Equação 8 e pesos (W_b) constantes em Allen *et al.* (2007).

2.3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN)

O IVDN (*Índice de Vegetação por Diferença Normalizada*) tem sido usado no SEBAL para obter a emissividade de cada pixel e, então, a temperatura da superfície. O cálculo do IVDN foi obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo ($\rho_{\lambda 4}$) e do vermelho ($\rho_{\lambda 3}$), pela soma das mesmas (Allen *et al.*, 2007):

$$IVDN = \frac{\rho_{\lambda 4} - \rho_{\lambda 3}}{\rho_{\lambda 3} + \rho_{\lambda 4}} \quad (17)$$

onde $\rho_{\lambda 3}$ e $\rho_{\lambda 4}$ correspondem às refletâncias das bandas do visível e infravermelho próximo do TM - Landsat 5. Para a obtenção do IVDN corrigido em relação às interferências atmosféricas, foi utilizado a razão entre a diferença da reflectância atmosférica corrigida das bandas 4 e 3, dividida pela soma dessas duas refletâncias, obtida através da Equação (8).

3. Resultados e Discussão

3.1 Validação dos métodos de correção do albedo da superfície

Na Tabela 3 estão representados os valores do albedo obtido com o SEBAL, segundo os três diferentes procedimentos de correção atmosférica. Sistemáticamente, o Método de Idaho foi o que proporcionou as maiores diferenças com as medições de superfície. Já o Método METRIC apresentou maior acurácia e, portanto, as menores diferenças com as medições piranométricas, apresentando *Erro padrão da estimativa* de apenas 0,0100, o que evidencia a precisão da técnica. É importante destacar que as condições atmosféricas que afetam a transmissividade da atmosfera podem mudar até mesmo ao longo de um dia e que as correções efetivadas consideram apenas a contribuição do vapor d'água atmosférico e turbidez provocada por aerossóis. Nesse sentido, as diferenças existentes entre o METRIC e as medições, embora pequenas, devem resultar da existência de alguma turbidez e outros efeitos não contemplados na técnica. Quanto ao Método de Allen, as diferenças são maiores que as do METRIC, mas não chegam a ser expressivas, uma vez que o *Erro padrão da estimativa* foi de apenas 0,0187. Portanto, quando não for possível o uso da correção banda a banda, a utilização apenas da altitude, conforme proposto no Método de Allen, pode resultar em estimativas com precisão aceitável em muitas aplicações. Ademais, uma vantagem no uso dessa técnica de correção, é que a mesma pode ser aplicada a cada pixel de uma imagem TM – Landsat 5 com auxílio de Modelo de Elevação Digital - MED que pode ser obtido gratuitamente na internet.

Tabela 3: Albedo obtido com os métodos de correção atmosférica de Allen, Idaho e METRIC no pomar de bananeiras na Fazenda Frutacor, e albedo medido com piranômetros num mesmo talhão do pomar.

Datas	Métodos de correção			Albedo medido
	Allen	Idaho	METRIC	
24/outubro/2005	0,184	0,187	0,176	0,164
28/janeiro/2006	0,173	0,182	0,166	0,160
23/julho/2006	0,172	0,183	0,169	0,157
08/agosto/2006	0,171	0,178	0,165	0,162
24/agosto/2006	0,176	0,185	0,169	0,162
28/setembro/2007	0,178	0,176	0,164	0,160
Erro Padrão	0,0187	0,0261	0,0100	–

Uma vez identificado o método de correção atmosférica de maior acurácia, foram elaborados mapas do albedo derivados das seis imagens do TM - Landsat 5 com o Método METRIC. Devido a limitação de espaço, é apresentado apenas um dos mapas obtidos. Como pode ser observado na Figura 1, predominam na área de estudo duas classes de albedo: de 14 - 16% e 16 - 18 %; entretanto, no canto superior esquerdo do mapa percebe-se a predominância de classes de albedo entre 22 e 26%. Pode-se notar que no DIJA se destacam os pivôs centrais, compreendendo com maior cobertura as classes de 16 - 22% e de 22 - 24%, aparecendo também em menor proporção à classe de albedo entre 26 - 30%. Na Fazenda Frutacor há uma predominância da classe de albedo variando de 16 a 18%, enquanto que no plantio de melão irrigado predomina a classe de albedo de 22 - 24%. O leito do rio Jaguaribe evidencia a presença da água, com albedo em geral inferior aos 10% e a presença de albedo com valores superiores a 28%, provavelmente associada à presença de bancos areia.

Tabela 4: Valores médios do IVDN e IVDNcorrigido para toda a área de estudo e as Diferenças Relativas Médias (DRM) do IVDN com e sem correção para os dias selecionados.

	Período de estudo						Média
	24/out/05	28/jan/06	23/jul/06	8/ago/06	24/ago/06	28/set/07	
IVDN	0,622	0,673	0,732	0,697	0,691	0,668	11,8
IVDN _{corrigi}	0,696	0,767	0,838	0,794	0,788	0,748	
DRM (%)	10,6	12,3	12,6	12,2	12,3	10,7	

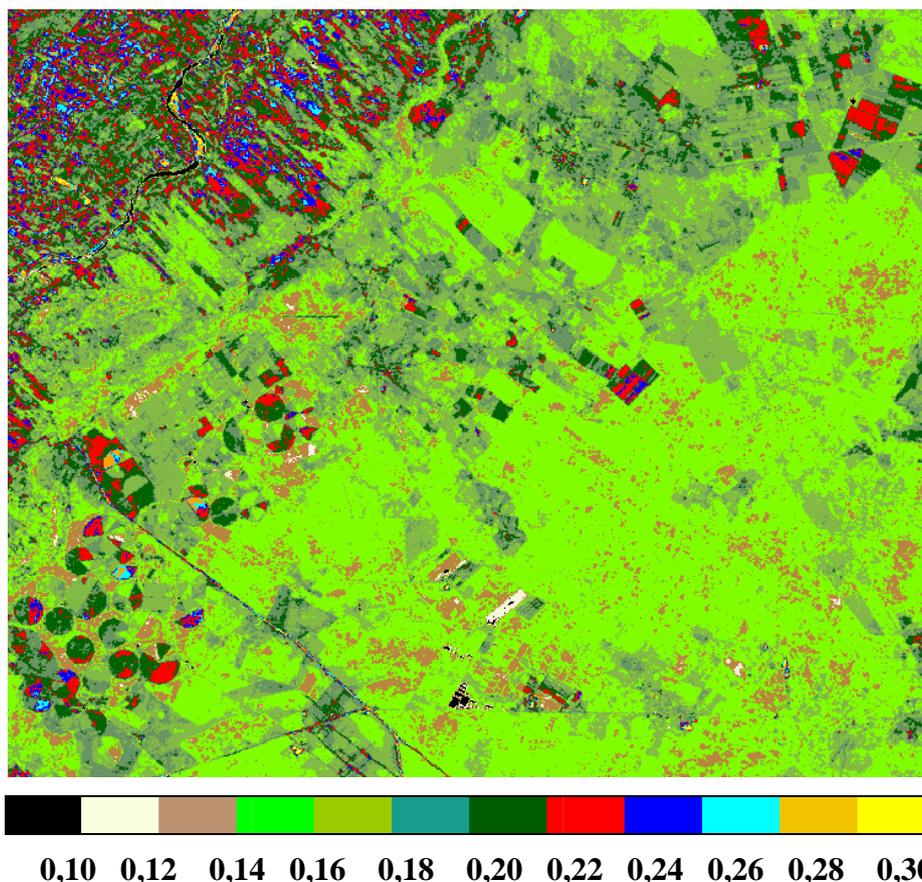


Figura 1: Mapa do albedo pelo método METRIC para o dia 24 de outubro de 2005

Na Tabela 4 estão representados os valores do IVDN com e sem correção atmosférica para toda a área de estudo em relação aos dias selecionados. Os valores corrigidos apresentaram valores superiores aos do IVDN sem correção para todos os dias analisados, com Diferença Relativa Média de 10,6% para o dia 24 de outubro de 2005, 12,3% para o dia 28 de janeiro de 2006, 12,6%; 12,2% e 12,3% para 23 de julho, 8 de agosto e 24 de agosto de 2006, respectivamente e de 10,7% para o dia 28 de setembro de 2007.

Em todos os casos analisados, o $t_{\text{calculado}}$ foi superior aos $t_{\text{crítico}}$, para os níveis de significância adotados no estudo. Portanto, conclui-se que em todas as seis áreas e dias estudados houve diferença significativa entre o IVDN e o IVDN_{corrigido}. Deste modo, fica evidenciado que a correção atmosférica afeta significativamente o valor do IVDN, fato já comprovado em outros estudos.

4. Conclusões

A correção atmosférica afeta significativamente os valores do albedo superficial e do IVDN; o albedo superficial, segundo o Método METRIC, apresentou grande precisão, confirmada por comparação com medidas piranométricas; a correção atmosférica banda a banda resulta em melhores estimativas do albedo e IVDN. Para $\alpha = 0,05$, houve uma diminuição do número de aceitação da Hipótese Nula – H_0 em virtude do aumento da área de rejeição da mesma. O aceite de H_0 ocorreu apenas nos alvos 5, de 24 de outubro de 2005; 3 de 23 de julho de 2006 e nos alvos 2, 3 e 5 de 28 de setembro de 2007. Ou seja, em apenas 5 dos 108 casos analisados, indicando que em 94,4% dos casos houve diferença significativa entre os métodos de obtenção do albedo para os métodos de Allen x Idaho. A correção atmosférica aplicada às bandas no domínio vermelho e infravermelho próximo, produz diferenças significativas entre o IVDN com e sem correção atmosférica, segundo o teste de Student, para $\alpha = 0,05$.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa ao primeiro autor, pelo financiamento da pesquisa – Proc. 474514-2006-4 e bolsa de estudo aos demais autores.

5. Referências Bibliográficas

- Allen, R.; Bastiaanssen, W.; Waters, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho implementation - Advanced training and users manual, version 1.0**, 2002. 97p.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. **Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model**. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, Reston, v.133, n.395, p.380-394, 2007a.
- ASCE-EWRI. **The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE-EWRI Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee Rep.**, ASCE, 2005.
- Bastiaanssen, W, G, M. Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain – Ph. D. A Remote Sensing Approach Under Clear Skies in Mediterranean Climates, Thessis, Wageningen Agricultural University, The Netherlands, 273, 1995.
- 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.
- Chander, G.; Markham, B. **Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges**. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING. v. 41. n. 11. 2003.
- Markham, b. L. & Barker, J. B. **Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances**. International Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.
- IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. New York: Academic Press. 1983. 212p.
- Tasumi, M.; Trezza, R.; Allen, R, G.; Wright, J. L. U.S. Validation Test on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite, ICID Workshop on Remote Sensing of Evapotranspiration for Large Regions, 17 sep 2003.
- Trezza, R. **Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control**. 247 f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering - Ph.D.). Utah State University, Logan, Utah, 2002.