

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO DE UMA
FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO
POR SENSORIAMENTO REMOTO**

HELOISA OLIVEIRA MARQUES

**PROF. DR. MARCELO SACARDI BIUDES
ORIENTADOR**

Cuiabá – MT, Fevereiro de 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO DE UMA
FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO
POR SENSORIAMENTO REMOTO**

HELOISA OLIVEIRA MARQUES

*Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Física Ambiental da
Universidade Federal de Mato Grosso,
como parte dos requisitos para obtenção
do título de Mestre em Física Ambiental.*

**PROF. DR. MARCELO SACARDI BIUDES
ORIENTADOR**

Cuiabá – MT, Fevereiro de 2015

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

M357e Marques, Heloisa Oliveira.

Estimativa do Saldo de Radiação de uma Floresta de Transição
Amazônia-Cerrado por Sensoriamento Remoto / Heloisa Oliveira

Marques. -- 2015

xvi, 53 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Marcelo Sacardi Biudes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física
Ambiental, Cuiabá, 2015.

Inclui bibliografia.

1. Albedo. 2. NDVI. 3. Temperatura de Superfície. 4. SEBAL. I.
Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO DE UMA
FLORESTA DE TRASIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO POR
SENSORIAMENTO REMOTO

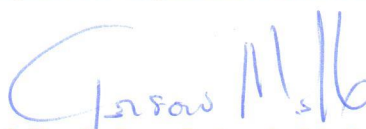
AUTORA: HELOISA OLIVEIRA MARQUES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 24 de fevereiro de 2015, pela
comissão julgadora:


Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes
Orientador

Instituto de Física – UFMT


Profa. Dra. Flávia Maria de Moura Santos
Examinadora Externa
Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia – UFMT


Prof. Dr. Geison Jader de Mello
Examinador Externo
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFMT

DEDICATÓRIA

Eu dedico este trabalho a Deus, à minha família – minha mãe Vanda de O. Marques, ao meu pai Irahi J. Marques, à minha irmã Glauce O. Marques e ao querido Giovanny P. Agnese pela força e todo o carinho.

AGRADECIMENTOS

- À Deus, Arcanjos e Anjos e aos Mestres Sagrados pela força e sabedoria;
- Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes pela paciência, disposição, ajuda, orientações e sugestões durante o desenvolvimento do trabalho;
- A Professora Dra. Nadja Machado pela confiança, paciência, disposição e ajuda na realização do trabalho;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela grande dedicação, incentivo e empenho em poder tornar esta pós-graduação referência e conceituada no Brasil e no Estado de Mato Grosso;
- Aos Professores da banca e a todos os Professores que ajudaram nessa jornada;
- Ao Prof. Dr. Bernardo Barbosa Silva pelo curso ministrado no Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, por proporcionar o conhecimento das geotecnologias;
- À Instituição de Ensino Charles Babbage – Uniorka por todo aprendizado e crescimento profissional adquiridos;
- Aos amigos desde a graduação e na pós-graduação: Marcos Fausto, Hozana Silva, Victor Hugo D. de Moraes, Máisa C. S. Velasque, ao Rafael Palácios, Anna Carolinna, e a todos que ajudaram no decorrer da realização desse trabalho;
- Às amigas Eliandra Meurer, Ana Silvia Tissiani, Larissa Tissiani, Priscila Bastituta, Ademir Ajala, e todos os amigos da Escola Carmelitana de Jesus, pela ajuda nos momentos difíceis;
- Aos meus amigos Terapeutas do IPA e ao IPCBÁ;
- Aos técnicos e amigos Cesário Filho e Soilce Beatriz Carrilho, e à nossa querida Jesulina de Farias, pelo bom andamento, organização do Departamento do Programa de Pós-graduação de Física Ambiental;
- À CNPq pelo auxílio financeiro;
- E a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão do presente trabalho, com muita gratidão e amor!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	XII
RESUMO	XV
ABSTRACT.....	1
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA	1
1.2. JUSTIFICATIVA	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO	3
2.2. GEOTECNOLOGIAS.....	5
2.2.1 SENSORES E SATÉLITES	5
2.2.2 SEBAL (SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHM FOR LAND)...	8
2.3. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO, ALBEDO E TEMPERATURA	9
2.3.1. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	9
2.3.2. ALBEDO DE SUPERFÍCIE.....	10
2.3.3. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	11
2.4. SALDO DE RADIAÇÃO	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. ÁREA DE ESTUDO	15
3.2. INSTRUMENTAÇÃO.....	16
3.2.1. MEDIÇÕES MICROMETEOROLÓGICAS	16
3.2. ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO PELO SEBAL ...	18

3.3.2. REFLETÂNCIA MONOCROMÁTICA	19
3.3.3. ALBEDO PLANETÁRIO OU NO TOPO DA ATMOSFERA	20
3.3.4. ALBEDO DA SUPERFÍCIE	20
3.3.5. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	21
3.3.6. EMISSIVIDADE	22
3.3.7. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	22
3.3.8. RADIAÇÃO DE ONDA LONGA EMITIDA PELA SUPERFÍCIE	23
3.3.9. RADIAÇÃO DE ONDA CURTA INCIDENTE NA SUPERFÍCIE	23
3.3.1. RADIAÇÃO DE ONDA LONGA INCIDENTE PELA ATMOSFERA.....	24
3.3.1. SALDO DE RADIAÇÃO	24
3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. ANÁLISE DO MICROCLIMA	26
4.2. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, ALBEDO DE SUPERFÍCIE E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE	30
4.3. SALDO DE RADIAÇÃO POR MEIO DAS IMAGENS TM LANDSAT 5.....	33
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área de estudo, na Fazenda Maracaí, aproximadamente a 60 km de Sinop.	15
Figura 2. Torre da área de estudo com 42 metros de altura, a floresta, o net radiômetro e o datalogger na Fazenda Maracaí, em Sinop. Fonte: ARRUDA (2011).	17
Figura 3. Torre da área de estudo com 42 metros de altura, na Fazenda Maracaí, em Sinop. Fonte: ARRUDA (2011).....	17
Figura 4. Diagrama das etapas do processamento do SEBAL para a obtenção do saldo de radiação usando imagens TM Landsat 5.....	18
Figura 5. (a) Precipitação e Temperatura do Ar, (b) Média mensal da Umidade Relativa do Ar (%) da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.	27
Figura 6. (a) Umidade Relativa (%) instantânea e (b) Umidade Relativa média diária da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.	28
Figura 7. (a) Radiação Global instantânea ($R_{g_{inst}}$), (b) Radiação Global média diária em 24 horas (R_{g24h}) da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.	29
Figura 8. (a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), (b) Albedo e (c) Temperatura de Superfície da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.....	31
Figura 9. (a) Saldo de Radiação instantâneo medido ($R_{n_{inst} M}$) e estimado ($R_{n_{inst} E}$), (b) Saldo de Radiação médio diário em 24 horas medido ($R_{n24h M}$) e estimado ($R_{n24h E}$) da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.	34
Figura 10. Relação entre o saldo de radiação instantâneo medido e estimado na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.....	35
Figura 11. Relação entre o saldo de radiação diário medido e estimado na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Esquema dos satélites da família Landsat.	6
Tabela 2. Características Espectrais para cada banda do Landsat 5.....	7
Tabela 3. Constante de calibração do TM Landsat 5 para cálculo da radiância e refletância banda-a-banda.	19
Tabela 4. Estatística descritiva para os índices de vegetação, albedo e temperaturas.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Landsat	Programa de satélite de observação da Terra
TM	Thematic Mapper
FM	Fazenda Maracaí
R _n	Saldo de Radiação Instantâneo
R _n *	Saldo de Radiação Instantâneo Estimado
R _n 24h	Saldo de Radiação em 24 horas
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
MSS	Multispectral scanner
ETM	Enhanced Thematic Mapper
OLI	Operational Land Imager
RBV	Return Beam Vidicon
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
R _g	Radiação Solar Global
BOC	Balanço de Radiação de Onda Curta
BOL	Balanço de Radiação de Onda Longa
R _{s↓}	Radiação de Onda Curta Incidente
REM	Radiação Eletromagnética
α	Albedo da superfície
R _{L↓}	Radiação Incidente pela Atmosfera
R _{L↑}	Radiação Emitida pela Superfície
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
ε	Emissividade do Corpo
Aw	Classificação Climática de Köppen
T _a	Temperatura do Ar
U _r	Umidade Relativa do Ar
R _{ol, inst↑}	Radiação de Onda Longa Emitida pela Superfície
ND	Número Digital
L _{λi}	Radiância Espectral
a	Radiância Espectral Mínima

b	Radiância Espectral Máxima
$\rho_{\lambda i}$	Reflectância em Cada Banda Espectral
$K_{\lambda i}$	Irradiância Solar Espectral em Cada Banda
Z	Ângulo Zenital
d_r	Distancia Média Terra-Sol
α_{plan}	Albedo do Topo da Atmosfera
w_p	Razão entre as irradiância de cada banda pela reflectância
T_{sw}	Transmissividade Atmosférica
ρ_4	Reflectância da banda 4
ρ_5	Reflectância da banda 5
L	Constante de Ajuste ao Solo
ϵ_0	Emissividade da Superfície
ϵ_{nb}	Emissividade no Domínio Espectral do Termal
T_s	Temperatura da Superfície
$L_{\lambda,6}$	Banda do Termal
K_1	Constante de Calibração da Banda Termal
K_2	Constante de Calibração da Banda Termal
S	Constante Solar
P	Pressão Atmosférica
W	Água Precipitável
K_t	Coeficiente de Turbidez
T_{24h}	Transmissividade Atmosférica em 24 horas
MAE	Erro Médio Absoluto
MAPE	Erro Médio Percentual
REQM	Raiz do Erro Médio Quadrático Médio
r	Coeficiente de Correlação de Person
d	Coeficiente de Willmott
c	Índice de Confiança ou Desempenho
μm	Micrômetro
R_c	Radiação Difusa
R_d	Radiação Direta
nm	Nanômetro

AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
DGI-INPE	Departamento de Divisão de Imagens do INPE
ha	Hectare
Ppt	Precipitação
W	Watts
V	Volts
sr ⁻¹	Ângulo Sólido
mm	Milímetro

RESUMO

MARQUES, O. H. **Estimativa do saldo de radiação de uma Floresta de Transição Amazônia-Cerrado por sensoriamento remoto**. Cuiabá, 2015, 53p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso.

A Amazônia tem importante papel na biodiversidade, possui a maior extensão de floresta tropical úmida do planeta. Recentemente, o uso das geotecnologias possibilita a identificação em tempo real as alterações que ocorrem na superfície terrestre, resultantes dos fenômenos naturais e vários processos antrópicos. Muitas alterações deste nível podem ser detectadas a partir do monitoramento e determinação das trocas radiativas que se processam à superfície. Neste sentido, o presente estudo objetivou-se a determinar a dinâmica do saldo da radiação à superfície por meio de imagens geradas pelo sensor TM do satélite Landsat 5, em uma Floresta de Transição entre Amazônia e Cerrado, na Fazenda Maracaí, localizada próximo a Sinop – MT; com órbita 226 e 227, ponto 68 para os anos de 2005 a 2008. Foram geradas as cartas para os índices de vegetação, albedo e temperatura da superfície, saldo de radiação instantâneo e médio diário em 24 horas, utilizando o algoritmo SEBAL. Os dados obtidos foram validados com medições realizadas na torre micrometeorológica que estava instalada na área de estudo. Foram selecionadas as imagens para cada ano analisado, para melhor avaliar os fluxos radiativos e as estimativas daquele ambiente. Identificou-se menor valor para o saldo de radiação instantâneo durante o período seco, devido as névoa seca decorrente de queimadas no local. Para o Rn_{inst} e Rn_{24h} à superfície, com relação aos dados medidos, foram obtidos os seguintes erros médios relativos e absolutos com valores de 2,4% e 2,0 %; $18,2 \text{ Wm}^{-2}$ e $14,3 \text{ Wm}^{-2}$; com “r” de 0,938 e 0,604 e “d” de 0,966 e 0,703 respectivamente. De acordo com os resultados obtidos neste trabalho pode-se afirmar que a metodologia para estimativa do Rn foi eficaz.

PALAVRAS-CHAVE: Albedo, NDVI, Temperatura de superfície, SEBAL

ABSTRACT

MARQUES, O. H. **Estimated net radiation Amazon-Cerrado transition forest by remote sensing**. Cuiabá, 2015, 53p. Dissertation (Master of Environmental Physics) - Institute of Physics. Federal University of Mato Grosso.

The Amazon has an important role in biodiversity, has the largest expanse of tropical rainforest in the world. Recently, the use of geotechnologies possible to identify in real time the changes that occur in the Earth's surface, resulting from natural and anthropogenic processes several phenomena. Many changes of this level can be detected by monitoring and determination of radiative exchanges that take place on the surface. In this sense, the present study aimed to determine the dynamics of the balance of radiation to the surface by means of images generated by the satellite Landsat 5 TM sensor in a Transition Forest between Amazon and Cerrado, in Maracaí Farm, located near Sinop - MT; orbit with 226 and 227, paragraph 68 for the years 2005 to 2008 were generated letters to vegetation indices, albedo and surface temperature, instantaneous radiation balance and average daily in 24 hours using the SEBAL algorithm. The data were validated with measurements carried out in micrometeorological tower that was installed in the study area. Images for each year analyzed, to better evaluate the radiative fluxes and estimates that environment selected. One can see smaller value for the balance of instantaneous radiation during the dry season, due to haze resulting from burned on site. For Rn_{inst} and Rn_{24h} the surface with respect to the measured data were obtained the following relative and absolute mean errors with values of 2,4% and 2,0%; $18,2 \text{ Wm}^{-2}$ and $14,3 \text{ Wm}^{-2}$; "r", and 0,604 to 0,938 and "d" of 0.966 and 0.703 respectively. According to the results obtained in this work can be said that the methodology for estimation of Rn was effective.

KEYWORDS: Albedo, NDVI, Surface Temperature SEBAL

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O Brasil é um país com diferentes tipos de vegetação, e, embora estejam teoricamente bem definidas, as áreas de contato entre a Floresta Amazônica e o Cerrado são caracterizadas pela ampla variação climática e do meio físico, sendo que, a estrutura heterogênea proporciona a formação de fitofisionomias diferenciadas, imergidas em distintos pontos ecológicos nas regiões de transição, destacando-se a ampla composição florística.

A caracterização da vegetação em áreas de transições entre o bioma Cerrado e Floresta Amazônica quanto às trocas de energia são essenciais para monitoramento dos processos de interações entre a biosfera e atmosfera. As Florestas Brasileiras são consideradas inclusões das floras amazônicas e atlânticas no Bioma Cerrado, porém, as contribuições da floresta amazônica são mais evidentes do que no restante dos Biomas.

A forma mais presente e detectável de mudanças no ecossistema amazônico tem sido a conversão de florestas de dosséis fechados em campos de pastagens para o agronegócio e a pecuária, as quais são as principais atividades econômicas da região. Evidentemente, tal prática, apesar de representar um expressivo crescimento econômico regional, acaba impactando o meio ambiente, por meio das emissões de gases de efeito estufa, degradação do solo, perda da biodiversidade, e alteração do clima local e regional.

1.2. JUSTIFICATIVA

O sol é o elemento fundamental que exerce influência nos processos atmosféricos, condições do tempo e clima no planeta Terra, aquecimento do solo e

do ar, realização da fotossíntese e evapotranspiração. O Saldo de Radiação (R_n) é essencial para os processos na interface solo-planta-atmosfera, pois define a energia disponível para os processos que ocorrem na superfície.

A determinação do R_n à superfície pode ser feita por vários instrumentos que apresentam boa precisão. Essas medições representam as condições locais onde esses instrumentos são instalados e a sua espacialização tem elevado custo de instalação e manutenção. O conhecimento da variação do Saldo de Radiação de áreas heterogêneas, em escala regional é possível pelo emprego das imagens de sensores remotos, a bordo de satélites e veículos aéreos tripuláveis ou não.

Com o intuito de estimar as trocas de energia da superfície o sensoriamento remoto, alguns algoritmos foram propostos, sendo o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) o que mais se destaca, devido à sua simplicidade nos cálculos e por apresentar boa precisão nas estimativas.

O SEBAL foi desenvolvido para estimar a evapotranspiração da superfície. No entanto, o SEBAL possui etapas intermediárias de estimativa de diversos índices biofísicos como o albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície e o R_n .

Nesse sentido, o objetivo geral deste trabalho foi estimar o saldo de radiação de uma floresta de transição Amazônia-Cerrado por meio de imagens do sensor Thematic Mapper - TM do Satélite Landsat 5. Para isso, os objetivos específicos foram: (I) estimar os Índices de Vegetação, o albedo de superfície e temperatura da superfície; (II) estimar o saldo de radiação instantâneo e diário utilizando o SEBAL e (III) validar os dados estimados, a partir de dados medidos de R_n em uma torre micrometeorológica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. FLORESTA DE TRANSIÇÃO AMAZÔNIA-CERRADO

A Bacia Amazônica possuía aproximadamente 60% de toda a floresta tropical úmida do planeta, e é de fundamental importância para manutenção do clima regional (FEARNSIDE, 2003), pois exerce influência na circulação atmosférica em escala continental. A seca, as ações antrópicas, o desmatamento e as queimadas têm efeitos severos no vigor dos dosséis, que podem ser detectados como mudanças incomuns ou inesperadas (GOBRON et al., 2000).

A floresta de transição tem uma quantidade enorme de espécies (RICKLEFS, 1996), com aproximadamente 5,5 milhões de km² formados por vários estados (CECCON & MIRAMONTES, 1999). A predominância do Cerrado *stricto sensu* na região (DIAS et al., 2008), bem como o ambiente florestal e a ocorrência das florestas estacionais (VELOSO et al., 1991) são devido à sazonalidade climática, cuja pluviosidade anual chega a 2000mm (VOURLITIS et al., 2002; PRADO & GIBBS 1993).

Nos últimos anos, com a expansão da agropecuária na região, a localidade também é conhecida como o arco do desmatamento. As mudanças que estão ocorrendo na composição e estrutura da vegetação nativa desta região ao longo de anos, podem provocar alterações nocivas ao meio, pois a estrutura florística desta área é mais sensível às mudanças climáticas (VOURLITIS et al., 2005; DALMAGRO et al., 2011; MALHI & WRIGHT 2004).

As Florestas Estacionais Brasileiras são classificadas como semidecíduas (ou subcaducifólias), quanto à porcentagem de indivíduos arbóreos desfolhados na estação seca está compreendido entre 20% e 50% do total, e como decíduas (ou caducifólias), quando a porcentagem situa-se acima desta faixa (VELOSO et al. 1991). Que apresentam menos de 20% de indivíduos desfolhados são consideradas

“sempre-verdes” (ou perenifólias)(PEREIRA et al.,2011).

Haidar et al. (2010 a) citam que a área referente ao município de Sinop é classificada como a mais singular em termos florísticos e estruturas em relação às Florestas de Transições, ou seja, foi identificado forte distinção florística e estrutural das áreas de Floresta Estacional Decidual e Semidecidual, situadas no domínio do bioma Cerrado, em relação às áreas de ecótono (Floresta Estacional/Floresta Ombrófila), na região de tensão ecológica (Cerrado e Amazônia) no estado de Mato Grosso (KUNZ et al. 2008).

As taxas das variações florística existentes entre áreas de Floresta Estacional Perenifólia, Semidecidual e Decidual da América do Sul geralmente estão relacionadas com o decréscimo da disponibilidade hídrica em função, devido à variação da sazonalidade da precipitação média anual e da capacidade de retenção hídrica dos solos daquela região, além das associações dos afloramentos de rochas calcárias (OLIVEIRA-FILHO et al., 2006).

Por meio das análises de imagens de satélites, verifica-se a predominância de vegetação com características semidecidual e perenifólia na região, (RATTER et al. 1973; IVANAUSKAS et al. 2008; KUNZ et al. 2009; OLIVEIRA-FILHO et al. 2006; PRADO & GIBBS 1993).Pois, na estação da seca, essas áreas de ecótono demonstram comportamentos de vegetação decidual, conforme salientado por Olmos et al. (2004).

Indiretamente a litologia pode ser um dos fatores que contribuem para a heterogeneidade estrutural dessas áreas de ecótono, como verificado por Felfili et al. (2004), e em áreas de cerrado stricto sensu do Planalto Central,e segundo Oliveira-Filho et al. (2006) para as florestas da América do Sul, e conforme Jirka et al. (2007) em ecossistemas amazônicos.

Outra característica marcante que se destaca está ligada à baixa fertilidade, solos ácidos e porosos (NEOSSOLO QUATZARÊNICO), que é relativo à variação na disponibilidade hídrica, em função das flutuações do lençol freático, para áreas da região Amazônica (JIRKA et al. 2007; LUIZÃO et al. 2007).

Para climas estacionais, vale ressaltar que, com a existência do período de deficiência hídrica no solo, a fertilidade é inversamente relacionada com a deciduidade, porem, quanto mais fértil o solo, mais decídua é a floresta (PRADO &

GIBBS, 1993). Portanto há uma generalização deste padrão em todas as regiões tropicais estacionais, com destaque nas partes periféricas da Floresta Amazônica e no Cerrado (OLIVEIRA-FILHO et al. 2006).

2.2. GEOTECNOLOGIAS

2.2.1 Sensores e Satélites

Os satélites possuem capacidade de gerar dados com alta resolução espacial, que podem proporcionar melhorias significativas das técnicas do sensoriamento, para a aplicação em várias áreas do conhecimento. Deve-se enfatizar a necessidade de formas automáticas para o processamento e análises de imagens (GIONGO, 2008). Os satélites usados no monitoramento terrestre, visando fornecer imagens da superfície estão divididos em duas categorias:

- A. Geostacionários ou geossincronizados, que estão posicionados num ponto fixo no espaço, com o intuito de sincronizarem com a rotação da Terra e permanecerem estacionados sobre um ponto geográfico da superfície terrestre, e;
- B. Solar sincronizado que ficam circulando de polo a polo, segundo Meneses et al.(2012), esse tipo de satélite cruza o plano da linha do equador.

Os sensores de imageamento dos satélites são caracterizados em sensores de resolução espacial e sensores de resolução espectral. Florenzano (2012) e Liu (2006) definem que a resolução espectral tem a capacidade de medir as reflectâncias de determinadas faixas, em certos comprimentos de ondas eletromagnéticas, com isso, esse tipo de sensor consegue distinguir e discriminar objetos em função de sua sensibilidade espectral. Para os sensores de resolução espacial, sua função está ligada ao campo de visada instantânea, no qual indica o tamanho do pixel no terreno, isto é, quanto maior for a resolução espacial melhor será o detalhamento da área em estudo, proporcionando um conjunto maior de informações.

O funcionamento desses sensores é devido à identificação da radiação refletida pela superfície em diferentes faixas espectrais, como o caso da luz visível, que captam a radiação da região do infravermelho (MENESES et al., 2012). Com a existência de nuvens ou nebulosidade, o imageamento fica impossibilitado, com isso,

utilizam os sensores ativos, a exemplo, os radares que podem operar durante a noite, dias nublados, com chuva ou com fumaça, sendo uma das vantagens para os países que situa em zonas tropicais, como o Brasil, onde apresentam parte do tempo coberto por nuvens praticamente todos os dias (FLORENZANO,2011).

O Satélite Landsat tem uma grande série temporal de dados, e suas imagens são gratuitas, e os primeiros satélites desta família foram equipados com o sensor MSS (Multispectral Scanner) com quatro bandas de 80m de resolução. Essa linha de satélites são um meio de explorar e observar os recursos da superfície terrestre, e desde 1972 foram lançados uma série de 7 satélites que estão classificados em: Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 7 e o 8 lançado em abril de 2013.

Em seguida, o Landsat 4 e 5 ganharam o sensor TM (Thematic Mapper), ou seja, são sensores multiespectrais que geram imagens da superfície com uma média de resolução espacial e pequena qualidade. Embora o Landsat 7 tenha adquirido o sensor ETM (Enhanced Thematic Mapper), um sensor pancromático e dois sensores de banda termal, apresentou mau funcionamento no ano de 2003 e suas imagens acabaram não sendo utilizadas (GUSMÃO, 2011).

Tabela 1.Esquema dos satélites da família Landsat.

Satélite	Data de Lançamento	Sensor a Bordo	Fim de Operação
Landsat 1	23 de julho de 1972	MSS e RBV	Janeiro de 1978
Landsat 2	22 de janeiro de 1975	MSS e RBV	Julho de 1983
Landsat 3	05 de março de 1978	MSS e RBV	Setembro de 1983
Landsat 4	16 de julho de 1982	TM e MSS	Setembro de 1984
Landsat 5	01 de março de 1985	TM e MSS	Dezembro de 2012
Landsat 6	05 de outubro de 1993	ETM	Fracassou
Landsat 7	05 de abril de 1999	ETM	Maio de 2003
Landsat 8	30 de maio de 2013	OLI	Em atividade

Fonte: Nasa, (2002);Feitosa (2005)

Em primeiro de março de 1984foi lançado em órbita o Satélite Landsat 5, que esteve em funcionamento por 29 anos e forneceu várias imagens da superfície terrestre até o ano de 2011. A qualidade das imagens e seu tempo de funcionamento foi superior aos seus antecessores e ao Landsat 7, que não está ativo atualmente. Em

vinte e quatro de abril de 2013 foi lançado o Landsat 8 e que passou a operar em maio de 2013.

Quanto a resolução espacial, o Landsat 5 fornece uma resolução de 30 m, exceto para a banda 6 que se refere a banda do termal, com resolução de 120 m. Do mais, possui órbita circular, quase polar, que está sincronizada com o sol e com uma altitude de 705 Km. Para as análises do Estado de Mato Grosso, a antena de captação está no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a forma de recebimento das imagens é contínua para todo o território nacional. Existe um enorme acervo de dados de um longo período sobre toda a América Latina, e cada banda espectral apresentam características diferenciadas, uma resposta espectral (assinatura espectral) dos objetos sobre a superfície terrestre (Tabela 2):

Tabela 2. Características Espectrais para cada banda do Landsat 5.

Banda	Comprimento de Onda (μm)	Características Espectrais
1	0,45 – 0,52	É capaz de penetrar em corpos d'água com elevada transparência, e, sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintetizantes auxiliares (os carotenóides).
2	0,52 – 0,60	Apresenta grande sensibilidade a presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63 – 0,69	Vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: campo, cerrado e floresta e solo exposto, estradas e áreas urbanas).
4	0,76 – 0,79	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens.
5	1,55 – 1,75	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.

6	10,4 – 12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08 – 2,35	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

De acordo com as descrições de Liu (2006), existem várias aplicações das técnicas de sensoriamento remoto para investigação da superfície da Terra através do Landsat, desde o acompanhamento da utilização do solo, o monitoramento das áreas de preservação, atividades de minério, cartografia, destacam-se também áreas desmatadas e toda a atividade realizada pelo homem em superfície terrestre, e pode ser usado para estimativa do balanço de radiação e dos fluxos de energia em grandes áreas Trezza (2002), e Allen et al. (2002) define a aplicabilidade do modelo baseando-se no balanço de energia, podendo ser utilizado por qualquer sensor remoto que registre a radiação nos comprimentos de onda do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal.

2.2.2 SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land)

Segundo Bastiaanssen et al. (1998), o SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) é um algoritmo, que foi desenvolvido a partir de combinações de relações empíricas e parametrizações físicas para estimar os componentes do Balanço de Energia–BE, e, por conseguinte, da evapotranspiração real.

Allen et. al. (2002), citam que, o algoritmo pode ser utilizado para trabalhar com as cartas de imagens coletadas por qualquer satélite orbital que tenha um registro da radiação em vários comprimentos de onda do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal. Conforme Couralt et. al. (2003), as radiâncias espectrais armazenadas pelos sensores orbitais, com um pacote de dados meteorológicos da superfície, certamente é possível determinar os fluxos radiativos e energéticos à superfície, desde que tenham também a velocidade do vento e a

temperatura do ar.

O método do balanço de energia proporciona a obtenção de alguns fluxos verticais, através da diferença de fluxos, tais como, o fluxo de calor no solo (G), fluxo calor latente (LE), calor sensível (H) e o saldo de radiação (Rn) (BASTIAANSSEN, 1995; ALLEN et. al., 2002). Além disso, o algoritmo mostrou-se eficaz para as estimativas da evapotranspiração, que é o produto final do modelo, sendo o saldo de radiação a etapa anterior aos processamentos dos fluxos energéticos (SILVA et al., 2011).

O processamento do algoritmo pode ser feito à partir das imagens de qualquer sensor orbital, como é o caso da pesquisa desenvolvida por Hafeez & Chemin (2002), onde eles usaram imagens do sensor ASTER nas Filipinas, e concluíram que a combinação de alta-resolução espacial dos sensores ETM do Landsat-7 e o ASTER com a alta resolução temporal dos sensores MODIS e AVHRR, o qual obtiveram uma alta precisão nos estudos de balanços hídricos e usos da água, em escalas regionais (GIONGO, 2008). Portanto, segundo Allen et al. (2002), a utilização da forma de processamento citada apresenta confiabilidade e é capaz de oferecer estimativas com boa precisão.

2.3. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO, ALBEDO E TEMPERATURA

2.3.1. Índices de Vegetação

O avanço do agronegócio, o desmatamento desenfreado das áreas de vegetações nativas despertou-se o interesse em avaliar, monitorar e estudar a evolução espacial e temporal da cobertura vegetal da superfície terrestre (GUSMÃO et al., 2012). Em sensoriamento remoto, os índices de vegetação são indicadores da capacidade fotossintética do dossel (VETRITA et al., 2011).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é determinado pela razão entre a diferença das refletividades das bandas do Infravermelho e a banda do Vermelho e a soma destas. Sua principal função é indicar o vigor e quantidade da vegetação verde, e, cujos valores variam de -1 a $+1$. A densidade da vegetação, cor e diferentes estados de umidade do solo e práticas de cultivo, influenciam no índice, devido à intensa absorção na região visível do espectro eletromagnético, em 0,475

μm e $0,65 \mu\text{m}$, por parte da clorofila e as condições da vegetação (PAIVA, 2005). O NDVI, habitualmente derivado das imagens do NOAA/AVHRR, desde 1981, tornou-se um dos índices mais utilizados (TUCKER, 1985, 1980; CRACKNELL, 2001).

As suas aplicações foram além, ampliando o uso das composições temporais, incentivando o desenvolvimento de novos instrumentos de imagem, e como resultado, os seus dados são derivados de uma série de sensores com resolução moderada, com propriedades espaciais melhoradas, espectrais e radiométricas do AVHRR (TARNAVSKY et al., 2008). As áreas vegetadas de uma região sofrem interferências de um conjunto de fatores relacionados ao clima, topografia, solo e suas propriedades associadas.

Estimativas realizadas à partir das imagens de satélite mostram que a variação anual do NDVI aponta o estresse ambiental causado pelos impactos climáticos regionais (ALLEN et al., 1998; WALTHALL et al., 2004; CHEN et al., 2004; ASIS & OMASA, 2007; MENG et al., 2007; YUAN & BAUER, 2007; TARNAVSKY et al., 2008; LUEDELING & BUERKERT, 2008; BUSETTO et al., 2008; DU et al., 2010; BAKR et al., 2010; HWANG et al., 2011; JULIEN et al., 2011).

Alterações da superfície terrestre também podem ser avaliadas pelos: Índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) e o Índice de Área Foliar (IAF). Entende-se que, em regiões de flora nativa os valores dos índices podem sofrer alterações devido às variações no período estacional anual, sendo mais marcantes para algumas regiões, uma vez que a disponibilidade hídrica é o principal elemento condicionante (PAIVA, 2005).

2.3.2. Albedo de Superfície

O albedo é uma medida adimensional e varia segundo as características da superfície, a razão entre a radiação solar direta e a difusa em função do ângulo zenital solar (GIONGO, 2008). Por está relacionado diretamente com o saldo de radiação (R_n), quanto mais escura for o tipo de vegetação, menor será a refletividade da radiação solar incidente e maior será a absorção, ou seja, maior será o R_n da vegetação (PEREIRA et al., 2002).

As mudanças que ocorrem com o albedo da superfície fornecem subsídios

quantitativos para investigar a transferência de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera, sendo um meio de auxílio na modelagem climática regional e global (SHUAI et al. 2011). Destacando estudos relacionados a nível internacional, para Dirmeyer; Shukla, (1994), o desmatamento em regiões do continente africano e da América do Sul provocou um aumento do albedo, onde causa uma diminuição da energia radiativa absorvida na superfície e uma redução no processo de convecção com diminuição significativa na precipitação.

O albedo diário está relacionado com o ângulo zenital na região, e na Amazônia, Querino et al. (2006) observaram e analisaram que o albedo é menor com a diminuição do ângulo zenital, e o albedo apresenta valores maiores quando o ângulo zenital for maior, isto é, as mudanças nas colorações da vegetação, ângulo zenital e a geometria das copas das árvores influenciavam a variação no albedo.

Quando há um aumento do albedo da superfície, a energia solar disponibilizada para o aquecimento e evaporação diminui, e com o aumento da umidade, a maior parte da energia absorvida é usada para secar a superfície, resultando em menos fluxo de calor sensível para a atmosfera e um menor aumento da temperatura em condições secas (DICKINSON, 1984).

2.3.3. Temperatura de Superfície

Entende-se que, através de estudos, a temperatura de superfície (T_s) é um parâmetro intrínseco para os processos físicos que estão ocorrendo na superfície do planeta, sendo a nível regional ou global, através de resultados obtidos das interações Biosfera-Atmosfera e os fluxos energéticos. Wan (2008) e Zhang et al. (2009) afirmam que a temperatura de superfície é um dos parâmetros fundamentais para o controle dos processos físicos, químicos e biológicos que permeiam a interface entre a superfície terrestre e a atmosfera.

Além disso, pesquisas mostram que T_s participa da partição dos fluxos de calor, e como resposta radioativa da superfície, representa a função de algumas variáveis de superfície como o exemplo do teor de água do solo e a cobertura vegetal (OWEN et al., 1998). Quando uma área é compreendida por uma grande quantidade de vegetação, a temperatura de superfície vai aproximar-se da temperatura das

folhas, mostrando-se afinidade com o dossel da mesma.

Análises desenvolvidas por Weng; Lu, (2008), mostram que a relação entre a temperatura da superfície (Ts) e a densidade de vegetação é um estudo crescente no ramo do sensoriamento remoto. Com isso, vários trabalhos estão sendo feitos para estimar a Ts. Sendo assim, destacam-se os resultados de Fu et al. (2011) e Vancutsen et al. (2010), que obtiveram a temperatura de superfície para que pudessem estimar a temperatura do ar utilizando o sensor MODIS.

2.4. SALDO DE RADIAÇÃO

A energia solar é principal fonte primária de energia é oriunda do Sol. Anhuif & Winkler (1999), citam que o comportamento dos animais é influenciado também pela distribuição da radiação solar e a luminosidade. Os processos de interação da radiação com as plantas são divididos em três: a primeira parte da radiação é absorvida pelos pigmentos estruturais da folha, a segunda parte é a refletida pelas folhas e a terceira é a transmissão, feita pelas camadas que compõem a copa e por meio das camadas constituintes das folhas, como por exemplo, a cutícula, o parênquima lacunoso e o paliçádico, entre outros (MOREIRA, 2001).

A qualidade da radiação solar é afetada pelas interações que ocorrem no sistema solo-planta-atmosfera, isto é, a interação com solo-atmosfera é feita por meio das ondas curtas, proporcionando aquecimento. De acordo com a Lei de Stephan-Boltzman, a radiação emitida pelo solo-atmosfera, na faixa do infravermelho distante (acima de 4000 nm) é o aquecimento produzido pelas ondas curtas.

A essa radiação emitida, se dá o nome de radiação de ondas longas, devido ao seu comprimento de onda ser maior que o comprimento de onda da radiação solar. Assim, sendo, o balanço de radiação à superfície é expresso e contabilizado pelos fluxos radiantes descendentes e ascendentes (ganhos e perdas), ou seja, pela somatória do balanço de radiação de onda curta e onda longa conforme Foken, (2008). Essa somatória do balanço de radiação também é expressa como:

$$R_n = BOC + BOL \quad (1)$$

em que o (Rn) representa o saldo de radiação, o (BOC) é o balanço de ondas curtas e o (BOL), o de ondas longas de acordo (FOKEN, 2008).

O balanço de radiação de onda curta (BOC) é definida pela função da

radiação solar global representado por R_g (radiação direta e difusa) e do albedo da superfície (PEREIRA et al., 2011). E de acordo com Mendonça (2007), a energia solar que incide na superfície da Terra é resultante das interações existentes entre a radiação eletromagnética (REM) e atmosfera terrestre, sendo que parte da radiação incidente é refletida e essa quantidade depende da capacidade de reflectância dos corpos (albedo), que é descrita pela equação 2:

$$BOC = R_{s\downarrow}(1 - \alpha) \quad (2)$$

em que $R_{s\downarrow}$ representam a radiação solar incidente e α é o albedo da superfície.

Sendo assim, o valor do BOC dependerá do albedo que se altera entre as diferentes coberturas de solo e terão BOC's diferentes. A parcela do BOL é função da temperatura e da emissividade do ar e da superfície.

A radiação emitida pela Terra e pela atmosfera tem comprimento de onda que compreende o intervalo entre 4 e 100 μm da faixa espectral, sendo essa parcela mais difícil de ser medida (GUSMÃO, 2011). No entanto, possui grande importância na previsão de variações diurnas de temperatura, geadas, nevoeiros noturnos e resfriamento radiativo noturno (JIMENEZ et al., 1987). O BOL resulta da diferença da radiação atmosférica incidente e a radiação emitida (Equação 3):

$$BOL = R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} \quad (3)$$

em que $R_{L\downarrow}$ é a radiação incidente pela atmosfera e $R_{L\uparrow}$ é a radiação emitida pela superfície terrestre. A radiação atmosférica incidente é função da temperatura do ar, da quantidade de vapor d'água que estão presentes na atmosfera e na cobertura de nuvens segundo Gomes, (2009), além disso, ele descreve que e a radiação emitida, depende da temperatura do solo e de sua emissividade. Devido a dificuldade de se medir a radiação de onda longa da atmosfera faz-se necessário utilizar modelos baseado na lei de radiação de Stefan-Boltzmann (BASTIAANSSEN et al., 1998) conforme a equação 4 abaixo:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

em que ε é a emissividade do corpo (adimensional) e σ é constante de Stefan-Boltzmann $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$. O balanço de radiação pode ser resolvido por uma combinação de dados de sensoriamento remoto, tais como albedo, emissividade e temperatura da superfície, com dados de campo, tais como radiação solar global e

radiação de onda longa incidente (BASTIANSSEN, 1998).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido em uma floresta de transição Amazônia-Cerrado na Fazenda Maracaí, localizada ao Norte do estado de Mato Grosso, distante 550 km de Cuiabá-MT, e a 60 km de Sinop. Neste local estava instalada uma torre micrometeorológica (Figura 1) de 42 m de altura, com coordenadas de (11°24'43.4"S: 55°19'25.7"O).

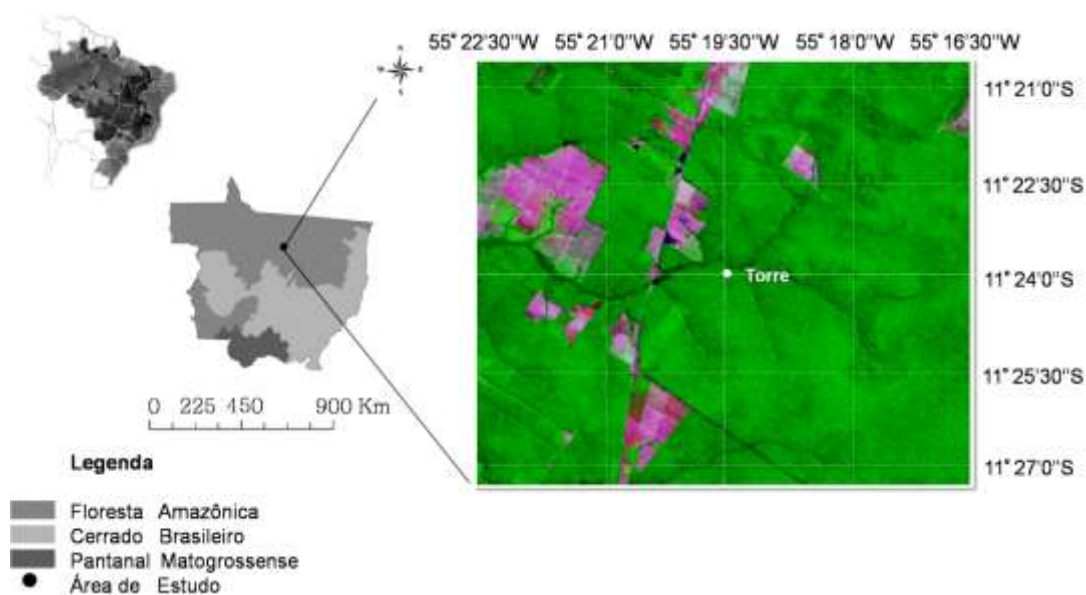


Figura 1. Localização da área de estudo, na Fazenda Maracaí, aproximadamente a 60 km de Sinop.

A região é denominada Zona de Transição entre o Cerrado e a Floresta Tropical Úmida, com um clima tipo Aw, segundo a classificação de Köppen e apresenta pouca variação sazonal. A diversidade é alta, não havendo predominância de uma única espécie de árvore. A área de estudo está a 423 metros do nível do mar, com uma área de 20 Km², constituída por uma floresta pertencente à Amazônia

Legal, apresenta um dossel contínuo, composto de árvores de 25 a 28m de altura (VOURLITIS et al., 2008).

A temperatura média anual é em torno dos 24 ° C, de acordo com os últimos 30 anos e a precipitação anual é de 2000 mm (VOURLITIS et al., 2002). Apresenta índice de área foliar (IAF) estacional médio observado no período chuvoso igual a $4,26 \pm 0,60 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ de setembro-abril, no período de transição chuvoso/seco igual a $3,47 \pm 0,21 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$, em abril-maio. Já no período seco, de junho-agosto, apresentou valor de $3,39 \pm 0,51 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ e no período de transição seco/chuvoso, em agosto-outubro, apresentou valor de $5,03 \pm 0,37 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ (PINTO-JÚNIOR, 2009).

O solo é classificado como um NEOSSOLO QUARTZARÊNICO órtico típico A moderado álico, sendo extremamente arenoso, apresentando na profundidade de 50 cm textura com 83,6% de areia, 4,4% de silte e 2,2% de argila (PRIANTE FILHO et al., 2004). A Floresta de Transição apresenta sazonalidade climatológica semelhante ao da floresta tropical e cerrado (VOURLITIS et al., 2002), e segundo Sanches et al. (2008), na região próxima à torre instalada, foram encontrada e catalogadas 94 espécies de árvores e 35 famílias de plantas.

3.2. INSTRUMENTAÇÃO

3.2.1. Medições Micrometeorológicas

Na área de estudo onde se encontrava a torre metálica de 42 m de altura, foram instalados sensores que permitem a coleta de dados, o ano todo, durante 24 horas. Estes equipamentos possuem um painel de ligação com vários terminais que possibilitam a entrada e armazenamento de dados provenientes de vários equipamentos, tais como sensores de temperatura, de radiação, entre outros (Figura 2).



Figura 2. Torre da área de estudo com 42 metros de altura, a floresta, o net radiômetro e o datalogger na Fazenda Maracaí, em Sinop. Fonte: ARRUDA (2011).

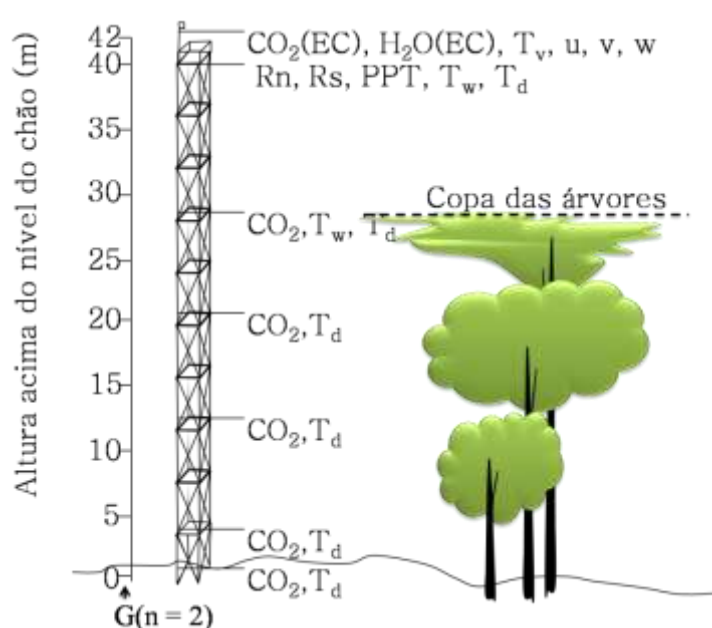


Figura 3. Torre da área de estudo com 42 metros de altura, na Fazenda Maracaí, em Sinop. Fonte: ARRUDA (2011).

A radiação solar foi medida por meio de um sensor quântico (LI-190SB, LICOR, Lincoln, NE, USA). As medidas do R_n foram efetuadas a 40m altura, em relação a copa das árvores, utilizando um net radiômetro ventilado (NR-LITE, KIPP

& ZONEN, Bohemia, NY, USA) e a temperatura do ar foi feita por meio de um termo higrômetro (HMP-45 C, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland). Os dados produzidos por sinais dos transdutores foram processados em uma frequência de 10 Hz e armazenados a cada 30 minutos por um datalogger (CR5000, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, USA).

Os dados de precipitação foram obtidos diariamente na Fazenda Maracaí por meio de um coletor de chuvas manual localizado a 5 km SE da torre micrometeorológica. O calor e o vapor de água do dossel foram calculados usando funções empíricas derivadas para a floresta Amazônica, por meio de medições de temperatura e umidade obtidas no topo da torre (MOORE& FISCH, 1996).

3.2. ESTIMATIVA DO SALDO DE RADIAÇÃO PELO SEBAL

Neste estudo foram utilizadas cartas de imagem do satélite TM Landsat 5 para estimativa do R_n entre maio de 2005 a agosto de 2008. Ao efetuar o recorte da área de estudo, procedeu-se a calibração radiométrica das sete bandas espectrais do TM, o que equivale a converter o número digital (ND) de cada pixel e banda em radiância espectral ($L_{\lambda i}$). As etapas do processamento para a obtenção do R_n foi descrito na Figura 3.

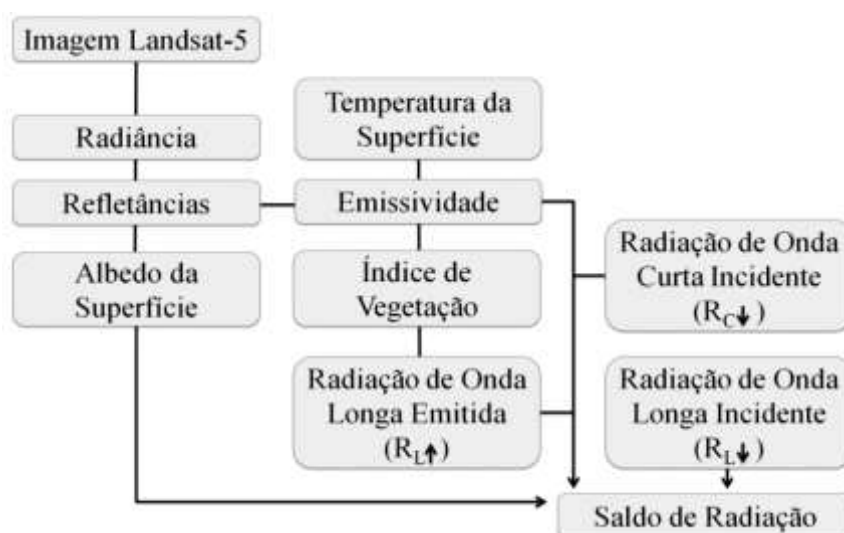


Figura 4. Diagrama das etapas do processamento do SEBAL para a obtenção do saldo de radiação usando imagens TM Landsat 5.

As radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat - 5, para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; para a banda 6, a radiância representa a energia emitida por cada pixel, e a calibração é efetivada segundo a equação Markham & Baker, (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \left(\frac{b_i - a_i}{255} \right) \cdot ND \quad (5)$$

em que: a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$, Tabela 2); ND é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255); e i corresponde às bandas (1, 2, ...e 7) do satélite Landsat 5 - TM.

Tabela 3. Constante de calibração do TM Landsat 5 para cálculo da radiância e refletância banda-a-banda.

Banda	Comprimento de Onda μm	$L_{\lambda, \min} W/m^2$ a	$L_{\lambda, \max} W/m^2$ b	$k_{\lambda} W/m^2$
1	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957,0
2	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826,0
3	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554,0
4	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036,0
5	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	1
7	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

3.3.2. Refletância Monocromática

A refletância monocromática representa o cômputo da refletância em cada banda ($\rho_{\lambda i}$) definida como a razão entre o fluxo da radiação solar refletida e o fluxo da radiação solar incidente em cada pixel considerando as bandas espectrais de cada banda do TM Landsat 5, sendo computada por meio da equação 6:

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (6)$$

em que: $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $k_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$, Tabela 1), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância

Terra-Sol em dado dia do ano (DSA), de acordo com IQBAL (1983), é dado pela equação 7.

$$d_r = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(DSA \cdot \frac{2\pi}{365}\right) \quad (7)$$

em que DSA representa o dia seqüencial do ano e o argumento da função cosseno (cos) está em radianos. O valor médio anual de d_r é igual a 1,00 e o mesmo varia entre 0,97 e 1,03 aproximadamente.

3.3.3. Albedo Planetário ou no topo da Atmosfera

O albedo no topo da atmosfera (α_{plan}) representa a quantidade de radiação refletida de cada pixel sem correção atmosférica, que consiste em combinação linear da refletância espectral em cada uma das seis bandas refletivas e seus respectivos pesos (w_λ), estimada pela equação 8:

$$\alpha_{plan} = w_{\lambda 1} \rho_1 + w_{\lambda 2} \rho_2 + w_{\lambda 3} \rho_3 + w_{\lambda 4} \rho_4 + w_{\lambda 5} \rho_5 + w_{\lambda 7} \rho_7 \quad (8)$$

em que, dado pela razão entre de cada banda e somatório de todos os valores de conforme a equação 9:

$$w_\lambda = \frac{k_\lambda}{\sum k_\lambda} \quad (9)$$

em que, $w_{\lambda i}$ dado pela razão entre $k_{\lambda i}$ de cada banda e $\rho_{\lambda i}$ somatório de todos os valores de $k_{\lambda i}$.

3.3.4. Albedo da Superfície

No algoritmo SEBAL, o albedo da superfície é calculado considerando a transmitância, sendo τ_{sw} a transmissividade atmosférica calculada mediante a função proposta por ASCE-EWRI (2005), α o albedo em todo o domínio da radiação de onda curta, sendo necessário corrigir que segundo BASTIAANSEN et al. (1998), pode ser encontrado usando a equação 10:

$$\alpha_{\text{sup}} = \left(\frac{\alpha_{\text{plan}} - \alpha}{\tau_{\text{sw}}^2} \right) \quad (10)$$

em que, α é refletância atmosférica, que no presente estudo foi considerada 0,03 (BASTIAANSEN, 2000; SILVA et al., 2005; SILVA et al., 2011); τ é transmissividade atmosférica para condição de céu claro, obtida em função da altitude de cada pixel, obtida segundo a equação 11 (ALLEN et al., 2007).

$$\tau_w = 0,75 + 2 \times 10^{-5} z \quad (11)$$

3.3.5. Índices de vegetação

O NDVI foi obtido pela razão entre a diferença das refletâncias das bandas ρ_{IV} e ρ_V e a soma das mesmas equações, equação 12:

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (12)$$

em que: ρ_{IV} e ρ_V correspondem às refletâncias das bandas 4 e 3 do Landsat 5, respectivamente. O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1 e para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 a 1, já para a água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.

O SAVI é usado para avaliar impactos decorrentes da ocupação humana além de amenizar os efeitos do “background” do solo tem sido utilizada a expressão de Huete (1998) o qual foi obtido pela equação 13:

$$SAVI = \left(\frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{L + \rho_{IV} + \rho_V} \right) \quad (13)$$

em que: L é a constante de ajuste ao solo, cujo valor usado no estudo foi 0,1 como proposto por (ALLEN et. al., 2007 e SILVA et. al., 2011). O IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área projetada por essa vegetação, constituindo um indicador da biomassa de cada pixel. O IAF foi calculado pela equação 14 (ALLEN et. al., 2007).

$$IAF = \frac{-\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (14)$$

De acordo com a expressão anterior o valor máximo atingido pelo IAF é igual a 6,0, ocorrendo quando o SAVI vale 0,69.

3.3.6. Emissividade

Para a obtenção da temperatura da superfície, é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (qual seja: 10,4 – 12,5 μm . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga (5 – 100 μm). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para NDVI > 0 e IAF < 3, segundo as equações 15 e 16:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,0033.IAF \quad (15)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01.IAF \quad (16)$$

Para pixels com IAF ≥ 3 e $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$ e para corpos de água (NDVI < 0) com $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$, segundo recomendações de Allen et al. (2002).

3.3.7. Temperatura da Superfície

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) são utilizada radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade NB ε obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) equação 17:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (17)$$

em que $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,76 \text{ Wm}^{-2} \text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ são constantes de calibração da banda termal do fornecida pelo sensor TM Landsat 5 (ALLEN et al.,

2002 e SILVA et al., 2005).

3.3.8. Radiação de onda longa emitida pela superfície

O computo da radiação de onda longa emitida pela superfície (W.m^{-2}) é obtida por meio da lei de radiação de Stefan-Boltzman descrita na equação 18:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (18)$$

em que ε_0 é a emissividade de cada pixel, σ é a constante de Stefan – Boltzman ($\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$) e T_s é a temperatura da superfície (K).

3.3.9. Radiação de onda curta incidente na superfície

A radiação de onda curta incidente (W.m^{-2}) corresponde à radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre em condição de céu claro. Conforme a equação 19 usada por Allen et. al. (2002).

$$R_{L\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot dr \cdot T_{sw} \quad (19)$$

em que S é a constante solar (1367 W. m^{-2}), Z é ângulo zenital solar, dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e T_{sw} é a transmissividade atmosférica calculada mediante a função proposta por ASCE-EWRI (2005) descrita na equação 20:

$$T_{sw} = 0,35 + 0,627 \exp \left[\frac{-0,00146P}{K_t \cos Z} - 0,075 \left(\frac{W}{\cos Z} \right)^{0,4} \right] \quad (20)$$

em que P é a pressão atmosférica (KPa); W a água precipitável na atmosfera (mm); Z o ângulo zenital do Sol; K_t é o coeficiente de turbidez ($0 < K_t < 1$) em que $K_t=1$ para o ar limpo e $K_t = 0,5$ para turbidez extrema, poeira (ALLEN et al., 2007). A Pressão atmosférica – P (KPa) foi obtida pela equação 21:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065}{293} \right)^{5,26} \quad (21)$$

em que 293 é a temperatura padrão do ar em (K), z é a altitude do local (m); W (mm) é obtida usando a pressão de vapor de água real – e_a (KPa) medida em uma estação meteorológica ou calculada por meio de dados meteorológicas, para o trabalho foram usado dados medidos na estação (GARRISON & ADLER, 1990).

3.3.1. Radiação de onda longa incidente pela atmosfera

A radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção da superfície ($W.m^{-2}$), pode ser computada pela lei de Stefan-Boltzmann equação 22, que é a emissividade atmosférica equação 23 proposta por Allen et. al. (2002), σ é a constante de Stefan-Boltzmann e T_a é a temperatura do ar (K).

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_{ar}^4 \quad (22)$$

$$\varepsilon_a = 0,85(\ln T_{sw})^{0,09} \quad (23)$$

3.3.1. Saldo de Radiação

O Saldo de Radiação (R_n) foi computado utilizando-se o balanço de radiação à superfície conforme a equação 24:

$$R_n = R_{S\downarrow}(1 - \alpha_{SUP}) - R_{L\uparrow} + R_{L\downarrow} - (1 - \varepsilon_0)R_{L\downarrow} \quad (24)$$

em que $R_{S\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α_{sup} é o albedo corrigido de cada pixel, $R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel, $R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel e o ε_0 é a emissividade de cada pixel. Para escrever o modelo matemático da imagem do saldo de radiação médio em 24 horas proposta por Bastiaanssen et al. (2005) descrita na equação 25:

$$R_{n(24h)} = (1 - \alpha_{SUP})R_{S(24h)} - 110\tau_{sw} \quad (25)$$

em que α_{sup} é o albedo de superfície, R_s (24h) é a média da radiação de onda curta

incidente em 24 horas (W.m^{-2}) medida na torre micrometeorológica, sendo T a transmitância, razão entre a radiação que chega no topo da atmosfera e o valor médio da radiação incidente em 24 hora medido na estação.

3.4. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

O índice d de Willmott equação 26, o erro médio quadrático (RMSE) equação 27, o erro médio absoluto (MAE) equação 28, o erro médio percentual absoluto (MAPE) equação 29 e a correlação de Pearson foram usadas para avaliar o desempenho e do SEBAL para estimar o R_n instantânea e diariamente nos locais de torre.

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{\sum (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (26)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (27)$$

$$MAE = \sum \frac{|P_i - O_i|}{n} \quad (28)$$

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{P_i}{O_i} \right|}{n} \quad (29)$$

onde o P_i é o valor estimado, O_i é o valor observado, O é a média dos valores observados, e n é o número de observações.

A estatística de Willmott relaciona o desempenho com base na distância entre os valores estimados e observados, com valores que variam de 0 (sem acordo) a 1 (concordância). O RMSE indica como o modelo não estimado e da variabilidade dos dados medidos em torno da média e mede a variação dos valores estimados em torno dos valores medidos. O limite mínimo de RMSE é zero, o que significa que não há acordo completo entre as estimativas do modelo e as medições. O MAE indica a distância (desvio) significa absoluta, e o MAPE indica o percentual dos valores absolutos estimados a partir dos valores que foram medidos. Idealmente, os valores do MAE, MAPE, e o RMSE foram próximos de zero.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DO MICROCLIMA

A precipitação acumulada para os meses de setembro a dezembro, no ano de 2005 foi 957 mm. Em 2006, os valores acumulados para os meses janeiro a abril foram 985 mm; de setembro a dezembro obteve-se 1055 mm, observando-se que, o período de precipitação que está compreendido à partir do mês 01-04 e do mês 09-12, obteve-se um acúmulo de 2040 mm. No ano de 2007 a precipitação acumulada para os meses 01-04 foi de 1431 mm, para os meses de 10-12, a quantidade de milímetros de chuva foi de 730,2 mm, e cujo valor acumulado dos meses analisados foi de 2161,2 mm.

Em 2008, a quantidade chuva acumulada nos meses 01-05 foi de 1165 mm, e no mês de setembro a outubro a pluviosidade foi de 314,8 mm, obtendo-se um acúmulo de 1479,8 mm. O período que apresentou maior precipitação compreende-se nos meses de dezembro de 2005 com 535 mm; em janeiro e fevereiro de 2007, com os valores de 558 mm e 546 mm. Segundo Vourlitis et al. (2005), os valores de 2047 mm e 2000 mm foram encontrados para mesma área de estudo no período de janeiro 2001 a dezembro 2002 e por Priante Filho et al. (2004), com medidas que são referentes ao mês de janeiro de 2000 a dezembro de 2002 (Figura 5).

A Temperatura média do ar apresentou poucas variações ao longo período estudado, com mínimo observado de 23,15°C em julho de 2005 e máxima 27,13°C, em outubro de 2008. Ambos referentes à estação seca e úmida, onde obedece à sazonalidade, de acordo com a radiação solar global e segundo estudos realizados em área da Floresta Amazônica (AGUIAR et al., 2006) (Figura 5).

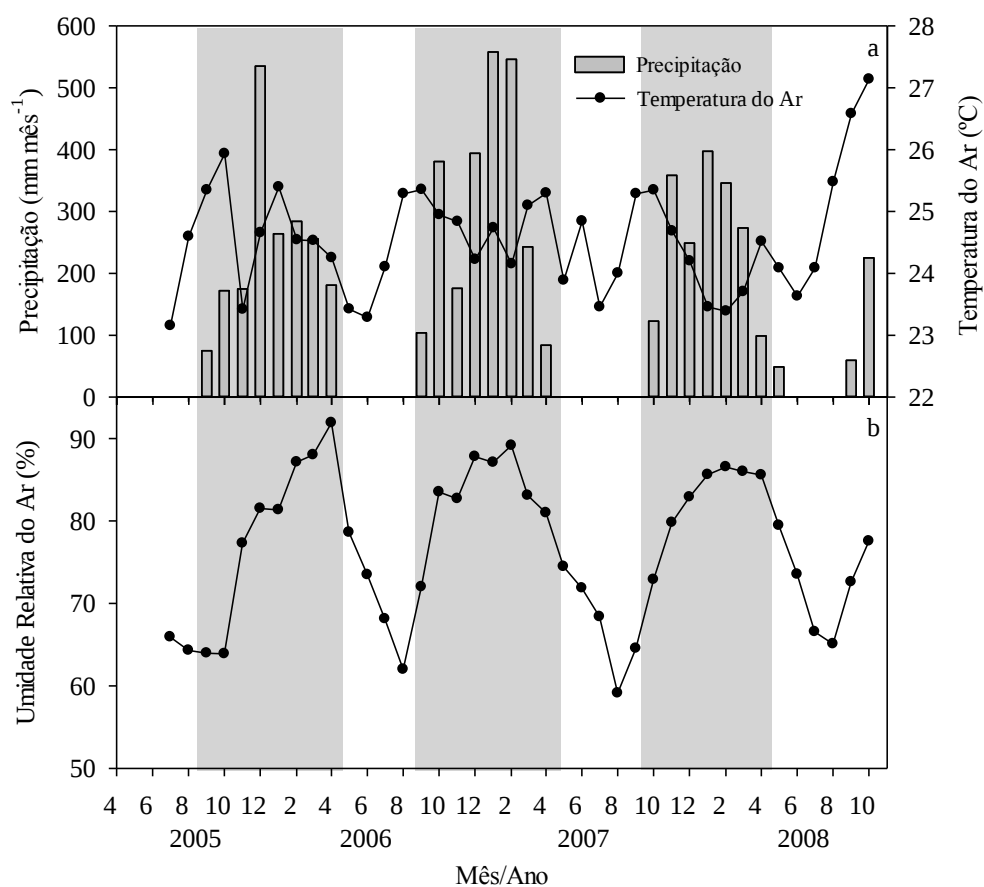


Figura 5. (a) Precipitação e Temperatura do Ar, (b) Média mensal da Umidade Relativa do Ar (%) da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

Os valores médios mensais para a UR variou com mínimo 59,11%, máxima de 91,89% e valor médio de 76,64% (Figura 5). Os valores menores da umidade relativa do ar durante o período seco refletem os efeitos da diminuição da precipitação, com isso, apresenta a baixa disponibilidade hídrica no ecossistema.

Embora o conteúdo de água no solo seja menor durante a estação seca que na estação úmida, o fluxo de seiva da floresta é abastecido pelo lençol freático durante todo período seco, pois, deve-se ao acesso de água pelas plantas, os elevados valores de déficit de pressão de vapor, juntamente com a radiação na estação seca (SALESKA et al., 2003; VOURLITIS et al., 2008; VOURLITIS et al., 2011).

A umidade relativa do ar (UR) instantânea apresenta variação sazonal bem definida para os anos estudados. A média encontrada ao longo de todo o período foi de 57,0%, máximo de 78,6% em maio de 2006, saindo da estação úmida e mínima de 35,6% em agosto de 2007 (Figura 6).

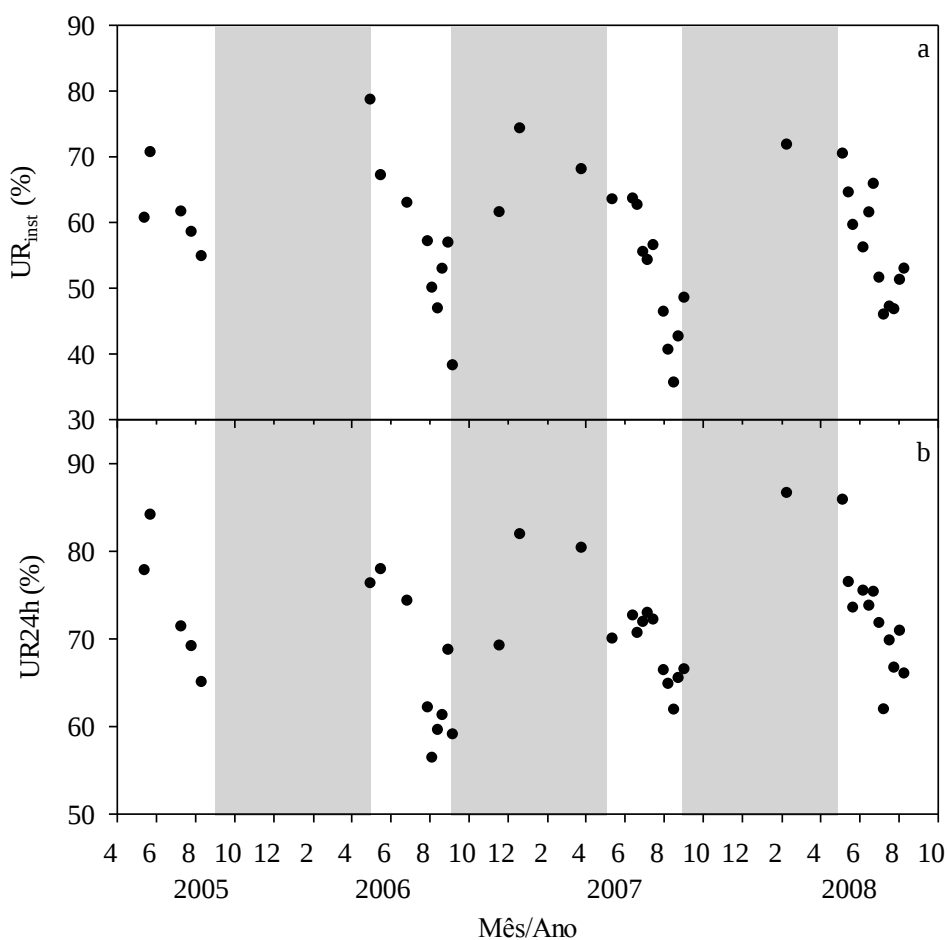


Figura 6. (a) Umidade Relativa (%) instantânea e (b) Umidade Relativa média diária da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

A sazonalidade da UR do ar está diretamente relacionada com o período de precipitação da área estudada, além disso, os mesmos padrões foram apresentados por Maitelli & Wright (1996), para uma Floresta Tropical em Manaus e por Priante Filho et al. (2004) e Andrade et al. (2009), para a mesma região de Floresta de Transição Amazônia-Cerrado no sul da Amazônia.

Para a Umidade Relativa média diária em 24 horas (UR_{24h}), o valor médio foi de 70,8%, e máximo de 86,6% em fevereiro 2008. Seus picos apresentaram decréscimo quando a radiação solar começa a se intensificar durante o amanhecer, com mínimo de 56,4% (ANDRADE et. al, 2009).

A radiação solar global (R_g) está relacionada com a pouca quantidade de nuvens durante a estação seca, sendo que nas áreas da Floresta Amazônica densa, a cobertura de nuvens durante a estação úmida é um fator extremamente significativo,

isto é, contribui para a diminuição da incidência de radiação (ROCHA et al., 2004).

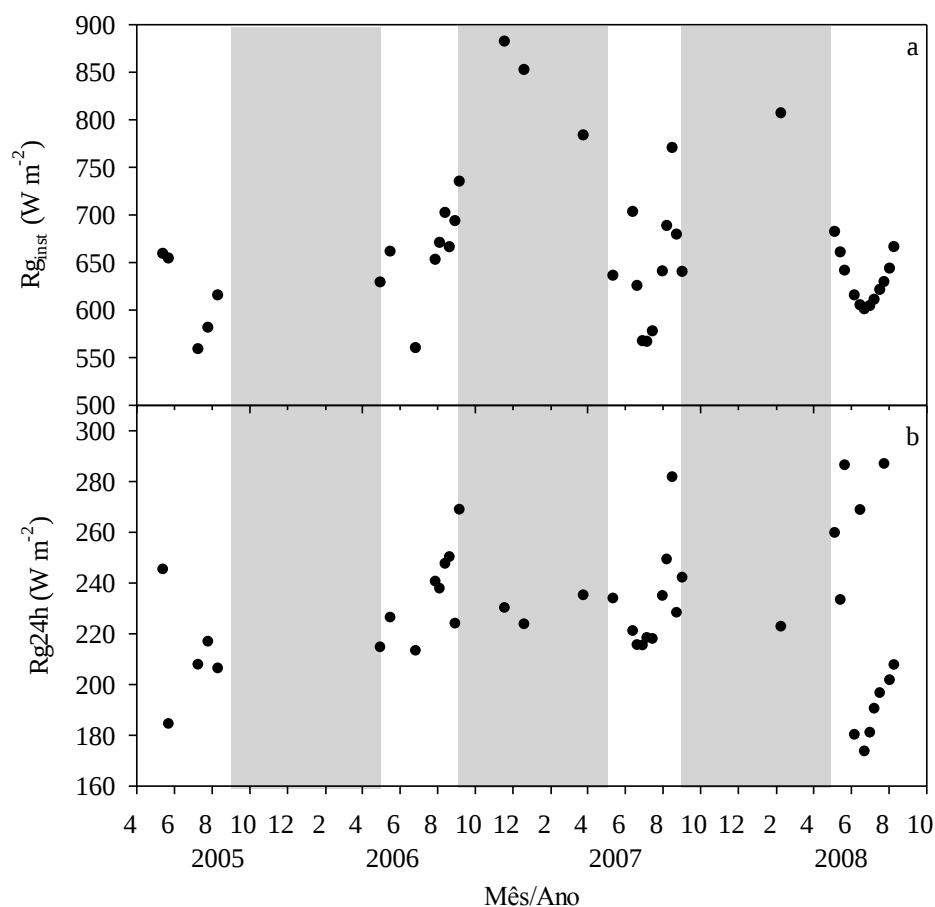


Figura 7. (a) Radiação Global instantânea (Rg_{inst}), (b) Radiação Global média diária em 24 horas (Rg_{24h}) da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

Sendo que, as grandes concentrações de aerossóis (névoa seca) durante o período seco, favorecem em grande parte, a diminuição da Rg durante esse período (ARTAXO et al., 2005). Na Fazenda Maracaí, (Figura 7), a Rg_{inst} durante a estação seca, variou de $558,46 Wm^{-2}$ em julho de 2005 a $769,98 Wm^{-2}$ em agosto de 2007. Na estação chuvosa, encontrou-se $881,83 Wm^{-2}$ em novembro de 2006 e $639,88 Wm^{-2}$ em setembro de 2007.

A variação da radiação solar global média diária em 24 horas (Rg_{24h}), com a existência de um incremento da radiação a partir do amanhecer, aproximadamente às 06h30min, até que os valores máximos sejam alcançados; obteve-se no período seco mínima de $173,51 Wm^{-2}$ em junho e $286,8 Wm^{-2}$ em julho de 2008, que são obtidos por volta de 11h30 min e 12h30 min aproximadamente.

Na estação úmida são obtidos aproximadamente no horário de 11h30min para o menor valor e 13h30min para o valor máximo. Sendo assim, observou-se que, os valores diários, bem como as médias das estações, o $R_{g_{inst}}$ e o R_{g24h} máximos ocorrem no período úmido na F. Maracaí com valores médios de $782,99 \text{ Wm}^{-2}$ para $R_{g_{inst}}$ e $237,00 \text{ Wm}^{-2}$ para R_{g24h} .

4.2. ÍNDICE DE VEGETAÇÃO, ALBEDO DE SUPERFÍCIE E TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) apresentou máximo de 0,874 na estação seca, correspondente ao mês de maio de 2005 e 0,852 na estação úmida, em março de 2007 (Figura 8). O valor médio do NDVI da floresta de transição variou de 0,806 no período úmido a 0,826 no período seco (Tabela 4).

No início da estação seca, o NDVI aumenta, tendo maior valor durante o mês de maio de 2005. Este período é caracterizado com a diminuição da cobertura de nuvens e a presença de água remanescente no solo, o que induzem uma maior atividade fotossintética, o qual diminui com o tempo (SILVA et al., 2012). O estudo da cobertura do solo por meio dos índices de vegetação é fundamental para o cálculo do saldo de radiação, e Paiva (2005) descreve que em solo exposto ou com vegetação esparsa, a temperatura da superfície é alta e o NDVI é baixo, e para solos cobertos totalmente por vegetação, a temperatura tende a ser baixa e o NDVI alto.

Na região do Cariri Cearense, Bezerra et al. (2006) obtiveram valores de R_n mais elevados em áreas com menor valor de albedo, isto é, as áreas foram caracterizadas por corpos d'água e vegetação, deixando clara a influência da cobertura do solo no balanço de radiação à superfície (FAUSTO, 2014).

Segundo Gusmão (2011), em áreas de vegetação nativa de Cerrado, obteve valores acima de 0,50; Giongo (2008) entre 0,538 e 0,725 em áreas de Cerrado em Santa Rita do Passa Quatro/SP e em áreas de Cerradão/SP e Gomes et. al. (2009) registraram valores entre 0,71 e 0,60.

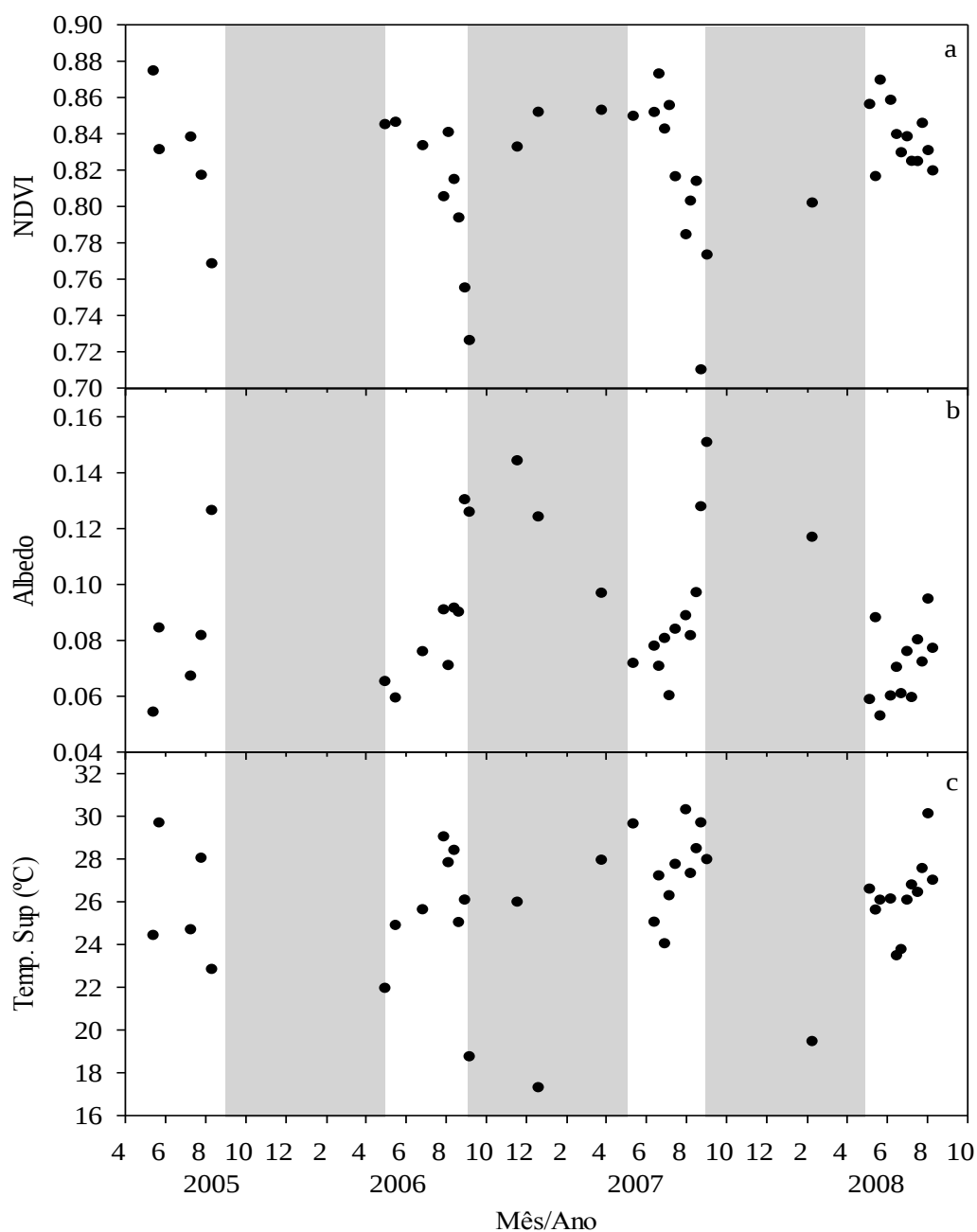


Figura 8. (a) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), (b) Albedo e (c) Temperatura de Superfície da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

Os valores médios do albedo de superfície (Alb_{SUP}) encontrados foram de 7,9 % no período seco e 12,6% na estação úmida (Tabela 4). Por apresentar menor valor no período seco, deve-se ao fato de estar relacionado aos dias ou meses mais próximo do início do Solstício de Inverno (GUSMÃO et al., 2012). O albedo de superfície está diretamente relacionado com as trocas energéticas que interferem nos

regimes radiativos, ocasionando variações na temperatura e modificação no clima local (PEREIRA et al., 2000).

Tabela 4. Estatística descritiva para os índices de vegetação, albedo e temperaturas.

PERÍODO	ESTATÍSTICA	NDVI	ALB _{SUP}	T _{SUP}
Seco	Média	0,826	0,079	26,55
	Máximo	0,874	0,13	30,28
	Mínimo	0,709	0,052	21,93
	Desvio Médio	0,024	0,014	1,70
	Desvio Padrão	0,033	0,019	2,12
Úmido	Média	0,806	0,126	22,88
	Máximo	0,852	0,15	27,95
	Mínimo	0,726	0,096	17,28
	Desvio Médio	0,039	0,014	4,39
	Desvio Padrão	0,049	0,019	4,92

Na Floresta Amazônica, o aumento do albedo está ligado aos horários – amanhecer e entardecer, ou seja, a relação dos valores de albedo com um maior ângulo zenital (Z) nesses horários, uma vez que, os maiores valores de albedo estão em função da maior inclinação dos raios solares, mas também com a nebulosidade, geometria da copa e tipo de planta (QUERINO et al., 2006).

Através do albedo de superfície, é possível contabilizar os diversos processos físicos, como desmatamento, mudanças de temperatura e até mesmo as variações climática produzida pelas atividades antrópicas (CHELLIAH e ARKIN, 1992; YIN, 1997; GIAMBELLUCA et. al., 1999). Em geral, para corpos d’água, os valores são inferiores a 0,10 (GUSMÃO et al., 2012).

Diversos autores obtiveram valores do albedo em superfícies d’água, a exemplo de Bastiaanssen et al. (1998) e Bastiaanssen (2000) que encontraram albedo de 3 e 10% para a água, e também, observado por Bezerra et al. (2006). Além disso, o balanço de radiação terrestre exerce influência nas análises do albedo, e com isso, esse processo vem sendo frequentemente considerado em estudos do clima global e regional (GIONGO et al., 2009; GARCIA et al., 2004; PEREIRA et al., 2000; PEREIRA et al., 2007).

A Temperatura de superfície (T_{SUP}) na estação da seca apresentou valor máximo de 30,28°C e mínima de 21,93°C. Ao longo do período de estudo, 2005

a2008, a T_{SUP} apresentou valores de 17,3°C a 30,3°C e valor médio de 22,88°C a 26,55°C. Segundo Yan et al. (2009) e Wang et al. (2010), os ecossistemas naturais podem ser descritos pela dinâmica da temperatura do ar e PAR, contudo os resultados apontam para variações que ocorreram em função do comportamento e condições meteorológicas que sofreram variações ao longo do período estudado da Floresta de transição, sendo seco-quente para 2005 e 2006; úmido-quente para 2006 a 2007 e seco-frio em 2007 para 2008 (VOURLITIS et al., 2011).

Durante a estação seca, no ano de 2005, foi um período importante porque retratou a fase de intensa seca ao Sul da Bacia Amazônica (MARENGO et al., 2008), observando que essas estações de seca são importantes para o monitoramento da produtividade dos ecossistemas tropicais (SALESKA et al., 2003; VOURLITIS et al., 2004, 2005; VOURLITIS & ROCHA, 2010). De modo geral, em áreas de vegetação nativa, a T_{SUP} vai ser menor do que em superfícies de áreas modificadas pela ação antrópica.

4.3. SALDO DE RADIAÇÃO POR MEIO DAS IMAGENS TM LANDSAT 5

O ciclo do saldo de radiação instantâneo e estimado, de um modo geral, apresentaram a mesma tendência de variação da radiação solar global, normalmente com aumento no decorrer da manhã, atingindo maiores valores próximo ao meio-dia, seguido por um decaimento dos valores no decorrer da tarde, até atingir valores negativos no período noturno (ANDRADE et al., 2009).

De acordo com pesquisas realizadas em florestas tropicais (ROCHA et al., 2004; VON RANDOW et al., 2004), as mudanças ocorridas devido à sazonalidade na cobertura das nuvens é de fato o principal fator que influencia a incidência da radiação solar (MALHI et al., 2002). Durante a estação úmida, na Fazenda Maracaí, o saldo de radiação medido mínimo foi de 402,8 Wm^{-2} no período seco, no mês de julho de 2005 e máximo de 711,0 Wm^{-2} em novembro de 2006. O valor estimado de mínimo foi de 435,3 Wm^{-2} na estação seca, no mês de julho de 2005 e máximo de 718,03 Wm^{-2} na estação úmida, em dezembro de 2006 (Figura 9).

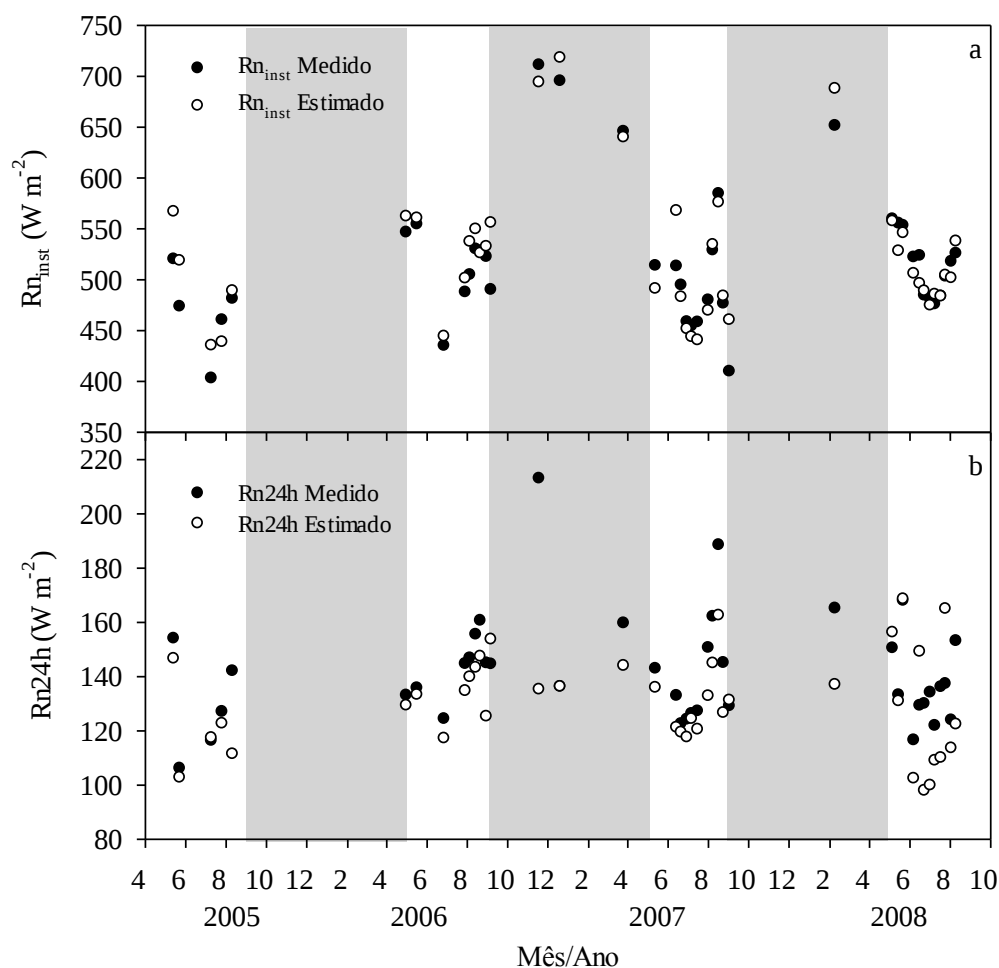


Figura 9. (a) Saldo de Radiação instantâneo medido ($Rn_{inst} M$) e estimado ($Rn_{inst} E$), (b) Saldo de Radiação médio diário em 24 horas medido ($Rn_{24h} M$) e estimado ($Rn_{24h} E$) da Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

O saldo de radiação médio diário em 24 horas (Rn_{24h}) medido, cujo valor mínimo foi $106,1 \text{ Wm}^{-2}$ na estação seca para o mês de maio de 2005 e máximo de $213,0 \text{ Wm}^{-2}$ na estação úmida, em novembro de 2006. O estimado obtido variou de $97,9 \text{ Wm}^{-2}$ em junho com o menor valor e máximo de $168,6 \text{ Wm}^{-2}$ em maio de 2008. Sendo o maior valor para o Rn_{24h} estimado, na estação seca (VOURLITIS et al., 2008; ANDRADE et al., 2009). O comportamento do Rn_{inst} medido e estimado; o Rn_{24h} medido e estimado coincidem com o da radiação solar global. Pesquisas mostram que os valores menos elevados na estação seca pode estar relacionado com a formação de névoa seca na região, em decorrência das queimadas no mesmo período.

Vourlitis et al. (2008) observaram comportamento semelhante na mesma região em estudo, onde Rn aumenta da estação seca para a úmida, apesar de um pequeno decréscimo no mês de dezembro, devido a intensidade de chuvas, mas que, acaba sendo recompensado com aumento nos meses úmidos subsequentes (ANDRADE et al., 2009). Em geral, o Erro Absoluto Médio (MAE) para o Rn_{inst} e Rn_{24h} foram $18,2 \text{ Wm}^{-2}$ e $14,3 \text{ Wm}^{-2}$ e o Erro Médio Percentual (MAPE) de 3,6% e 9,6% e Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE) de $24,0 \text{ Wm}^{-2}$ e $20,0 \text{ Wm}^{-2}$.

Foram obtidos valores de Rn_{inst} e Rn_{24h} no período seco, com: MAE, MAPE e RMSE de $15,6 \text{ Wm}^{-2}$ e $13,0 \text{ Wm}^{-2}$; 3,1% e 9,2% e $24,4 \text{ Wm}^{-2}$ e $16,3 \text{ Wm}^{-2}$. Na estação úmida, os valores foram de $33,0 \text{ Wm}^{-2}$ e $22,1 \text{ Wm}^{-2}$; 6,3 % e 11,8 % e $38,8 \text{ Wm}^{-2}$ e $34,5 \text{ Wm}^{-2}$. O coeficiente de correlação linear de Pearson “r” para Rn_{inst} foi de 0,938 (Figura 10) e Rn_{24h} foi de 0,604 (Figura 11).

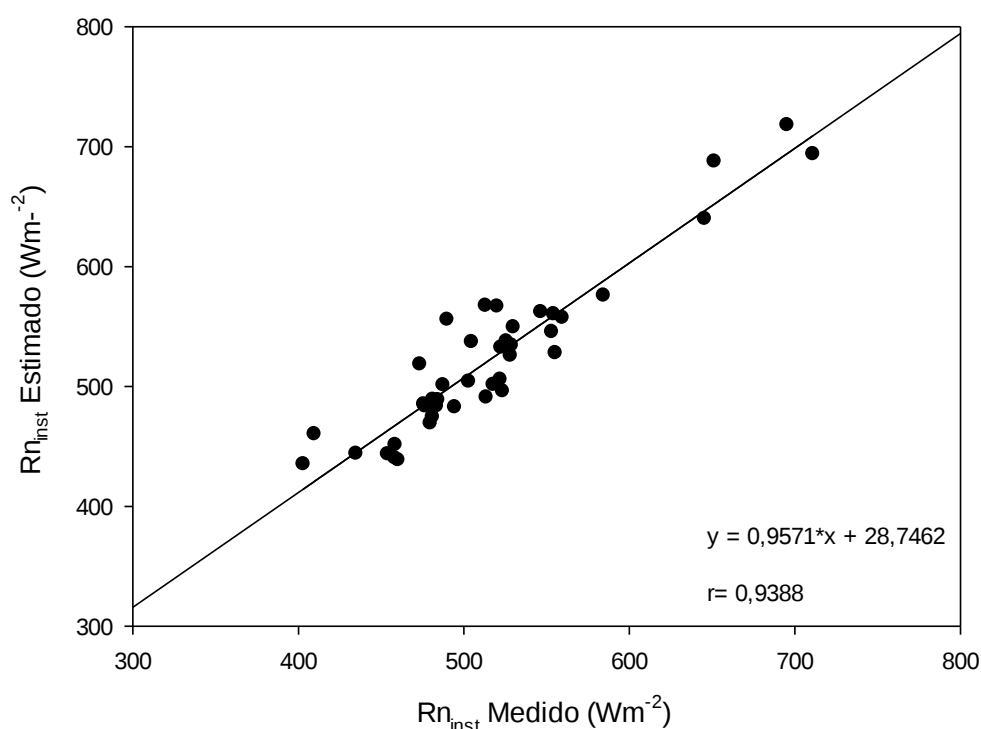


Figura 10. Relação entre o saldo de radiação instantâneo medido e estimado na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

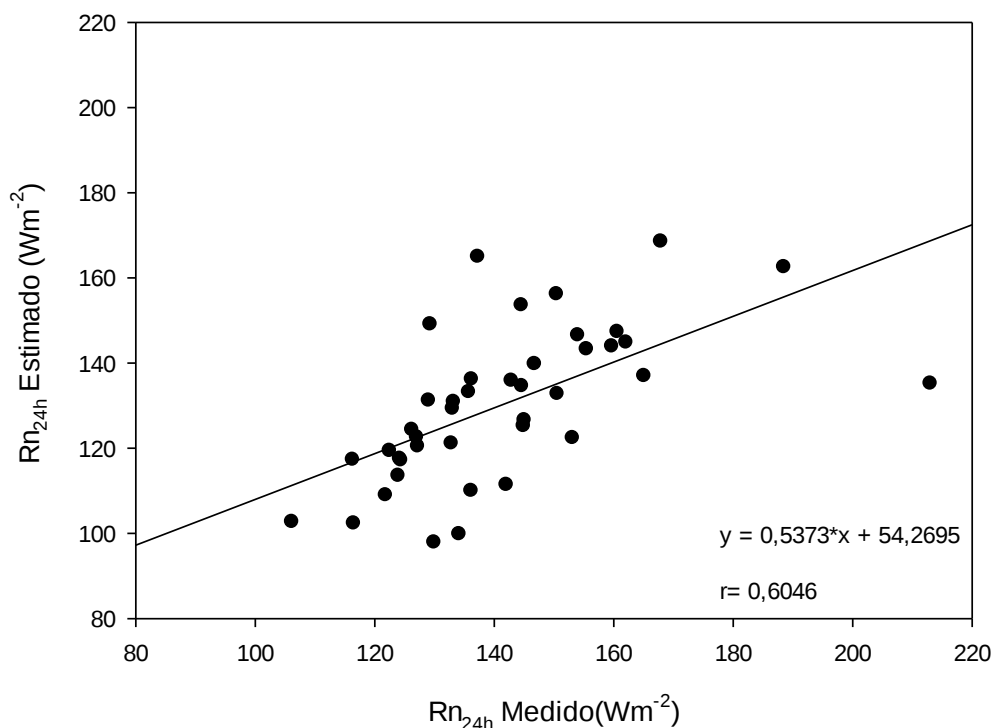


Figura 11. Relação entre o saldo de radiação diário medido e estimado na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado.

O coeficiente de Willmott (d) para o Saldo de radiação instantâneo foi de 0,966 e para o saldo diário foi de 0,703 para a floresta de transição, comprovando assim a eficiência das estimativas. Além disso, os parâmetros estatísticos abordados nesta pesquisa estão próximos dos valores encontrados por vários autores, em outras regiões (SILVA et al., 2011; ALLEN et al., 2008; GIONGO, 2008; GUSMÃO, 2011). Silva et al. (2011) obtiveram erros de 0,7% em área de Cerrado e 1,3% e em plantação de Cana-de-açúcar em São Paulo, e Giongo (2008) encontrou correlação de 0,994 em área de Cerrado em Santa Rita do Passa Quatro/SP, usando dados medidos em estações meteorológicas (GUSMÃO et al., 2011).

De modo geral, o SEBAL foi eficaz para a análise do Rn em escala espacial e temporal, apresentando fortes correlações entre as estimativas encontradas pelo método proposto; embora as imagens da superfície disponíveis pelo sensor TM Landsat sejam uma limitação, a qualidade da análise com a utilização das imagens dependem da ausência de nuvens sobre a área de estudo.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho mostrou que as técnicas utilizadas com o SEBAL foram eficazes para realizar as estimativas e validações dos dados obtidos em torre na Fazenda Maracá - MT. Além das diferenças de composição florística e estrutura do dossel, a Floresta de Transição apresentou uma sazonalidade com padrões similares à floresta Amazônica.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada apresentou variação não significativa ao longo de todo o período estudado, observando a sua importância para o entendimento das variações climáticas local e o cálculo do saldo de radiação.

Os valores encontrados para o Albedo foram o esperado, de acordo com o embasamento teórico, pois, o maior valor apresentado foi em setembro de 2007. Concluindo assim que a variação do albedo está relacionada também com a espécie, fase de desenvolvimento, idade e índice de área foliar da vegetação com relação ao ângulo zenital.

A Temperatura de Superfície não apresentou variações bruscas, além disso. Apesar de a região apresentar duas estações (verão chuvoso e inverno seco) foram observados maiores valores da Radiação Solar Global na estação chuvosa, em novembro de 2006. O método proposto para estimar o Saldo de Radiação foi eficaz, pois, os valores de Rn_{inst} e Rn_{24h} estimados estiveram dentro da mesma faixa de variação dos medidos. Além disso, os valores dos coeficientes de correlações foram elevados e os erros baixos.

Este trabalho foi preliminar para estimar as trocas de energia na floresta de transição Amazônia-Cerrado. Como trabalhos futuros, pode-se explorar os diferentes métodos de estimativa do balanço de energia na mesma região por meio do sensoriamento remoto.

6. REFERÊNCIAS

ACKERLY, D. D.; THOMAS, W. W.; FERREIRA, C. A. C; PIRANI, J. R. The forest–cerrado transition zone in southern Amazonia: results of the 1985 **Project to Flora Amazonica Expedition to Mato Grosso. Brittonia**. Vol. 41, p.113–128. 1989.

ADÂMOLI, J. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os Cerrados: discussão sobre o conceito de “Complexo do Pantanal”. In: Anais do 32º Congresso Nacional de Botânica, p.109-119, 1981.

ADÂMOLI, J. MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: Goedert, W.J., Ed. Solos dos cerrados: **Tecnologias e Estratégias de Manejo**. São Paulo: Nobel/Planaltina: EMBRAPA-CPAC p.33-98, 1987.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements – FAO. **Irrigation and drainage**, paper 56. Rome, Italy, 318p, 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**. New York, vol.133, n.4, p.380-394. July/Aug. 2007.

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), Idaho Implementation – Advanced training and user’s manual**, version 1.0, 2002.

ALLEN, A. C.; VALLS, J. F. M. **Recursos Forrageiros Nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília**, EMBRAPA-CENARGEN 339p. 1987.

ALVES, A. V.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, B. B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, RS, v.6 (2): 39-46. 1998

ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, R. G.; SANCHES, L.; ALVES, E. C. R. F.; NOGUEIRA, J. S. Partição do saldo de radiação em áreas de floresta amazônica e floresta de transição amazônia-cerrado. **Revista Brasileira de Meteorologia** (2009).

ANDRADE, N. L. R.; SANCHES, L.; ALVES, E. C. R. A.; SANTOS, A. A.; NOGUEIRA, J. S. The response evaluation of the underground water level of the precipitation intensity in different land covers. In: Hydrochange 2008., 2008, Kyoto. **Proceedings of Hydrochange 2008**. Kyoto, 2008.

ANDRADE-LIMA, D. 1982. The caatingas dominium. **Revista Brasileira de Botânica**, 4: 149-163.

ANHUF, D.; WINKLER, H. Geographical and ecological settings of the Surumonicrane-project (upper Orinoco, Estado Amazonas, Venezuela). **Anzeiger Mat.- Nat. KI. Abt.1.** v. 135, p. 3-23, 1999.

ARAGÃO, L. E. O. C. Modelagem dos padrões temporal e espacial da produtividade primária bruta na região do Tapajós: uma análise multi-escala. 283p. Tese (Doutorado Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2004.

ARAÚJO, G. K. D. ROCHA, G.K. D.; LAMPARELLI, R.A.C. Relação entre NDVI da cultura da soja e dados de precipitação de estações meteorológicas e do modelo CMWF, no estado do Paraná. In **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, p.0254, Anais 2011.

ARAÚJO. A. C.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; ELBERS, J. A.; DALLAROSA, R.; STEFANI, P.; RANDOW, C.; MANZI, A. O.; CULF, A. D.; GASH, J. H.C.; VALENTINI, R.; KABAT, P. Comparative measurements of carbon dioxide fluxes from two nearby towers in a central Amazonian rainforest: **The Manaus LBA site. J. Geophys. Res.** v. 107, p. 58-1 – 58-20, 2002.

ARRUDA, J. C. **Estudo do fechamento do balanço de energia pelo método de Covariância de Vórtices Turbulentos em uma Floresta de Transição em Mato Grosso** 134p. (Tese Doutorado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

ARRUDA, J.C. **Balanço de energia em uma área de floresta Tropical de transição na região de sinop em mato grosso**, entre agosto de 1999 a maio de 2003. Dissertação (Mestrado). Departamento de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá – MT, 55 f . 2005.

ASCE EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. ASCE EWRI **Standardization of Reference Evapotranspiration Task Committee** Rep. 2005.

ASNER, G.P. E MARTIN R.E. Spectral and chemical analysis of tropical forests: Scaling from leaf to canopy levels. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 112, p.3958-3970. 2008.

ASSIS, A. M. E OMASA, K. Estimation of vegetation parameter for modeling soil erosion using linear Spectral Mixture Analysis of Landsat ETM data. **Journal of Photogrammetry e Remote Sensing**, v. 62, p.309–324, 2007.

BAKR, N.; WEINDORF, D. C.; BAHNASSY, M. H.; MAREI, S. M.; El-Badawi. Monitoring land cover changes in a newly reclaimed area of Egypt using multi-temporal Landsat data. **Applied Geography**, v.30, p.592–605, 2010.

BALDOCCHI, D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. **Global Change Biology**. Vol.9, p.479-492. 2003.

BASTIAANSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. **Wageningen Agricultural University**, 1995.

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

BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. The surface energy balance algorithm for land (SEBAL): Part 1 formulation, **Journal of Hydrology**, v.212-213, p.198-212, 1998.

BECERRA, J. A. B.; SILVA, E. A. D.; CARVALHO, S. M. I.; MARTINS, I. A.; VIANA, D. R. **Transição Floresta-Savana: Relação de variáveis ambientais e fitofisionomias**. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 3., 2010, Cáceres, MT. Anais 2010.

BERNOUX, M., CARVALHO, M.S., VOLKOFF, B., CERRI, C.C.. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**. Vol. 66, N. 3, p. 888-896. 2002.

BEZERRA, B. G. **Balço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL**. 2006. 127f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BEZERRA, B. G.; SILVA, B. B.; FERREIRA, N. J. Estimativa da evapotranspiração real diária utilizando-se imagens digitais TM - Landsat 5. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 23, n. 3, p. 305-317, 2008.

BEZERRA, M. V. C. **Balço de Energia em Áreas Irrigada Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. 2004. 108f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**. Vol. 28, p. 355-377. 1977.

BRANDÃO, Z. N.; BEZERRA, M. V. C.; FREIRE, E. C.; SILVA, B. B. 2005. Determinação de índices de vegetação usando imagens de satélite para agricultura de precisão. In: **V Congresso Brasileiro de Algodão. Salvador**, Bahia. Agosto, 2005.

BUSETTO, L.; MERONI, M.; COLOMBO, R. Combining medium and coarse spatial resolution satellite data to improve the estimation of sub-pixel NDVI time series. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.118–131, 2008.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C.; Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A.P; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CARRILHO, S. B. P. **Avaliação de modelos para estimativa da radiação de onda longa atmosférica no Cerrado Mato-Grossense**. 133 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.

CECCON, E.; MIRAMEONTES, O. Mecanismo y actores sociales de La deforestación em La Amazonia brasileña. **Interciência**. México, v. 24, n.2, p.112-119, mar-abr.1999

CHANDER; G.; MARKHAM; B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and post calibration dynamic ranges, **IEEE transactions on geoscience and remote sensing**, v.41, n.11, p.2674-2677, Nov. 2003.

CHAPIN, F. S.; MATSON, P. A.; MOONEY, H. A. **PRINCIPLES OF TERRESTRIAL ECOSYSTEM ECOLOGY**. 2Edição. Springer New York Dordrecht Heidelberg London, 2011. 546p.

CHAPIN, F.S, WOODWELL, G.M, RANDERSON, J.T, RASTETTER, E.B, LOVETT, G.M, BALDOCCHI D.D, CLARK, D.A, HARMON, M.E, SCHIMEL, D.S, VALENTINI, R, WIRTH C, ABER J.D, COLE, J.J, GOULDEN M.L, HARDEN J.W, HEIMANN M, HOWARTH, R.W, MATSON P.A, MCGUIRE A.D, MELILLO J.M, MOONEY H.A, NEFF J.C, HOUGHTON R.A, PACE M.L, RYAN M.G, RUNNING S.W, SALA O.E, SCHLESINGER W.H, SCHULZE E.D. Reconciling carbon-cycle concepts, terminology, and methods. **Ecosystems**. Vol 9, p. 1041-1050. 2006

CHEN, X.; VIERLING, L.; ROWELL, E.; DE FELICE, T. Using lidar and effective LAI data to evaluate IKONOS and Landsat 7 ETM+ vegetation cover estimates in a ponderosa pine forest. **Remote Sensing of Environment**, v.91, p.14-26, 2004.

CRACKNELL, A. P. The exciting and totally unanticipated success of the AVHRR in applications for which it was never intended. **Advances in Spatial Research**, v.28, p.233–240, 2001.

COURALT, D., SEGUIM, B., OLIOSSO, A. 2003. Review to estimate Evapotranspiration from remote sensing data: some examples from the simplified relationship to the use mesoscale atmospheric models. **ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions**, (17 Sept. 2003).

DALMAGRO, H. J. **Dinâmica da Assimilação do Carbono em Brosimum lactescens S Moore (Moraceae) na Floresta de Transição Amazônia-Cerrado**, 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá 2009.

DALMAGRO, J.H.; ALMEIDA LOBO, F.; ORTÍZ, C. E. R.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. S.; VOURLITIS, G. L.; PINTO JUNIOR, O. B. Trocas gasosas de uma espécie Lenhosa na floresta de transição Amazônia-cerrado. **Ciência e Natura**, Vol. 33, N. 2, p. 147-165, 2011.

DI PACE, F. T.; SILVA, B. B. DA; SILVA, V. P. R.; SILVA, S. T. A. Mapeamento do saldo de radiação com imagens Landsat 5 e modelo de elevação digital. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.385-392, 2008.

DIAS, R. R.; PEREIRA, E. Q.; SANTOS, L. F. 2008. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. 5 ed. Secretaria do Planejamento do Estado do Tocantins, Palmas, Tocantins. 62 pp. dynamics using spot and modis satellite images. In: ENVISAT SYMPOSIUM 2007.Montreux, Switzerland. July, 2007.

DICKINSON, R. E.; SELLERS, A.-H.; KENNEDY, P. J.; WILSON, M. F. Biosphere-Atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR community climate model. **NCAR Technical note TN-275+STR**, 69p. 1984.

DIRMEYER, P. A., E SHUKLA, J. Albedo as a modulator of climate response to tropical deforestation. **Journal of Geophysical Research**, v.99, p.20863–20878, 1994.

DU, H.; CUI, R.; ZHOU, G.; SHI, Y.; XU, X.; FAN, W.; LÜ, Y. The responses of Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) forest aboveground biomass to Landsat TM spectral reflectance and NDVI. **Acta Ecologica Sinica**, v.30, p.257–263, 2010.

EITEN, G. 1975. The vegetation of Serra do Roncador. **Biotropica**, 7 (2): 112-135.

ENGESAT. **Landsat5 TM - Ficha Técnica Resumida**. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>. Acesso em 20 de setembro de 2010.

EROS do Active Archive Center. In: EDC DAAC. **Base de dados MODIS**. Disponível em: http://daac.ornl.gov/cgi-bin/MODIS/GLBVIZ_1_Glb/modis_

FEARNSIDE, P. M. A floresta amazônica nas mudanças globais. **Manaus: INPA**, 134p. 2003

FEARNSIDE, P. M. Biodiversity as an environmental service in Brazil's amazonian forests: risks, value and conservation. **Environmental Conservation**. v. 26, p.305-321. 1999.

FEITOSA, J. R. P. **Uso de Técnica de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat-TM e NOAAVHRR na estimativa do balanço de radiação à superfície**. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa Institucional de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

FELFILI, J.M.; SILVA JÚNIOR, M.C.; SEVILHA, A.C.; FAGG, C.W.; WALTER, B.M.T.; NOGUEIRA, P.E.; REZENDE, A.V. 2004. Diversity, floristic and structural patterns of cerrado vegetation in Central Brazil. **Plant Ecology**, 175: 37-46.

FLORENZANO, T. G; **Iniciação ao Sensoriamento Remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FU, G.; SHEN, Z.; ZHANG, X.; SHI, P.; ZHANG, Y.; WU, J. Estimating air temperature of an alpine meadow on the Northern Tibetan Plateau using MODIS land surface temperature. **Acta Ecologica Sinica**, v.31, p.8–13, 2011.

GARRISON, J. D.; ADLER, G. P. Estimation of precipitable water over the United States for application to the division of solar radiation into its direct and diffuse components. **Solar Energy**, v.44, n.4, p.225-241, 1990.

GIONGO, P. R. **Estimativa do balanço de radiação com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície**. 94p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE, 2008.

GOBRON, N., PINTY, B., VERSTRAETE, M. M., WIDLOWSKI, JEAN-LUC. advanced vegetation indices optimized for up-coming sensors: design, performance, and applications. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. n.06, v.38. 2000.

GOMES, H. F. **Balanços de radiação e energia em áreas de cultivo de cana-de-açúcar e Cerrado no estado de São Paulo mediante imagens orbitais**, 119p. Tese (Doutorado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2009.

GOMES, H. F., SILVA, B. B. DA, CAVALCANTI, E. P., ROCHA, H. R. Balanço de radiação em diferentes biomas no estado de São Paulo mediante imagens Landsat 5. **Geociências**, v.28, n.2, p.153-164, 2009.

GREUELL, W.; REIJMER, C. H.; OERLEMANS, J. Narrow band-to-broad band albedo conversion for glacier ice and snow based on aircraft and near-surface measurements. **Remote Sensing of Environment**, v.82, p. 48–63, 2002.

GUSMÃO, A.C.V.L; **Obtenção do saldo de radiação através de imagens de satélite para a ilha do bananal - TO.** 2011. Dissertação (mestrado em Meteorologia), Universidade Federal de Campina Grande/PB, Campina Grande, 2011.

HAIDAR, R.F.; AMARAL, A.G.; LINDOSO, G.S.; VALE, G.D.; RIBEIRO, G.H.P.M.; SILVEIRA, I.M. 2010b. **Vegetação das áreas propostas para a criação das Reservas Extrativistas Barra do Pacuí e Buritizeiro.** Ministério do Meio Ambiente. Série Biodiversidade, 37: 27-126.

HAIDAR, R.F.; FELFILI, J.M.; MATOS, M.Q.; CASTRO, A.A.J.F. 2010 a. Fitossociologia e diversidade de manchas naturais de floresta estacional semidecidual no Parque Nacional de Sete Cidades (PN7C), Piauí, Brasil. **Biodiversidade e Ecótonos da Região Setentrional do Piauí**, 5: 141-165.

HAIDAR, R.F.; FELFILI, J.M.; PINTO, J.R.R.; FAGG, C.W. 2005. Fitossociologia da vegetação arbórea em fragmentos de florestas estacional no Parque Ecológico Altamiro de Moura Pacheco, GO. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Heringer**, 15: 19-46.

HAFEEZ M. M. et al. Field Evapotranspiration in Central Luzon, Philippines, using Different Sensors: Landsat 7 ETM+, Terra Modis and Aster. In: SIMPOSIUM ON GEOSPATIAL THEORY, PROCESSING AND APPLICATIONS, 2002, Ottawa, **Anais...** [s.n.], 2002.

HERMANCE, J. F., JACOB, R. W., BRADLEY, B. A., MUSTARD, J. F. MUSTARD. Extracting phenological signals from multiyear A VHRR NDVI time series: Framework for applying high-order annual splines. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Society.**, Vol. 45, N. 10, p. 3264- 3276. 2007.

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

HUETE, A. R.; TUCKER, C. J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p.1223-1242, 1991.

HWANG, T.; SONG, C.; BOLSTAD, P. V.; BAND, L. E. **Downscaling real-time vegetation dynamics by fusing multi-temporal MODIS and Landsat NDVI in topographically complex terrain.** Article in press, 2011.

IVANAUSKAS, N.M.; MONTEIRO, R.; RODRIGUES, R.R. 2008. Classificação fitogeográfica das florestas do Alto Rio Xingu. **Acta Amazônica**, 34: 387-402.

JIMENEZ, J. I. ET AL. On the estimation of long wave radiation flux from clear skies. **Theoretical and Applied Climatology**, v.38, n.1, p.37-42, 1987.

JIN, Y.; RANDERSON, J. T.; GOULDEN, M. L. Continental-scale net radiation and evapotranspiration estimated using MODIS satellite observations. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.2302-2319, 2011.

JIRKA, S., MCDONALD, A.J., JOHNSON, M.S., FEUDPAUSCH, T.R., COUTO, E.G. & RIHA, S.J. 2007. Relationships between soil hydrology and forest structure and composition. **Journal of Vegetation Science**, 18: 183-194.

JULIEN, Y.; SOBRINO, J. A.; JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C. Land use classification from multitemporal Landsat imagery using the Yearly Land Cover Dynamics (YLCD) method. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.13, p.711-720, 2011.

KATSIABANI, K.; ADAKTILOU, N.; CARTALIS, C.A. Generalised methodology for estimating land surface temperature for non-urban areas of Greece through the combined use of NOAA– AVHRR data and ancillary information. **Advances in Space Research**, v.43, p.930-940, 2009.

KIM, H. Y. E LIANG, S. Development of a hybrid method for estimating land surface shortwave net radiation from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.2393-2402, 2010.

KLINK, C. A. & SOLBRIG, O. T. **Biodiversidad y Funcionamiento de Pastizales y Sabanas e América Latina**. SARMIENTO, G. & CABIDO, M. (eds). CYTED y CIELAT, Venezuela, 1996.

KNYAZIKHIN, Y. NEMANI, R. R. e MYNENI, R. B. Amazon forests did not green up during the 2005 drought. **Geophysical Research Letters**. Vol. 37, p. 1- 5.2010.

KUNZ, S.H.; IVANAUSKAS, N.M; MARTINS, S.V.; SILVA, E.; STEFANELLO, D. 2008. Aspectos florísticos e fitossociológicos de um trecho de Floresta Estacional Perenifolia na Fazenda Trairão, Bacia do Rio das Pacas, Querência-MT. **Acta Amazônica**, 38(2): 245-254.

KUNZ, S.H.; IVANAUSKAS, N.M; MARTINS, S.V.; SILVA, E.; STEFANELLO, D. 2009. Análise da similaridade florística entre florestas do Alto Rio Xingu, da Bacia Amazônica e do Planalto Central. **Revista Brasileira de Botânica**, 32(4): 725-736.

KUNZ, S.H.; IVANAUSKAS, N.M; MARTINS, S.V.; SILVA, E.; STEFANELLO, D. 2009. Análise da similaridade florística entre florestas do Alto Rio Xingu, da Bacia Amazônica e do Planalto Central. **Revista Brasileira de Botânica**, 32(4): 725-736.

LAGOUARD, J. P.; BRUNET, Y.; KERR, Y.; IMBERNON, J. Estimating the daily upward longwave radiation from NOAA-AVHRR data for mapping net radiation. **Advances in Space Research**, v.11, p.151-161, 1991.

LENTINI, M; VERÍSSIMO, A; SOBRAL, L. Fatos Florestais da Amazônia 2003. Belém. **Imazon**, 110 p. 2003.

LIANG, S. Narrowband to broadband conversions of land surface albedo I Algorithms. **Remote Sensing of Environment**, v.76, p.213- 238, 2000.

LIU, J. ;SUN O.J., JIN, H., ZHOU, Z. E HAN, X. Application of two remote sensing GPP algorithms at a semiarid grassland site of North China. **Journal of Plant Ecology**. Vol 4, N. 4, p. 302–312. 2011.

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Ed. **UNIDERP**, 2006. 881 p.

LONG, D.; GAO, Y.; SINGH, V. P. Estimation of daily average net radiation from MODIS data and DEM over the Baiyangdian watershed in North China for clear sky days. **Journal of Hydrology**, v.388, p.217-233, 2010.

LOSOS, E. C. & LEIGH, JR. E. G. (Eds). 2004. **Tropical forest diversity and dynamism: findings from a large-scale plot network**. Chicago, IL: University of Chicago Press. 2004.

LOURENÇO, R.W.; LANDIM, P.M.B. Estudo da variabilidade do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada/NDVI utilizando krigagem indicativa. **Holos Environment**, v.4, n.1, p.38-55, 2004.

LU, X. L. E ZHUANG, Q. L. Evaluating evapotranspiration and water-use efficiency of terrestrial ecosystems in the conterminous United States using MODIS and Ameri Flux data. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.1924–1939, 2010.

LUEDELING, E. E BUERKERT, A. Typology of oases in northern Oman based on Landsat and SRTM imagery and geological survey data. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.1181–1195, 2008.

LUIZÃO, F. J., LUIZÃO, R.C.C.; PROCTOR, J. 2007. Soil acidity and nutrient deficiency in central Amazonian heath forest soils. *Plant Ecology*, 192: 209-224.

MAGURRAN, A. E. 1988. **Ecological diversity and its measurement**. Chapman and Hall, London, U.K. 179 pp.

MAHADEVAN, P. WOFSY, S. C., MATROSS, D. M., XIAO, X., DUNN, A. L., LIN, J. C., GERBIG, C., MUNGER, J. W., CHOW, V. Y., GOTTLIEB, E. W. A satellite-based biosphere parameterization for net ecosystem CO₂ exchange: Vegetation Photosynthesis and Respiration Model (VPRM). **Global Biogeochemical Cycles**. Vol. 22. 2008.

MALHI, Y.; WRIGHT, J.; Spatial patterns and recent trends in the climate of tropical rainforest regions. **Philosophical Transactions of The Royal Society B**. Vol. 359, N 1434, p. 311-329. 2004.

MARENGO, J. A., C. A. NOBRE, J. TOMASELLA, M. D. OYAMA, G. S. DE OLIVEIRA, R. DE OLIVEIRA, H. CAMARGO, L. M. ALVES, AND I. F. BROWN. The drought of Amazonia in 2005. **Journal Climate**. Vol. 21, N.3, p.495–516. 2008.

MARIANO, R.T.G. **Análise Espectral de séries temporais de variáveis microclimatológicas em uma área de ecótono entre os biomas Amazônia e Cerrado no norte de Mato Grosso**, 2008. 83 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá 2008.

MARIMON, B.S., FELFILI, J.M. & HARIDASAN, M. 2001. Studies in monodominant forests in eastern Mato Grosso, Brazil: I. A forest of *Brosimum rubescens* Taub. **Edinburgh Journal of Botany**, 58: 123-137.

MCCUNE, B., MEFFORD, M.J. 1997. PC-ORD: **multivariate analysis of ecological data, version 3.0**. MjM Software Design, Gleneden Beach, OR, USA. 237 pp.

MENESES, P.R; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento Remoto**. Brasília, 2012.

MENG, Q.; CIESZEWSKI, C. J.; MADDEN, M.; BORDERS, B. A linear mixed-effects model of biomass and volume of trees using Landsat ETM+ images. **Forest, Ecology and Management**, v.244, p.93–101, 2007.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). 2008. **Lista oficial das espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção** - Instrução Normativa nº 6 de 23 de setembro de 2008. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Distrito Federal.

MOORE, C. J.; G. F. FISCH. Estimating heat storage in Amazonian tropical forest. **Agricultural Forest Meteorology**. Vol. 38, p.147–169. 1996.

NASCIMENTO, A.R.T.; FELFILI, J.M.; MEIRELLES, E.M. 2004. Florística e estrutura da comunidade arbórea de um remanescente de floresta estacional decidual de encosta, Monte Alegre, GO, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 18(3): 659-669.

NEPSTAD, D.C.; STICKLER, C.M.; SOARES-FILHO, B.; MERRY, F. Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical Transactions of The Royal Society B**. Vol. 363, N. 1498, p.1737-1746. 2008.

OLIVEIRA, A. N.; AMARAL, I. L. 2004. Florística e fitossociologia de uma floresta de vertente na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. **Acta Amazônica**,34(1): 21-34.

OLIVEIRA, C. L. **Estimativa da dinâmica de carbono na biomassa lenhosa de terra-firme na reserva de desenvolvimento sustentável por métodos dendrocronológicos**. 53 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Instituto de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.

OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; DANTAS, A. C.; SILVA, B.B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográficas obtidos por sensoriamento remoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Vol.47, N. 9, p.1209-1217.2012.

OLIVEIRA-FILHO, A.T., JARENKOW, J.A. & RODAL, M.J.N. 2006. **Floristic relationships of seasonally dry forests of eastern South America based on tree distribution patterns**, p. 159-192. In: Pennington, R.T., Lewis, G.P., Ratter, J.A., (eds). Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography, and conservation. CRS Press, Edinburg, U.K

OLMOS, F.; ARBOCZ, G.; PACHECO, J. F.; DIAS, R. R. 2004. **Estudo de flora e fauna do norte do Estado do Tocantins**, p.1-154. In: Dias, R. R. (org.). *Projeto de Gestão Ambiental Integrada da Região do Bico do Papagaio*. Secretaria do Planejamento do estado do Tocantins, Palmas, Tocantins. 130 pp.

OWEN, T.W., CARLSON, T.N., GILLIES, R.R. An assessment of satellite remotely sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. **International Journal of Remote Sensing**, v.19, p.1663–1681, 1998.

PAIVA, C. M. **Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR**, Rio de Janeiro, 248f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.

PEREIRA, A. R. Radiation regime of tropical rain forest. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, p.s1-s8. 1997.

PEREIRA, A. R., VRISMAN, A. L., GALVANI, E. estimativa da Radiação solar global diária em função do potencial de energia solar na superfície do solo. **Scientia Agrícola**. v. 59, p.211-216. abr./jun. 2002.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba-RS: Liv. e Ed. Agropecuária, 2002.

PEREIRA, B.A.S., VENTUROLI, F.; CARVAHO, F.A. 2011. Florestas estacionais no Cerrado: uma visão geral. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, 41(3): 446-455.

PRADO, D.E.; GIBBS, P.E. 1993. Patterns of species distributions in the dry seasonal forests of South America. **Annals of Missouri Botanical Gardens**, 80: 902-927.

PRENTICE, I. C., FARQUHAR, G. D., FASHAM, M. J. R., GOULDEN, M. L., HEIMANN, M., JARAMILLO, V. J., KHESHGI, H. S., LEQUERE, C., SCHOLTES, R. J. E WALLACE, D.W. R. 2001. The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. In: **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. (eds. HOUGHTON, J. T. DING, Y. GRIGGS, D. J. NOGUER, M. VAN DER LINDEN, P. J. DAI, X. MASKELL, K. e JOHNSON, C. A.). Cambridge University Press, Cambridge. 2001.p. 183-237.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G.L.; HAYASHI, M.M.S.; NOGUEIRA, J.S.DE, CAMPELO JR, J.H.; NUNES, P.C.; SANCHES, L.; COUTO, E.G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J.L.; MIRANDA, E.J.; PRIANTE, P.C.; PEREIRA, L.C.; BIUDES, M.S.; FRITZEN, C.L.; LACERDA, M.; SULI, G.S.; SHIRAIWA, S.; SILVEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of apasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**. Vol. 10, p. 863-876. 2004.

QUERINO, C. A. S.; MOURA, M. A. L.; LYRA, R. F. F.; MARIANO, G. L. Avaliação e comparação de Radiação solar Global e albedo com ângulo zênital na região amazônica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3a, p.42-49, 2006.

RAICH, J. W., RASTETTER, E. B., MELILLO, J. M., KICKLIGHTER, D. W., STEUDLER, P. A., PETERSON, B. J., GRACE, A. L., MOORE III, B., e VOROSMARTY, J. Potential net primary productivity in South-America-application of a global-model. **Ecological Applications**. Vol. 1, N. 4, p.399– 429. 1991.

RATNAM, J.; BOND, W.J.; FENSHAM, R.J.; HOFFMAN, W.A.; ARCHIBALD, S.; LEHMANN, C.E.R.; ANDERSON, M.T.; HIGGINS, S.I.; SANKARAN, M. When is a ‘forest’ a savanna, and why does it matter? **Global Ecology and Biogeography**, 20: 653-660.

RATTER, J.A.; RICHARDS, P.W.; ARGENT, G.; GIFFORD, D.R. 1973. Observations on the vegetation of the northeastern Mato Grosso. The wood vegetations types of the Xavantina-Cachimbo Expedition area. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, 226: 449-492.

RICKLEFS, R. E. **A economia da Natureza**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan S.A. 1996. 470 p. 1v.

ROBERTS, D. A., NELSON, B. W., ADAMS, J. B., e PALMER, F. Spectral changes with leaf aging in Amazon caatinga. *Trees-Structure and Function. Biomedical and life sciences*. Vol. 12, N. 6, p. 315– 325. 1998.

SAATCHI, S.S.; HARRIS, N.L.; BROWN, S. LEFSKY, M.; MITCHARD, E.T.A.;SALAS, W.; ZUTTA, B.R.; BUERMANN, W.; LEWIS, S.L.; HAGEN, S.;PETROVA, S.; WHITE, L.; SILMAN, M.; MOREL, A. Benchmark map of forest carbon stocks in tropical regions across three continentes. **PNAS**, Vol. 108, N. 24, p.9899-9904, 2011.

SALESKA SR, MILLER SD, MATROSS DM, GOULDEN ML, WOFSY SC,ROCHA HR, CAMARGO PB, CRILL P, DAUBE BC, FREITAS HC, HUTYRA L,KELLER M, KIRCHHOFF V, MENTON M, MUNGER JW, HAMMIND-PYLE E,RICE AH E SILVA H. Carbon in Amazon forests: unexpected seasonal fluxes and disturbance-induced losses. **Science**. Vol. 302, N. 5650, p. 1554-1557. 2003.

SAMANTA, A., GANGULY, S. HASHIMOTO, H. DEVADIGA, S. VERMOTE, E. SANCHES, L.; VALENTINI, C. M. A.; PINTO JUNIOR, O. B.; NOGUEIRA, J. S.;VOURLITIS, G. L.; BIUDES, M. S.; SILVA, C. J.; BAMBI, P.; ALMEIDA LOBO,F. Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin, Brazil. **Journal of geophysical research**. Vol. 113, N. 113,p. 1-9. 2008.

SANCHES, L.; VALENTINI, C.M.A.; BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S. Dinâmica sazonal da produção e decomposição de serapilheira em floresta tropical de transição. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 13, N. 2,p. 183-189. 2009.

SEBAL - The Surface Energy Balance Algorithm for Land. Disponível em: <<http://www.waterwatch.nl/>>. Acesso em: 23 de Outubro de 2013.

SENDALL, M.M., VOURLITIS, G.L. E ALMEIDA LOBO F. Seasonal variation in the maximum rate of leaf gas exchange of canopy and understory tree species in an Amazonian semi-deciduous forest. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. Vol. 21, p. 65-74. 2009.

SHUAI, Y.; MASEK, J. G.; GAO, F.; SCHAFF, C. B. An algorithm for the retrieval of 30-m snowfree albedo from Landsat surface reflectance and MODIS BRDF. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.2204–2216, 2011.

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005.

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, 243-252, 2005b.

SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Balanço de Radiação no Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens Orbitais, **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n. 3, p. 143-152, 2011.

SILVA, E. A. D. ; BECERRA, J. A. B. ; CARVALHO, S. M. I. ; VON RANDOW, C. . CLASSES CLIMATOLÓGICAS NA AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DA VEGETAÇÃO NA TRANSIÇÃO FLORESTA SAVANA. In: **XVII Congresso brasileiro de meteorologia**, CBMET, 2012, Gramado - RS. XVII -CBMet, 2012.

SIMS, D. A., RAHMAN, A. F., CORDOVA, V. D., EL-MASRI, B. Z., BALDOCCHI, D. D., BOLSTAD, P. V., Flanagan, L.B., Goldstein, A.H., Hollinger, D.Y., Misson, L. Monson, R.K., Oechel, W.C., Schmid, S.P., Wofsy, S.C., Xu, L . A new model of gross primary productivity for North American ecosystems based solely on the enhanced vegetation index and land surface temperature from MODIS. **Remote Sensing of Environment**. Vol 112, p.1633–1646. 2008.

SIRIKUL, N. **Comparison of MODIS vegetation index products with biophysical and flux tower measurements**. 181 p. Dissertação (Department of Soil, Water and Environmental Science) – University of Arizona. 2007.

SOUZA, J.D.; SILVA, B.B. da; CEBALLOS, J.C. Estimativa da radiação solar global à superfície usando um modelo estocástico: caso sem nuvens. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.26, n.1, p. 31-44, 2008.

STAGAKIS, S.; MARKOS, N.; LEVIZOU, E.; KYPARISSIS, A. **Forest ecosystems subset_order_global_col5.pl**. Acesso em: 20 de setembro de 2012.

SULI, G. S. **Comparações empíricas entre medições multiespectrais de sistemas sensores e índices de área foliar verde em floresta amazônica de transição**. 2004.90p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) – Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá 2004.

TARNAVSKY, E.; GARRIGUES, S.; BROWN, M. E. Multiscale geostatistical analysis of AVHRR, SPOT-VGT, and MODIS global NDVI products. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p.535-549, 2008.

TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balances with Standardized ground control**, 2002 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan.

TUCKER, C. J. TOWNSHEND, J. R. G., GOFF, T. E. African land cover classification using satellite data. **Science**. V.227, 369-375, 1985.

VANCUTSEM, C.; CECCATO, P.; DINKU, T.; CONNOR, S. J. Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. **Remote Sensing of Environment**, v.114, p.449–465, 2010.

VELOSO, H.P.; RANGEL FILHO, A.L.R.; LIMA, J.C.A. 1991. **Classificação da Vegetação Brasileira, adaptada a um sistema universal**. IBGE, Rio de Janeiro. 112 pp.

VETRITA, Y.; CHAOYANG, W.; ZHENG, N.; HIRANO, T. Evaluation of light use efficiency model using modis in tropical peat swamp forest, Indonesia. In: **Second CReSOS International Symposium on south east Asia environmental problems and satellite remote sensing**, 2011, Indonesia, 2011, p. 127-134.

VICENTINI, A. 2004. A vegetação ao longo de um gradiente edáfico no Parque Nacional do Jaú, p. 105-131. In: BORGES, S.H., IWANAGA, S.; DURIGAN, C.C.; PINHEIRO, M. R. (Eds). **Janelas para a biodiversidade no Parque Nacional do Jaú: uma estratégia para o estudo da biodiversidade na Amazônia**. Fundação Vitória Amazônica/ WWF-Brasil, Manaus, Amazonas. 275 pp.

VOURLITIS, G. L.; PRIANTE FILHO, N.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J.de S.; RAITER, F.; HOEGER, W.; CAMPELO JR, J. H. Effects of meteorological variations of the CO₂ exchange of a Brazilian transitional tropical Forest. **Ecological Applications**. Vol. 14, N. 4, p. 89-100. 2004.

VOURLITIS, G.L. et al. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, Vol.38, N. 6, p. 1-11, 2002.

VOURLITIS, G.L., NOGUEIRA, J.S. PRIANTE-FILHO, N. HOEGER, W. RAITER, F. BIUDES, M.S. ARRUDA, J.C. CAPISTRANO, V.B. FARIA J.L.B. e ALMEIDA LOBO, F. The sensitivity of diel CO₂ and H₂O vapor exchange of a tropical transitional forest to seasonal variation in meteorology and water availability. **Earth Interactions**. Vol. 9, p. 9-27. 2005

VOURLITIS, G.L.; LOBO, F.A.; ZEHLÖFER, P.; NOGUEIRA, J.S. Temporal patterns of net CO₂ exchange for a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. **Journal of Geophysical Research**. Vol.116, p. 1-15. 2011.

WALTHALL, C.; DULANEY, W.; ANDERSON, M.; NORMAN, J.; FANG, H.; LIANG, S. A comparison of empirical and neural network approaches for estimating corn and soybean leaf area index from Landsat ETM+ imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p.465-474, 2004.

WANG, Z.; XIAO, X.; YAN, X. Modeling gross primary production of maize cropland and degraded grassland in northeastern China. **Agricultural and Forest Meteorology**. Vol. 150, N 15, p.1160–1167. 2010.

WEBB, E.K.; G.I. PEARMAN; LEUNING, R. Corrections of flux measurements for WU, C., MUNGER, J. W., NIU, Z., DA KUANG. Comparison of multiple models for estimating gross primary production using MODIS and eddy covariance data in Harvard Forest. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 114, N 12, p. 2925–2939.2010.

XIAO, X., ZHANG, Q., SALESKA, S., HUTYRA, L., CAMARGO, P. DE, STEVENWOFSEY, S., FROLKING, S., BOLES, S., KELLER, M., MOORE III, B. satellite-based modeling of gross primary production in a seasonally moist tropical evergreen forest. **Remote Sensing of Environment**. v. 94, p. 105-122. 2005. doi:10.1016/j.rse.2004.08.015

XIAO, X., BOLES, S., LIU, J. Y., ZHUANG, D. F.; LIU, M. L. Characterization of forest types in Northeastern China, using multi-temporal SPOT-4 VEGETATION sensor data. **Remote Sensing of Environment**. Vol 82, p. 335– 348. 2002.

XIAO, X., BRASWELL, B., ZHANG, Q., BOLES, S., FROLKING, S., MOORE, B. Sensitivity of vegetation indices to atmospheric aerosols: Continental- scale observations in northern Asia. **Remote Sensing of Environment**. Vol 84, p. 385–392. 2003.

XIAO, X., HOLLINGER, D., ABER, J., GOLTZ, M., DAVIDSON, E.A., ZHANG,Q., MOORE, B. Satellite-based modeling of gross primary production in an evergreen needle leaf forest. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 89, N. 4, p.519–534. 2004c.

XIAO, X.; ZHANG, Q.; BRASWELL, B.; URBANSKI, S.; BOLES, S.; WOFSEY,S.; MOORE III, B.; OJIMA, D. Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 91, N. 2, p. 256–270. 2004b.

XIAO, X.; ZHANG, Q.; HOLLINGER, D.; ABER, J.; MOORE III, B. Modeling seasonal dynamics of gross primary production of an evergreen need leaef forest using MODIS images and climate data. **Ecological Applications**. Vol. 15, N. 3, p.954-969. 2004a.

XIAO, X.; ZHANG, Q.; SALESKA, S.; HUTYRA, L.; DE CAMARGO, P.;WOFSEY, S.; FROLKING, S.; BOLES, S.; KELLER, M.; MOORE B. Satellite-based Modeling of Gross Primary Production in a Seasonally Moist Tropical Evergreen Forest. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 94, N 1, p.105– 122. 2005.

YANG, F. H., ICHII, K., WHITE, M. A., HASHIMOTO, H., MICHAELIS, A. R.,VOTAVA, P., ZHU, A. X., Huete, A. Running, S. W., Nemani, R.R. Developing acontinental-scale measure of gross primary production by combining MODIS and Ameri Flux data through Support Vector Machine approach. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 110, p. 109–122. 2007.

YUAN, F. & BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v.106, p.375–386, 2007.

ZEILHOFER, P., SANCHES, L., VOURLITIS, G. L., ANDRADE, N. L. R. Seasonal variations in litter production and its relation with MODIS vegetation indices in a semi-deciduous forest of Mato Grosso. **Remote Sensing Letters**. Vol. 3,N. 1, p. 1-9. 2011.

ZHANG, Y.; ODEH, I.O.A.; HAN, C. Bi-temporal characterization of land surface temperature in relation to impervious surface area, NDVI and NDBI, using a sub-pixel image analysis. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.11, p.256–264, 2009.