



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS COMPONENTES DO SALDO DE
RADIÇÃO EM ÁREAS DE PASTAGEM E FLORESTA NA AMAZÔNIA**

ALUNA:

RAIANNY LEITE DO NASCIMENTO

ORIENTADOR:

CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS

Campina Grande,

Março de 2012.

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS COMPONENTES DO SALDO DE
RADIÇÃO EM ÁREAS DE PASTAGEM E FLORESTA NA AMAZÔNIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em cumprimento às exigências para obtenção do grau de mestre.

Área de concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Sensoriamento Remoto Aplicado

Aluna: Raianny Leite do Nascimento

Orientador: Carlos Antonio Costa dos Santos

Campina Grande,

Março de 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

N244a Nascimento, Raianny Leite do.
Análise comparativa dos componentes do saldo de radiação em áreas de
pastagem e floresta na Amazônia / Raianny Leite do Nascimento. - Campina
Grande, 2012.
71 f.: il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.
Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos
Referências.

1. Sensoriamento Remoto. 2. SEBAL. 3. MODIS. 4. Região Amazônica.
I. Título.

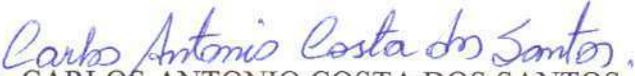
CDU 551.521.31(043)

RAIANNY LEITE DO NASCIMENTO

ANÁLISE COMPARATIVA DOS COMPONENTES DE SALDO DE RADIAÇÃO EM
ÁREAS DE PASTAGEM E FLORESTA NA AMAZÔNIA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 16/03/2012

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. RIDELSON FARIAS DE SOUSA
Centro Federal de Educação Tecnológica da Paraíba
Tecnologia em Geoprocessamento

Primeiramente a Deus que me
tem guiado desde o ventre de
minha mãe. À minha Mãe.

AGRADECIMENTOS

Na vida existem coisas que às vezes querem barrar ou frustrar nossos sonhos, mas essas coisas se tornam tímidas quando lembramos que existe algo bem maior que sonha junto a nós, Deus. Se Ele sonhou tais coisas pra mim, não há nada nem ninguém que possa detê-lo. Quem o poderá dissuadir? Então, agradeço a Deus pelo resto da minha vida, porque até aqui Ele tem me ajudado sem cessar, mesmo sendo eu por muitas vezes não merecedora da Sua ajuda e misericórdia.

Às minhas irmãs e minha amada e tão querida Mãe, que me ajudou incessante e incondicionalmente, proporcionando-me todo o conforto de amor e carinho durante toda a minha vida.

Ao meu querido e amado José Rubens de Araújo Wanderley, o grande e eterno amor da minha vida, pela paciência e apoio em mais uma etapa da minha vida acadêmica.

Aos amigos de música da Banda Marcial Machado de Assis que me divertiram e não deixaram que eu desanimasse na árdua jornada do curso, preenchendo cada momento de desânimo com os sons harmoniosos da amizade.

Aos funcionários e professores do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia que contribuíram para que eu pudesse chegar até essa etapa e superá-la. Aos amigos feitos e cultivados durante o curso e em especial ao querido Argemiro Lucena por toda paciência e ajuda dispensada em meu favor.

Ao meu ilustre coordenador de curso, professor Enio Pereira de Souza, não só pelo apoio acadêmico, mas também pelos conselhos de amigo.

Um agradecimento mais que especial ao meu orientador e amigo, professor Carlos Antonio Costa dos Santos, que foi dedicado e sempre presente, pronto a esclarecer quaisquer dúvidas que vieram a surgir e que colaborou tanto para a elaboração dessa dissertação.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) representado pelo Programa de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) pela concessão dos dados micrometeorológicos.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior) pelos recursos financeiros concedidos durante o curso.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVOS.....	10
2.1. Objetivo Geral	10
2.2. Objetivos Específicos	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
3.1. Sensoriamento remoto	11
3.2. Sensor MODIS/Aqua.....	15
3.3. TM/Landsat-5	18
3.4. Processamento digital de imagens.....	20
3.5. Saldo de radiação.....	21
3.6. Algoritmo SEBAL.....	23
4. MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1. Área de estudo	26
4.2. Materiais	30
4.2.1. Seleção de dias.....	31
4.3. Métodos	32
4.3.1. Preparação das imagens MODIS.....	32
4.3.1.1. Estimativa do Rn utilizando o SEBAL para os produtos MODIS/Aqua.....	34
4.3.1.2. Estimativa do Rn utilizando o SEBAL para os produtos TM/Landsat-5	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1. Análise das variáveis para o MODIS/Aqua.....	43
5.1.1. Temperatura da superfície	43
5.1.2. Albedo da superfície.....	45
5.1.3. NDVI	48
5.1.4. Análise das radiações de ondas curtas e longas.....	50
5.1.5. Saldo de radiação à superfície	52
5.2. Análise das variáveis estudadas para o TM/Landsat-5.....	55
5.2.1. NDVI, albedo da superfície (α) e Rn.....	55
5.2.2. Radiações de ondas curtas e longas.....	59
6. CONCLUSÕES.....	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Espectro eletromagnético. (Fonte: http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por)....	12
Figura 2: Torre micrometeorológica implantada na Floresta Amazônica nas proximidades de Manaus - AM.....	14
Figura 3: Sistema de <i>tile</i> Sinusoidal utilizado pelo sensor MODIS (Terra e Aqua). (Fonte: Land Processes Distributed Active Archive Center - LP DAAC/NASA).	15
Figura 4: MODIS/Aqua. (Fonte: http://aqua.nasa.gov/about/instrument_MODIS.php)...	16
Figura 5: Localização geográfica da área de estudo, em Rondônia, com destaque para diferentes coberturas de terra (pastagem e floresta). (Fonte: Santos et al., 2011)	26
Figura 6: a) Vista aérea da Rebio; b) Rio Jaru e c) Sede da Rebio. (Fonte: http://www.dihitt.com.br/barra/reserva-biologica-do-jaru--ro).....	27
Figura 7: Região de pastagem, Fazenda Nossa Senhora. (Fonte: Ailton Marcolino, Panorâmio)	28
Figura 8: Mapa de precipitação do Estado de Rondônia. (Fonte: SEDAM)	29
Figura 9: Composição RGB-321 das imagens antes do processo de mosaico.	32
Figura 10: Mosaico do produto Modis e imagem monocromática do TM/Landsat-5 utilizada como máscara para extrair área da imagem MODIS.....	33
Figura 11: Fluxograma do algoritmo SEBAL.	38
Figura 12: Fluxograma SEBAL para o Landsat 5 – TM.	42
Figura 13: Mapas da distribuição espaço-temporal da temperatura da superfície na escala Celsius, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.....	43
Figura 14: Distribuição temporal e comparação das temperaturas de superfície das áreas estudadas.	45
Figura 15: Mapas do comportamento da distribuição espaço-temporal do albedo da superfície, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.	46
Figura 16: Distribuição temporal e comparação dos valores de albedo da superfície das áreas estudadas.	47
Figura 17: Mapas da distribuição do comportamento espaço-temporal do NDVI obtida a partir de produtos MODIS, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.....	49

Figura 18: Distribuição temporal e comparação dos valores do NDVI para as áreas estudadas.	50
Figura 19: Mapas da distribuição do comportamento espaço-temporal do saldo de radiação à superfície, obtido a partir de produtos MODIS, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.....	53
Figura 20: Distribuição temporal e comparação dos valores do saldo de radiação à superfície das áreas estudadas.	54
Figura 21: Mapas da distribuição do comportamento espaço-temporal do NDVI, obtido a partir de produtos Landsat 5 – TM, onde: a) DOA 187; b) DOA 203, com destaque para uma parte do Rio Jaru; c) DOA 219; d) DOA 267.....	55
Figura 22: Distribuição do comportamento espaço-temporal do Rn, obtido a partir de produtos Landsat 5 – TM, onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267. .	56
Figura 23: Correlações entre os valores de Rn (a) e albedo da superfície (b) estimados pelo algoritmo SEBAL e valores medidos na área de estudo. (Fonte: Santos et al., 2011).	59
Figura 24: Comportamento diário da radiação de ondas curtas (RS_in e RS_out) e onda longa (RL_in e RL_out) de entrada e saída para datas diferentes para a pastagem (FNS), onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.	60
Figura 25: Comportamento diário da radiação de ondas curtas de entrada e saída (RS_in e RS_out) e onda longa (RL_in e RL_out) para diferentes datas na Rebio Jaru (floresta), onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.	61
Figura 26: Mapas da evolução espaço-temporal da temperatura da superfície, onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do TM/Landsat-5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – LMIN e máxima – LMAX) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA).....	39
Tabela 2: Temperatura da superfície para os pontos das torres medidos através de produtos MODIS/Aqua	44
Tabela 3: Análise comparativa dos valores do albedo para os pontos de localização das torres e o Erro Percentual (EP).....	47
Tabela 4: Valores de NDVI para os pontos das torres	48
Tabela 5: Análise comparativa dos valores da Rol_atm obtidos através do SEBAL e das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP).....	51
Tabela 6: Análise comparativa dos valores da Rol_sup obtidos através do SEBAL e das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP).....	51
Tabela 7: Análise comparativa dos valores da Roc_inc (Wm-2) obtidos através do SEBAL e através das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP)	52
Tabela 8: Análise comparativa dos valores do Rn (Wm-2) obtidos através do SEBAL e através das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP)	54
Tabela 9: Análise comparativa do saldo de radiação (Rn) e albedo da superfície (α), obtido pelo algoritmo SEBAL, com os valores medidos no local da FNS, bem como, a distribuição temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o Erro Percentual.....	57
Tabela 10: Análise comparativa do Rn estimado e α , obtido pelo algoritmo SEBAL, com os valores medidos no local da Rebio, bem como, a distribuição temporal da NDVI e EP	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Características básicas dos sensores.....	13
Quadro 2: Especificações do sensor MODIS	17
Quadro 3: Principais características e aplicações das bandas TM do satélite TM/LANDSAT-5.....	18
Quadro 4: Descrição das variáveis meteorológicas e da altura dos instrumentos nas superfícies de pastagem e floresta em Rondônia.	30
Quadro 5: Especificações das bandas do produto MYD11A2	34

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

DOA – Dia de Ordem do Ano

EOS - Earth Observing System

EP – Erro Percentual

FNS – Fazenda Nossa Senhora

HDF – Hierarchical Data Format

IAF – Índice de Área Foliar

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

TM/LANDSAT-5 - Land Remote Sensing Satellite 5 – Thematic Mapper

MODIS - Moderate or Resolution Imaging Spectroradiometer

NASA - National Aeronautics and Space Administration

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index

NMM - Nível Médio do Mar

REBIO – Reserva Biológica

Rn – Saldo de Radiação

RO - Rondônia

SAVI – Surface Adjustment Vegetation Index

SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land

SEDAM - Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental

SIG - Sistemas de Informações Geográficas

RESUMO

O principal objetivo deste estudo foi analisar de forma comparativa a estimativa do saldo de radiação à superfície (R_n) a partir de imagens orbitais com dados de superfície medidos, bem como os componentes do R_n , para dois tipos de cobertura vegetal diferentes (pastagem e floresta) e também avaliar o funcionamento do algoritmo SEBAL quando aplicado para uma região de condições atmosféricas tropical-úmida. Este estudo foi realizado no estado de Rondônia, no noroeste do Brasil. Para realizar as análises através de técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas sete imagens orbitais do sensor Modis a bordo do satélite Aqua (baixa resolução) e quatro imagens do TM/Landsat-5 para a aplicação do algoritmo e os dados de superfície medidos por duas torres micrometeorológicas, sendo uma implantada em área de pastagem e a outra na área de floresta. Os principais resultados obtidos a partir das imagens Modis (baixa resolução) mostram Erro Percentual (EP) máximos e mínimos coerentes para o R_n de 3% e 0,02% para a área de floresta e para a área de pastagem apresentou valores de EP de 10% e 0,7%. Para as imagens TM/Landsat-5 (alta resolução para estudos meteorológicos), os valores e EP máximos e mínimos foram de 16% e 7% para a floresta e 12% e 4% para a área de pastagem. Esses resultados mostram o SEBAL como uma ferramenta importante e eficaz em estudos hidrológicos e ambientais, deixando clara a boa aplicabilidade das técnicas de sensoriamento remoto para a obtenção da distribuição espacial dos parâmetros de superfície.

Palavras chave: sensoriamento remoto, SEBAL, MODIS, Região Amazônica

ABSTRACT

The main objective of this study was to analyze in a comparative way the estimate of the surface radiation balance (R_n) through orbital images and measured surface data, as well as the components of R_n , for two types of different vegetable covering (pasture and forest) and also to evaluate the operation of the SEBAL algorithm when applied for an area of tropical-humid atmospheric conditions. This study was accomplished in the state of Rondônia, in the northwest of Brazil. To accomplish the analyses through remote sensing techniques seven orbital images of sensor MODIS/Aqua, four images of TM/Landsat-5 for the application of the algorithm were used and the measured surface data for two micrometeorological towers, being an implanted in pasture area and the other in the forest area. The principal results obtained from the images Modis (low resolution) show maximum and minimum Mean Percentual Error (MPE) coherent for R_n of 3% and 0.02% for the forest area and 10% and 0.7% for the pasture area, respectively. For the TM/Landsat-5 images (high resolution) the values and maximum and minimum MPE were of 16% and 7% for the forest and 12% and 4% for the pasture area, respectively. Those results show the SEBAL as an important and effective tool in environmental and hydrological studies, showing its good application for the obtaining of spatial distribution of surface parameters.

Keywords: remote sensing, SEBAL, MODIS, Amazon Region

1. INTRODUÇÃO

Para a definição do uso do solo de uma região é necessário conhecer qual o comportamento desse solo em relação a alguns fatores ambientais. Muitas vezes, essa definição do uso, não tem uma pós-análise das consequências de tais usos, como por exemplo, a variação na taxa do saldo de radiação local que irá interferir diretamente no microclima da região, tais como: a evapotranspiração, os prejuízos ou benefícios para a agricultura, o conforto térmico, entre outros. Esses fatores vão atingir diretamente na condição de vida humana e vegetal.

Um dos fatores mais importantes no desenvolvimento dos mecanismos físicos atmosféricos que influenciam nas condições de tempo e clima do planeta Terra é a energia fornecida pelo Sol. O saldo de radiação (R_n) representa a energia disponível aos processos físicos e biológicos que ocorrem na superfície terrestre sendo definido como o balanço de radiação de todos os fluxos radiativos que chegam e saem de uma superfície (Klein *et al.*, 1977; Weligepolage, 2005). A vegetação utiliza essa energia disponível de várias maneiras, entre elas, as principais são: aquecimento (do ar, das plantas e do solo), evapotranspiração e nos processos de sínteses biológicas.

Os valores do R_n sofrem a interferência de alguns fatores relacionados ao ambiente que influenciam diretamente na radiação de onda curta e onda longa, os principais são: latitude, altitude, época do ano, cobertura de nuvens, composição espectral da radiação incidente, tipo de cobertura vegetal, disponibilidade hídrica no solo, temperatura da superfície e da atmosfera e déficit de vapor na atmosfera, que é um fator de grande influência nas trocas de energia entre a biosfera e a atmosfera.

A estimativa do R_n pode ser feita de duas maneiras, através do método convencional, utilizando torres micrometeorológicas instaladas na região onde se deseja ter essa estimativa, e o outro método mais moderno é a partir de imagens de satélites que possuam

banda termal. As torres estimam parâmetros como umidade relativa, radiação incidente e emitida, entre outros, e tem um raio de abrangência dez vezes maior que a altura do instrumento, e a imagem de satélite é processada em programas de tratamento digital de imagem, onde são calculados esses parâmetros, sem se fazer necessário o uso de dados de superfície.

Mudanças no uso do solo, como por exemplo, conversão de áreas florestais em áreas de pastagem influencia diretamente no clima local e algumas vezes no clima global, como mostram os estudos e pesquisas realizados para a região da floresta Amazônica, que tem uma grande influência na climatologia regional e global (Malhi *et al.*,2008).

No Estado de Rondônia, que sofre um acelerado processo de conversão de florestas primárias em pastagem, especificamente na região de Ji-paraná e Ouro Preto do Oeste, são encontradas duas torres micrometeorológicas localizadas em pontos distintos, uma na região onde o uso de solo é voltado especificamente para pastagem e outra na região de floresta.

Assim, a obtenção e a análise do Rn para esses dois tipos de cobertura vegetal, utilizando dados de satélite e dados micrometeorológicos é necessária para se ter um melhor entendimento dos efeitos que a mudança do uso dos solos implica no microclima local. Essas informações poderão gerar produtos cartográficos associados a banco de dados em um sistema de informações geográficas – SIG, para que possa ser feito um mapeamento do melhor manejo do uso dos solos da região de estudo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste estudo é estimar o saldo de radiação (R_n) em áreas de floresta e pastagem no município de Ji-Paraná em Rondônia utilizando o método do algoritmo SEBAL e produtos do satélite MODIS/Aqua e do TM/Landsat-5.

2.2. Objetivos Específicos

- Análise comparativa entre os resultados obtidos através de imagens do satélite MODIS/Aqua com os resultados obtidos através das torres micrometeorológicas implantadas no local;
- Análise comparativa entre os resultados obtidos através de imagens de satélite TM/Landsat – 5 com os resultados obtidos através das torres micrometeorológicas implantadas no local;
- Análise comparativa dos resultados do R_n obtidos através de imagens de baixa resolução espacial (MODIS/Aqua 1 km) com imagens de média-alta resolução (TM/Landsat-5 30m) para o período seco e de transição da área de estudo;
- Analisar e avaliar o uso do algoritmo SEBAL em região tropical úmida (isto é, com alto teor de umidade na atmosfera);
- Gerar mapas temáticos para temperatura da superfície, albedo da superfície, NDVI e saldo de radiação, utilizando SIG como ferramenta de apoio.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sensoriamento remoto

Como um conceito mais abrangente, o sensoriamento remoto é a ciência e arte de se obter informações sobre algum objeto sem ter contato direto com tal (Barrett & Curtis, 1992), porém, para uma definição mais específica para a relação do sensoriamento remoto com a questão espacial, pode-se ter como referência a definição de Lillesand & Kiefer (1994) onde é definido como a ciência e a arte de obter informação sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados adquiridos por um instrumento que não entra em contato direto com o objeto, área ou fenômeno em investigação.

Para conduzir e realizar a técnica do sensoriamento remoto é de fundamental importância a participação de três elementos: objeto de estudo, radiação eletromagnética e um sensor (radar, radiosondas, entre outros).

A radiação eletromagnética age como distribuidor da energia que incidirá sobre o objeto de estudo (materiais desde a atmosfera até a superfície terrestre), parte dessa energia será refletida, absorvida e/ou transmitida caso a matéria do objeto possua alguma transparência, e a soma deles sempre será igual à energia incidente, o sensor captará esses processos através das intensidades do espectro eletromagnético e, com essas medidas, obtém imagens nas regiões do visível (vermelho, verde e azul) ao infravermelho em cada intervalo determinado de comprimento de onda. Na Figura 1, pode ser entendido melhor como é o comportamento das ondas nas faixas espectrais.

A energia eletromagnética, proveniente do Sol, interage distintamente com cada tipo de alvo, e o que vai determinar essa diferença é a composição físico-química de cada objeto, assim também como textura, densidade e posição relativa das feições em relação ao ângulo de incidência solar e à geometria de imageamento (Figueiredo, 2005), esses alvos

mandam como resposta sinais espectrais de comportamento aos sensores, garantindo assim, sua assinatura espectral.

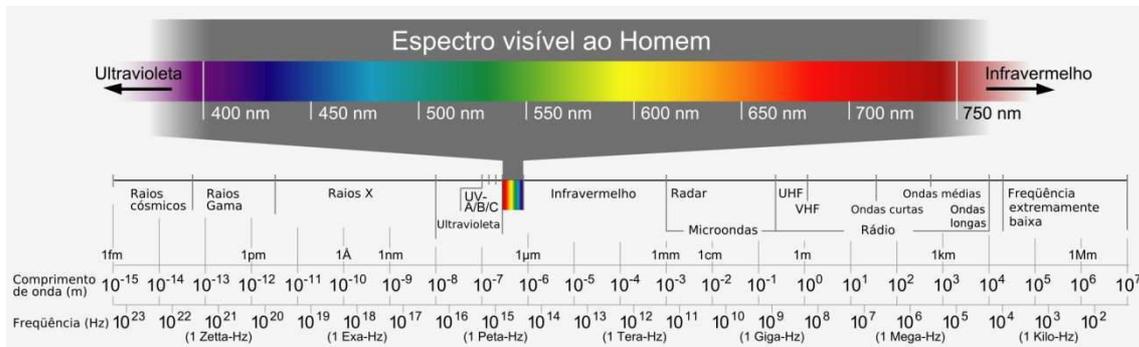


Figura 1: Espectro eletromagnético. (Fonte: <http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por>).

Segundo Novo (2008), quanto ao princípio de funcionamento, os sensores podem ser divididos em não-imageadores e os imageadores, o que os diferencia os dois é que, o imageador permite que seja gerada uma imagem bidimensional, e em alguns casos, tridimensional da superfície imageada. E quanto aos outros detalhes característicos, independente da região do espectro em que operam, possuem um subsistema de colimação de energia proveniente da superfície (lentes e antenas), um subsistema de detecção e registro dessa energia, e um subsistema de processamento do sinal detectado.

O Quadro 1 exhibe, resumidamente, as características intrínsecas básicas dos sensores, que são: geométricas, espectrais e radiométricas, indicando o que os usuários podem esperar dos dados coletados.

Os sensores utilizados para o sensoriamento remoto terrestre e orbital com fins científicos possuem diversas plataformas e instrumentos específicos para cada nível de aquisição de dados, esses, listados abaixo com suas respectivas altitudes:

- a) Satélite geoestacionário - 36.000 km;
- b) Satélite de órbita polar - 500 a 1.000 km;

- c) Estações espaciais - 400 km;
- d) Ônibus espaciais - 250 a 300 km;
- e) Aviões de alta altitude - 10 a 20 km;
- f) Aviões de média altitude - 1 a 8 km;
- g) Aviões de baixa altitude - 150 a 800 m;
- h) Aviões ultraleves - até 500 m;
- i) Helicópteros - 100 a 2.000 m;
- j) Aeromodelos - abaixo de 50 m;
- k) Caminhões com escadas - até 30 m;
- l) Torres fixas em campos - até 30 m;
- m) Embarcações.

Quadro 1: Características básicas dos sensores.

Características geométricas	Campo de visada (FOV) – largura da faixa imageada
	Campo de visada instantâneo (IFOV) – resolução espacial
	Registro entre bandas
	Alinhamento
	Função de transferência de modulação (MTF)
	Distorção óptica
Características espectrais	Range de observação dentro do espectro eletromagnético
	Resolução espectral
	Sensibilidade à polarização
	Sensibilidade entre as bandas
Características radiométricas	Precisão de detecção do sinal (resolução radiométrica)
	Amplitude de variação do sinal detectado
	Nível de quantização do sinal
	Razão sinal/ruído
	Potência equivalente ao ruído

Fonte: Novo, 2008.

Dentre esses instrumentos citados acima, para fins meteorológicos, os mais utilizados são satélites geoestacionário, satélites de órbita polar e torres fixas em campos, estas, tendo utilidade de micrometeorologia.

Os satélites geoestacionários são colocados em uma órbita circular em torno da terra tal que a sua velocidade de rotação seja a mesma da terra, ou seja, para um observador na terra o satélite comporta-se como se estivesse estacionário em um determinado local no céu, já os que possuem a órbita polar, recebem esse nome porque passam pelos pólos ou perto deles.

Uma torre micrometeorológica tem como principal objetivo, fornecer estrutura para a montagem de sensores e equipamentos que coletarão dados meteorológicos para uma análise específica da área estudada. A Figura 2 exibe uma torre que está implantada na Floresta Amazônica nas proximidades de Manaus - AM, no Brasil.

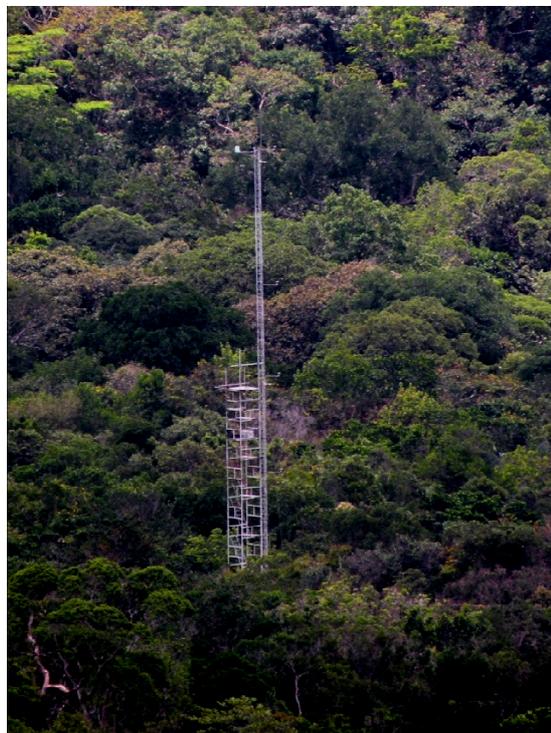


Figura 2: Torre micrometeorológica implantada na Floresta Amazônica nas proximidades de Manaus - AM.

3.2. Sensor MODIS/Aqua

Segundo consta na página de *internet* da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), o MODIS (*Moderate/Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um instrumento fundamental, a bordo dos satélites Terra (EOS AM) e Aqua (EOS PM) pertencentes à Agência Espacial Americana – NASA. A órbita do Terra ao redor do Planeta Terra é sincronizado de modo a passar de norte a sul através do equador pela manhã, enquanto o Aqua passa do sul para o norte sobre o equador à tarde. Com uma faixa de visão de 2.333 km, o MODIS Terra e o MODIS Aqua imageam a superfície da Terra inteira a cada 1 a 2 dias, e adquire os dados em três resoluções espaciais diferentes: 250 m, 500 m e 1 km.

O sistema de projeção padrão utilizado nos produtos MODIS é o *Sinusoidal Tiling System*, um sistema que distribui as imagens em *tiles* de 10 graus em 10 graus. O sistema de coordenadas *tile* inicia em (0,0) (número do *tile* na horizontal, número do *tile* na vertical), a partir do canto superior esquerdo e seguindo para direita (horizontal) e para baixo (vertical), como pode ser visto na Figura 3.

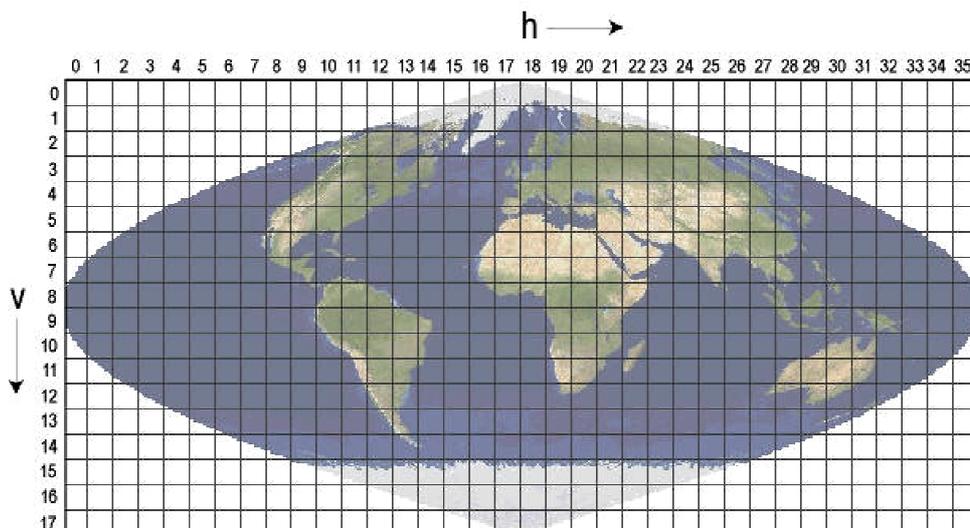


Figura 3: Sistema de *tile* Sinusoidal utilizado pelo sensor MODIS (Terra e Aqua). (Fonte: Land Processes Distributed Active Archive Center - LP DAAC/NASA).

Estes dados irão melhorar a compreensão da dinâmica global e os processos que ocorrem na terra, nos oceanos e na atmosfera. O MODIS desempenha um papel vital no desenvolvimento global e no sistema interativo da Terra, capaz de prever as mudanças globais com precisão suficiente para ajudar os gestores políticos na tomada de decisões sólidas sobre a proteção do nosso ambiente. A Figura 4 ilustra o sensor MODIS, como destaque no satélite Aqua.

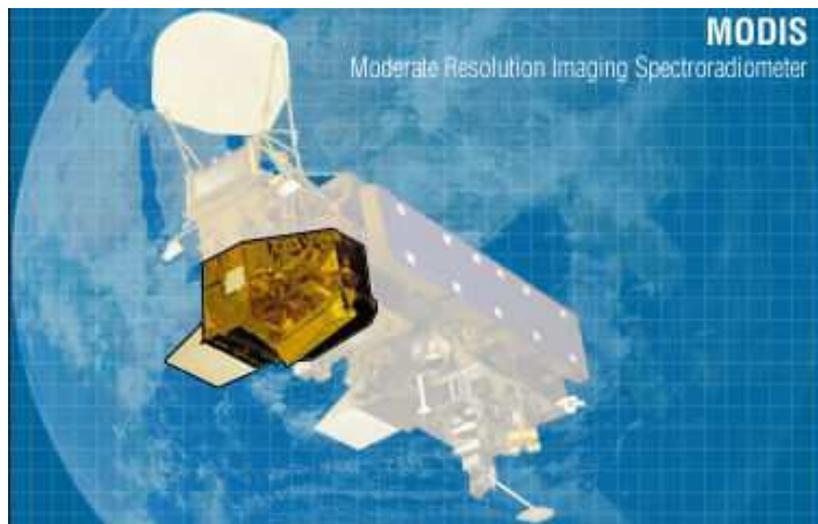


Figura 4: MODIS/Aqua. (Fonte: http://aqua.nasa.gov/about/instrument_MODIS.php).

Os objetivos científicos do MODIS são avaliar:

- Temperatura da superfície (solo e oceano) e detecção de incêndio;
- Cor do oceano (sedimento, Fitoplâncton);
- Mapas da vegetação global e detecção de mudanças;
- Características da nuvem;
- Concentrações de aerossóis.

O instrumento de 274 kg capta dados em 36 faixas espectrais em comprimento de ondas a partir de 0,4 μm a 14,4 μm . Juntos os instrumentos mapeiam todo o planeta no

prazo de uma a dois dias. São desenhados para prover medidas em grande escala da dinâmica global, incluindo mudanças na cobertura de nuvens da Terra, processos ocorrendo nos oceanos, na terra, e na atmosfera mais baixa. O sensor possui um canal para detecção de nuvens do tipo *cirrus*, as quais se acredita que contribuem para o aquecimento por refração de calor emitido pela superfície. MODIS permite também mapear área coberta por neve e gelo trazidos por uma tempestade de inverno e/ou temperaturas frias. As bandas do MODIS são sensíveis a incêndios, elas podem distinguir chamas de brasas e fornecer estimativas melhores de uma quantidade de aerossóis e gases de fogo dispersos na atmosfera. As especificações do instrumento MODIS estão listadas no Quadro 2.

Quadro 2: Especificações do sensor MODIS

Órbita:	705 km, 10:30 nó descendente (Terra) ou 13:30 nó ascendente (Aqua), heliosíncrona, quase polar, circular
Taxa de Leitura:	20.3 rpm, faixa transversal
Dimensões de faixa:	2330 km (transversal) por 10 km (ao longo do Nadir)
Telescópio:	17.78 cm diam. Fora do eixo, afocal, com campo de pausa intermediário
Tamanho:	1.0 x 1.6 x 1.0 m
Peso:	228.7 kg
Energia:	162.5 W (<i>single orbit average</i>)
Taxa de dados:	10.6 Mbps (<i>peak daytime</i>); 6.1 Mbps (<i>orbital average</i>)
Quantização:	12 bits
Resolução espacial:	250 m (bandas 1-2)
	500 m (bandas 3-7)
	1000 m (bandas 8-36)

Fonte: LP DAAC.

3.3. TM/Landsat-5

O satélite LANDSAT 5 (*Land Remote Sensing Satellite*) foi lançado em 01 de Março de 1984 e funciona em órbita quase polar-heliossíncrona a 705 km de altitude. O sensor TM (*Thematic Mapper*) a bordo do satélite LANDSAT 5 faz o imageamento da superfície terrestre produzindo imagens com 185 km de largura no terreno, resolução espacial de 30 metros e 7 bandas espectrais. O tempo de passagem do satélite para imagear uma mesma porção do terreno é de 16 dias.

Os produtos do TM/Landsat-5, dependendo da Estação de Recepção estão disponíveis de imediato a partir do dia de sua aquisição. A qualidade de cena e a avaliação da cobertura de nuvens são geradas pela estação de recepção, que gera igualmente os *Quick-Looks* para as cenas que estão disponíveis após algumas horas após a passagem do satélite e podem ser adquiridas sem custo pela *Internet*, ou senão em alguns dias quando o sistema não é atualizado tão rapidamente. O Quadro 3 apresenta as orientações de aplicação de cada banda TM/Landsat-5.

Quadro 3: Principais características e aplicações das bandas TM do satélite TM/LANDSAT-5

Banda	Intervalo espectral (μm)	Aplicações
1	(0,45 – 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 – 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à 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)	<p>A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.</p> <p>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. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinus e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.</p>
4	(0,76 – 0,90)	<p>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.</p>
5	(1,55 – 1,75)	<p>Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.</p>
6	(10,4 – 12,5)	

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.
---	------------------	---

Fonte: ENGESAT.

Disponível em: <http://www.engesat.com.br/?system=news&action=read&id=528>

3.4. Processamento digital de imagens

De acordo com Crósta (1992), qualquer imagem de satélite possui limites entre áreas, cada área por sua vez com diferentes características de respostas em relação à energia eletromagnética. Esses limites podem ser, por exemplo, entre diferentes coberturas do terreno (solo, vegetação, rocha), como também podem ser áreas que estejam sofrendo algum tipo de sombreamento devido nuvens ou acidentes topográficos, o que resulta em diferentes níveis de cinza (DN: *digital numbers*) das imagens monocromáticas.

O principal objetivo do uso do processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de algumas feições estruturais para que o recurso humano possa compreender de forma mais clara os dados existentes na imagem e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

As maneiras possíveis de manipulação no processamento de imagens são teoricamente infinitas. Entretanto, de um modo geral, podem ser categorizadas em um ou mais procedimentos que incluem quatro tipos abrangentes de operações computacionais (QUEIROZ, 2003):

A. **Retificação e Restauração de Imagens:** operações realizadas para minimizar as distorções e degradações dos dados de uma imagem, com a finalidade de criar uma representação mais fiel da cena.

B. **Realçamento de Imagens:** procedimentos aplicados aos dados de uma imagem com o objetivo de melhorar efetivamente a visualização da cena, para subsequente interpretação visual.

C. **Classificação de Imagens:** estas operações têm a finalidade de substituir a análise visual dos dados por técnicas quantitativas de análise automática, visando à identificação das regiões presentes na cena.

D. **Combinação de Dados (*data merging*):** procedimentos utilizados para combinar os dados de uma imagem, referente a uma certa área geográfica, com outros conjuntos de dados referenciados geograficamente, para a mesma área.

3.5. Saldo de radiação

Na superfície terrestre há vários processos físicos e biológicos acontecendo constantemente e para que eles ocorram é necessário que haja um saldo de radiação (R_n), que é a energia disponível para a realização de tais processos. Esse saldo é representado pela diferença do fluxo de energia de ondas curtas e longas, que incidem e são emitidas pela superfície terrestre. O R_n tende a ser positivo durante o dia, devido ao brilho solar, que ocasiona o fluxo de energia incidente superior ao fluxo de energia emitida e refletida pela superfície terrestre e durante o período da noite, esse saldo tende a ser negativo, já que o processo de liberação de energia se inverte e a incidência de energia é baixa, pois é proveniente apenas da atmosfera, tornando assim, o fluxo de energia emitida pela superfície terrestre superior (Monteith e Unsworth, 1990; Pezzopane *et al.*, 1995).

Devido a essa variação de valores do R_n (positivo/negativo) durante a jornada de 24 horas diária, o meio ambiente tem que ajustar suas funções, onde durante a incidência de energia solar, a vegetação realiza suas funções, principalmente a fotossíntese e a transpiração, e durante o período da noite quase não há processos biológicos.

Os estudos para o meio ambiente e suas implicações têm crescido de forma admirável no âmbito científico e suas vertentes ficam mais aprimoradas a cada dia. Com o auxílio de algumas tecnologias, as teorias estudadas há décadas têm sido melhor aplicáveis e de maneira mais eficaz. Dentre as tecnologias utilizadas para estudos ambientais, as mais comumente utilizadas são as geotecnologias, que são tecnologias desenvolvidas com objetivo principal de analisar dados de nível terrestre e de nível orbital (atmosfera). Dentro dessas geotecnologias, a que atende melhor o desenvolvimento de estudo de dados espaciais e atmosféricos é o sensoriamento remoto, que é uma ferramenta consolidada e de desenvolvimento prático que atende as necessidades para tal estudo.

Após estudos científicos desenvolvidos por Feitosa *et al.* (1998) analisando a influência dos aerossóis e do vapor d'água sobre a variação média horária da radiação solar global em áreas de pastagem e de floresta no Estado de Rondônia, durante as estações seca e chuvosa dos anos de 1992 à 1996 concluíram que a variedade de vegetação modificam as características da radiação solar global incidente, uma vez que, há influência do tipo de superfície sobre cobertura de nuvens. Estudos realizados por Shuttleworth *et al.* (1991); Bastable *et al.* (1993) mostram que com a mudança da vegetação natural de floresta úmida para pastagem em áreas desmatadas afeta direta e consideravelmente o R_n à superfície. Shuttleworth *et al.* (1984b) obtiveram o valor medido de R_n igual a 412 Wm^{-2} no mês de setembro de 1983, em Manaus. Filho *et al.* 2006, encontraram através de dados medidos no nordeste da Amazônia o valor máximo de R_n igual a $622,5 \text{ Wm}^{-2}$ em dia de céu claro.

Logo, o sensoriamento remoto vem como uma ferramenta inovadora capaz de observar e medir quantitativamente os processos físico-químicos da superfície terrestre em grande escala espacial e apresentando um bom custo-benefício (Cai e Sharma, 2010), visto que muitos produtos radiométricos podem ser adquiridos gratuitamente. Portanto, vários estudos têm tentado estimar R_n através da combinação de sensoriamento remoto com

dados de observações atmosféricas e da superfície (Rimóczi-Paal, 2005; Samani *et al*, 2007;. Ryu *et al*, 2008;. Di Pace *et al*, 2008;. Wang e Liang, 2009).

3.6. Algoritmo SEBAL

Para a estimativa de parâmetros do solo e/ou vegetação, nem sempre se faz necessário o conhecimento *in situ* da área de estudo, portanto, o sensoriamento remoto vem com ferramentas para possibilitar o desenvolvimento de estudos ambientais à distância.

Nessa visão, Bastiaanssen *et al.* (1998a,b) estudaram e apresentaram as funcionalidades e aplicações do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) para obter valores de R_n , com variações no espaço e no tempo. Desenvolvido por Bastiaanssen em 1995 na Holanda, o SEBAL é um algoritmo que visa realizar estimativas dos componentes do balanço de energia, passando pelo R_n e chegando até a evapotranspiração, baseado em combinações de relações empíricas e parametrizações físicas (Bastiaanssen *et al.*, 1998 a,b).

Para aplicar a metodologia do SEBAL é necessário fazer uso das radiâncias espectrais registradas nos sensores dos satélites e de um conjunto de dados meteorológicos de superfície, que incluem a velocidade do vento e a temperatura do ar, para obter o balanço de energia à superfície da terra (Courault *et al.*, 2002). Para estimar o R_n é preciso computar os valores do albedo da superfície, das emissividades e índices de vegetação, temperatura da superfície. O SEBAL tem sido testado contra uma variedade desses métodos em diferentes condições ambientais (Bastiaanssen *et al.*, 2005).

Um fato importante e por muitas vezes conclusivo para o estudo do comportamento da superfície terrestre, é que há uma relação entre algumas constantes atmosféricas com o perfil da reflectância e a temperatura da superfície de áreas, o que pode ser aplicada para determinar as propriedades efetivas da superfície (Bastiaanssen, 1995).

Estudos e experimentos realizados ao longo das últimas décadas têm comprovado a eficácia do algoritmo SEBAL para a estimativa do R_n através de imagens de satélite.

Os vários testes com o SEBAL através de uma variedade de climas e ecossistemas, durante as últimas décadas, mostram que a técnica tem sido cientificamente consistente. Ahmad *et al* (2009) aplicou o algoritmo SEBAL para realizar um diagnóstico de desempenho da irrigação e produtividade da água através de dados de satélites de sensoriamento remoto e secundário um sistema de irrigação em grande do Paquistão. Este estudo demonstra como o sensoriamento remoto baseado em estimativas de consumo e tensão de água combinados com dados secundários de produção agrícola pode fornecer melhores estimativas de desempenho na irrigação, incluindo a produtividade da água, em uma variedade de escalas de alternativas. Zhang *et al.* (2008) demonstraram a eficácia do algoritmo SEBAL após aplicá-lo no comparativo das estimativas dos fluxos de calor, através de imagens dos sensores MODIS/Aqua (1 km) e TM/Landsat-5 (30 m), levando em consideração o efeito da heterogeneidade da superfície, pois devido a resolução espacial de cada sensor. Logo, foi observado que há um alto grau de consistência entre as consultas de R_n e fluxo de calor no solo dos satélites TM/Landsat-5 e MODIS/Aqua, enquanto a comparação entre o fluxo de calor sensível e latente era pobre. Para as comparações entre a previsão por satélite e torre de medição de fluxo, o TM/Landsat-5 apresentou melhor desempenho que o MODIS/Aqua. As estimativas de calor com o aumento da escala espacial sugerem que o relevo influencia as previsões dos fluxos de calor.

O SEBAL pode ajudar no estabelecimento (1) da relação entre o uso do solo e o planejamento do uso de água em bacias hidrográficas; (2) estudar o impacto dos projetos de conservação hídrica na real economia de água; (3) na análise do desempenho de sistemas de irrigação; (4) na avaliação do impacto ambiental devido à extração do lençol

freático; (5) na modelagem hidrológica; (6) no sistema de monitoramento de degradação da vegetação nativa; (7) na vitalidade das florestas e (8) na avaliação da produtividade hídrica da cultura, dentre outras aplicações (Bastiaanssen *et al.*, 2005).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área de estudo

O presente estudo foi realizado no Estado de Rondônia, no noroeste do Brasil. A área de floresta, é chamada de Reserva Biológica do Jaru (Rebio-Jaru), localizada nas coordenadas $10^{\circ} 04' 48.00''$ S e $61^{\circ} 55' 48.00''$ W e 120 m acima do nível do mar. A área de pastagem está localizada na fazenda de criação de gado denominada Fazenda Nossa Senhora (FNS), apresentando coordenadas geográficas de $10^{\circ} 45' 0.00''$ S e $62^{\circ} 22' 12.00''$ W e elevação de 293m com relação ao nível médio do mar. Na Figura 5, encontra-se a localização geográfica da área de estudo, em Rondônia, com destaques para os diferentes tipos de cobertura (pastagem e floresta).

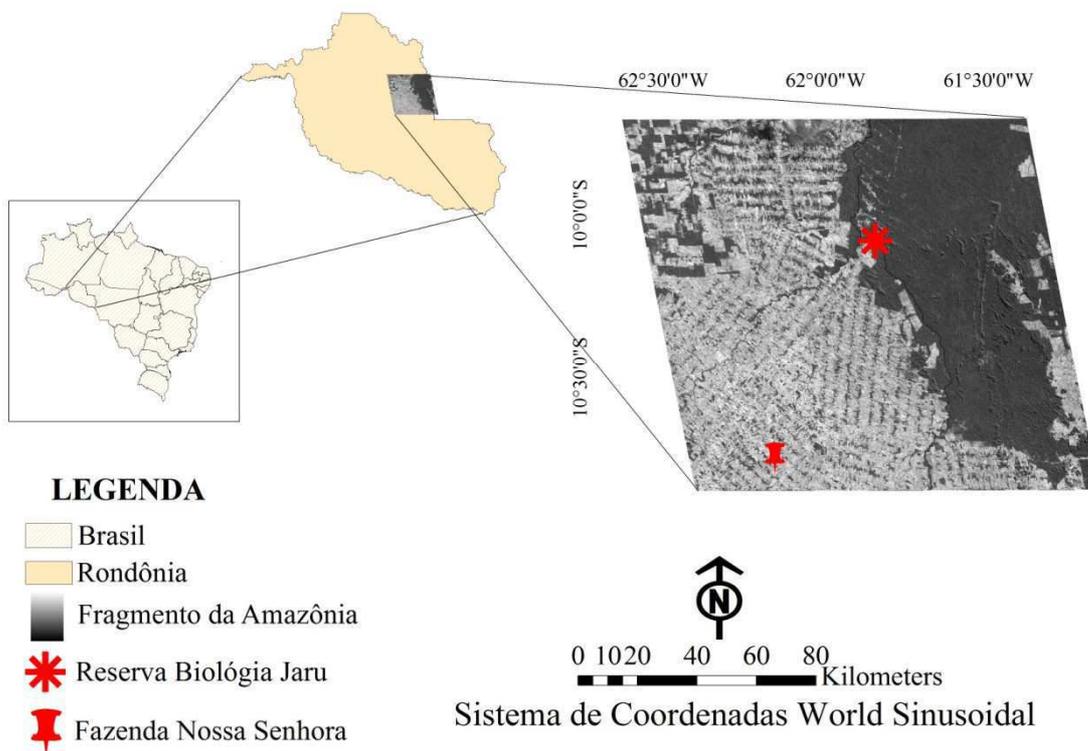


Figura 5: Localização geográfica da área de estudo, em Rondônia, com destaque para diferentes coberturas de terra (pastagem e floresta).

A média anual da umidade relativa do ar varia de 80% a 90% no verão, e em torno de 75%, no outono - inverno. A evapotranspiração potencial (ETP) é alta durante todo o ano, apresentando valores superiores a 100 mm/mês. O total anual da ETP só atinge valores superiores aos da precipitação mensal nos meses de maio, junho, julho e agosto. Durante o período estudado, houve incidência de precipitação na área de pastagem, em um total registrado de 9,4mm³, já para a área de floresta, o valor total registrado foi de apenas 0,4mm³, porém, não há registros para os dias que foram analisados aqui. A umidade relativa do período é muito variável, apresentando comportamento médio aproximado de 67% para a área de pastagem e 72% para a área de floresta (SEDAM, RO).

Na Figura 6 podem ser vistas algumas fotos da área da Rebio e na Figura 7, algumas fotos da área da fazenda.



Figura 6: a) Vista aérea da Rebio; b) Rio Jaru e c) Sede da Rebio. (Fonte: <http://www.dihitt.com.br/barra/reserva-biologica-do-jaru--ro>).



Figura 7: Região de pastagem, Fazenda Nossa Senhora. (Fonte: Ailton Marcolino, Panorâmio)

Os principais fenômenos atmosféricos ou mecanismo dinâmico que atuam no regime pluvial do Estado de Rondônia são: as Altas Convecções diurnas (água evaporada no local e a evapotranspiração resultante do aquecimento das superfícies das águas, florestas e vegetação), associadas aos fenômenos atmosféricos de larga escala: a Alta da Bolívia - AB (anticiclone que se forma nos altos níveis da atmosfera (200 hPa) durante os meses de verão e situa-se sobre o altiplano boliviano), a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT e as Linhas de Instabilidade - LIs (conglomerados de nuvens cumulonimbus que se forma na costa norte – nordeste do oceano Atlântico, devido a circulação da brisa marítima).

Nos meses de inverno a brisa pluvial da Bacia Amazônica (circulação local que ocorre nos baixos níveis da atmosfera) e os aglomerados convectivos de meso e grande escalas, associado com a penetração de sistemas frontais, advindo da região Sul e Sudeste do Brasil, são os principais mecanismos responsáveis pelas chuvas de baixa intensidade, enquanto que, o nos meses de verão ocorre o período mais chuvoso, onde se observa uma grande atividade convectiva causada por uma maior incidência de radiação solar, durante o ano. O período chuvoso ocorre entre os meses de outubro a abril, e o período mais seco em junho, julho e agosto. Maio e setembro são meses de transição. O clima predominante

dessa região é o clima equatorial, o mais chuvoso do Brasil, com a maior parte do ano quente e úmido, e aproximadamente 3 meses de seca. As temperaturas médias anuais variam entre 24° e 26°C, podendo atingir temperaturas máximas de 33°C e mínimas de 10°C. A precipitação pluvial anual varia de 1400 a 2500 mm (SEDAM). A Figura 8 exibe um mapa da precipitação média anual para todo o Estado de Rondônia.

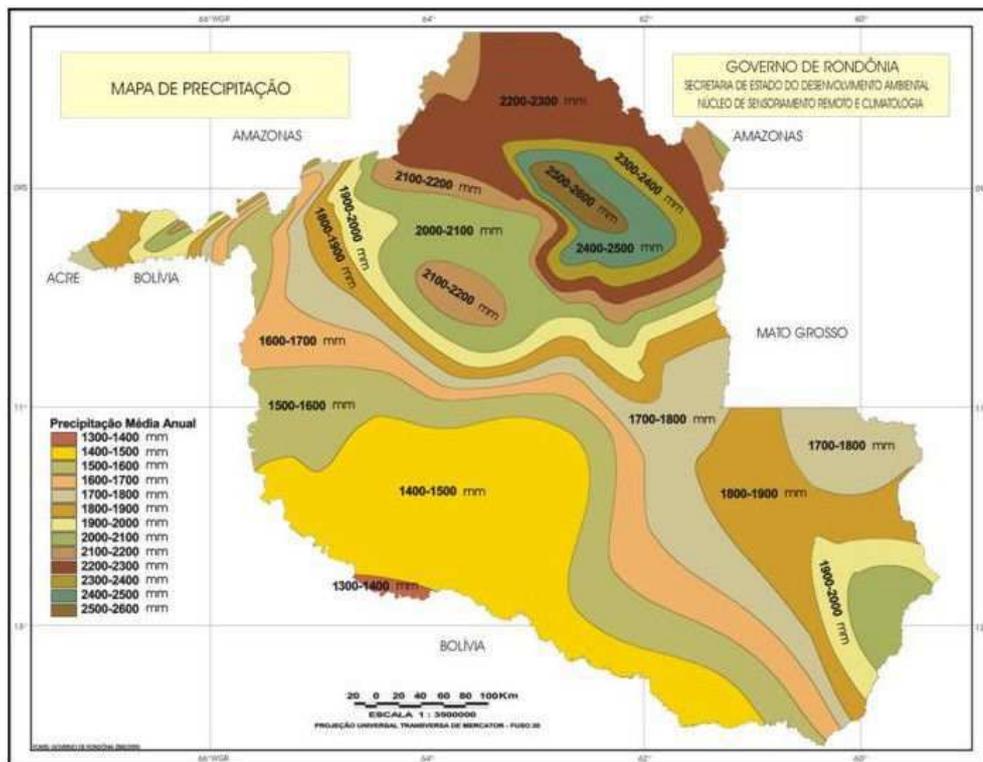


Figura 8: Mapa de precipitação do Estado de Rondônia. (Fonte: SEDAM)

As torres que realizam as medições micrometeorológicas estão localizadas uma na região de floresta e a outra na região de pastagem. A lista das variáveis meteorológicas e da altura dos instrumentos é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4: Descrição das variáveis meteorológicas e da altura dos instrumentos nas superfícies de pastagem e floresta em Rondônia.

Variáveis meteorológicas	Instrumentos	Altura (m) Pastagem (FNS)	Altura (m) Rebio-Jaru (Floresta)
Radiação de onda curta incidente e refletida	Piranômetro Kipp & Zonen (CM21)	6.5	19.03
Radiação de onda longa emitida e incidente	Piranômetro Kipp & Zonen (CG1)	6.5	60.0
Temperatura e umidade do ar	Termohigrômetro Vaisala HMP35A	8.3	59.1
Velocidade do vento	Anemômetro Vector A100R	9.3	61.1
Temperatura da superfície radiativa	Sensor infravermelho Heimann (KT15)	8.0	59.1
Precipitação	Pluviômetro	0.5	60.3

Fonte: Von Randow *et al.* (2004)

4.2. Material

Para a obtenção do R_n através de imagens com baixa resolução foram utilizados os produtos MYD03, MYD07, MYD09_A1, MYD11_A2 do sensor MODIS a bordo do satélite Aqua, correspondente ao ano de 2008, dos *tiles* h11v09 e h11v10 que foram utilizados para realizar mosaicos da região e com horário de passagem às 14:35h e 15:25h, horário local.

Os dados de superfície utilizados para a análise comparativa foram adquiridos das torres localizadas nas duas áreas de estudo e são referentes a todo ano de 2008 em intervalos de 10 minutos. Esses dados foram cedidos pelo LBA/INPA.

As imagens de média-alta resolução são do satélite TM/Landsat-5 e foram adquiridos do *site* do INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, com horário de passagem entre 9:00 h e 10:00 h, horário local.

O *software* utilizado para o processamento das imagens foi o ERDAS *Imagine* e para a confecção dos mapas temáticos foi utilizado o SIG ArcGis.

4.2.1. Seleção de dias

Para realizar o processamento para a obtenção do Rn, foram utilizados produtos gerados pelo satélite MODIS/AQUA a cada oito dias para todo o ano de 2008, o que resultou em 45 imagens. Dentre esses 45 produtos, foram selecionados apenas os que não apresentavam nuvens sobre os pontos de coordenadas conhecidas, referentes às torres micrometeorológicas. Dessa seleção sobraram 07 imagens, referentes aos dias Juliano: 161 (09/jun), 169 (17/jun), 177 (25/jun), 185 (3/jul), 193 (11/jul), 201 (19/jul), 209 (27/jul), que é o período que abrange os meses de junho e julho, que são os meses onde ocorre parte do período seco e com pouca presença de nuvens. Para o TM/Landsat-5, do sensor TM (*Thematic Mapper*), os dias de céu claro selecionados também estão dentro do período seco e de transição, que foram os dias 187 (05/jul), 203 (21/jul), 219 (06/ago), 267 (23/set), que estão nos períodos dos meses julho, agosto e setembro. Esses produtos são gerados a cada 16 dias.

Os dados de referência foram coletados através das torres micrometeorológicas foram analisados de forma prévia para se ter conhecimento das condições reais dos valores das variáveis da área estudada, mesmo estes valores representando uma área menor de abrangência se comparada à área imageada pelo sensor MODIS, tendo visto que as torres não abrangem áreas maiores que 1 km². Esses dados foram medidos para todo o ano de 2008 em intervalos de 10 minutos, contendo as variáveis através das quais foi possível realizar uma melhor análise comparativa dos componentes do saldo de radiação da área estudada, que são: albedo da superfície, radiação de onda longa emitida (R_{ol_atm}), radiação de onda longa incidente (R_{ol_inc}), radiação de onda curta incidente (R_{oc_inc}). A

temperatura de superfície e o NDVI foram calculados apenas a partir do SEBAL para os produtos MODIS/Aqua e Landsat 5-TM.

4.3. Métodos

4.3.1 Preparação das imagens MODIS

Para iniciar os cálculos para obtenção do R_n , foi necessário haver uma preparação dos produtos MYD09 e MYD11, então foi realizado o mosaico para estes produtos, dos dias selecionados, utilizando a ferramenta *MosaicPro* do *software* Erdas Imagine®. Este procedimento foi necessário para estes produtos porque a área de estudo se encontrava fracionada em dois *tiles* diferentes, o h11v09 e h11v10. A Figura 9 exibe uma imagem de composição RGB-321 para o DOA 161 do MYD09, como o produto é recebido.

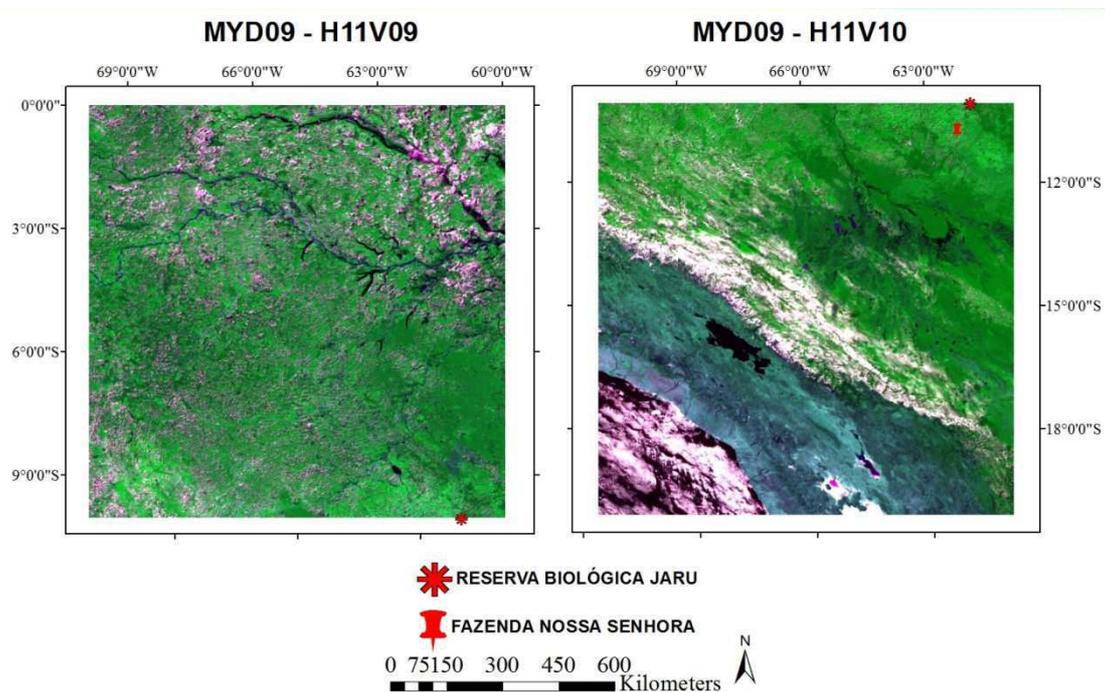


Figura 9: Composição RGB-321 das imagens antes do processo de mosaico.

Depois de realizado o processo de mosaico, foi notado que, para estudar a área de interesse, não era necessário fazer uso da imagem completa, então foi feito a extração da área para que os processos se tornassem mais ágeis, devido o tamanho reduzido do

produto, enquanto o mosaico tem tamanho 2401x4800 *pixels* (largura x altura), o novo recorte tem 374x289 *pixels* (largura x altura). Esse procedimento foi realizado através da ferramenta *Mask*, também do *software* Erdas Imagine®.

Para realizar essa etapa, foi preciso ter uma espécie de forma da área, então foi utilizado um dos produtos do TM/Landsat-5 com resolução espacial de 30m, que já estavam no tamanho da área definida para o estudo. A Figura 10 mostra o produto após o processo de mosaico e o produto do Landsat que foi utilizado para realizar o recorte da área.

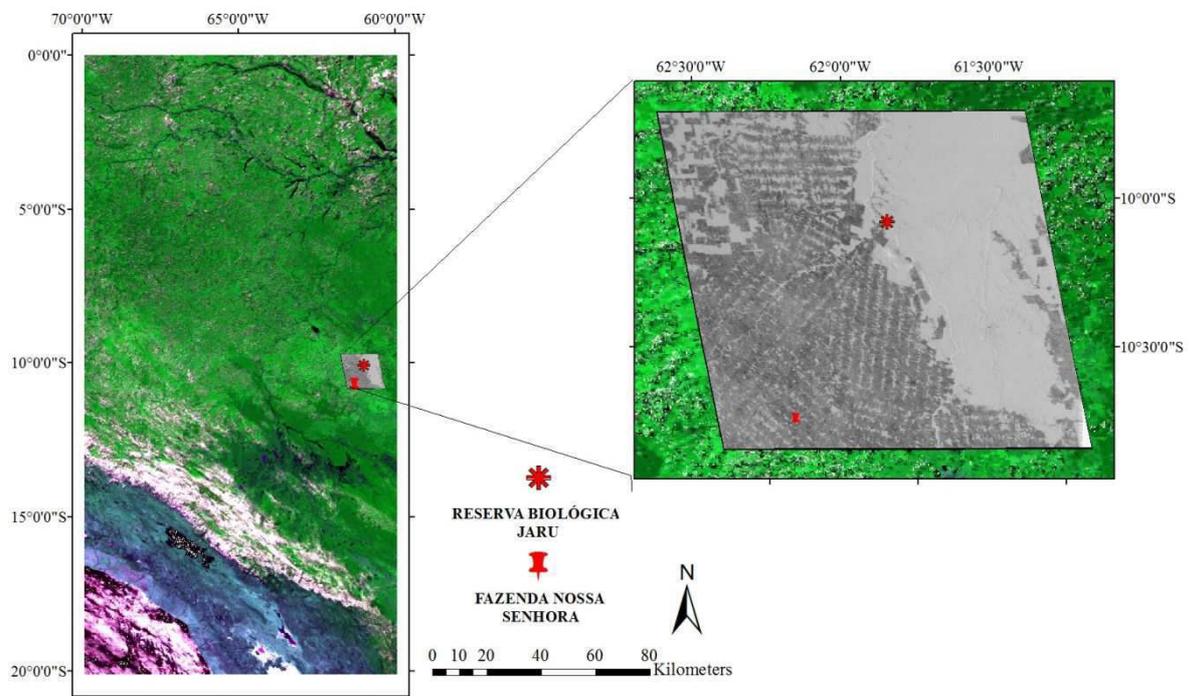


Figura 10: Mosaico do produto MODIS e imagem monocromática do TM/Landsat-5 utilizada como máscara para extrair área da imagem MODIS.

Por ter resolução espacial de 1 km, a imagem recortada a partir de um produto com resolução espacial maior (30m), a imagem resultante se apresenta com os *pixels* aparentes, porém não influencia nos procedimentos, a única desvantagem é o aspecto visual desse produto.

Tendo realizado todos esses procedimentos de preparação dos produtos MODIS, já pode ser aplicado o algoritmo SEBAL para a obtenção do Rn.

4.3.1. Estimativa do Rn utilizando o SEBAL para os produtos MODIS/Aqua

O *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) (Bastiaanssen *et al.*, 1998 a, b) utiliza radiâncias espectrais registradas pelos sensores dos satélites meteorológicos e medidas para resolver o Rn na superfície do solo (Gao *et al.*, 2008). A obtenção de fluxos de energia a partir de qualquer ponto da superfície da terra exige principalmente insumos energéticos, ou seja, ondas curtas e radiação de onda longa e a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto podem fornecer esses insumos em uma escala espacial e temporal razoável (Norman *et al.*, 1995).

As temperaturas do ar e da superfície são fatores de grande influência no entendimento do comportamento dos componentes do Rn, principalmente para a radiação de onda longa incidente, portanto é necessário que a temperatura da superfície seja computada. Sabe-se que a banda 1 dos produtos MYD11A2 é referente a temperatura de superfície para o dia e para obter a temperatura em Kelvin basta multiplicar a banda 1 de cada produto pelo fator de correção que é 0,02, como pode ser visto no Quadro 5, que especifica as características de cada banda desse produto.

Quadro 5: Especificações das bandas do produto MYD11A2

Conjuntos de Dados (camadas HDF) (12)	Unidades	Tipo de bit	Intervalo válido	Fator de escala
LST_Day_1km: 8-Day daytime 1km grid land surface temperature	Kelvin	16-bit unsigned integer	7500–65535	0,02
QC_Day: Quality control for daytime LST and emissivity	Bit	8-bit unsigned integer	0-255	-
Day_view_time: Average time	Horas	8-bit unsigned	0-240	0,1

of daytime land surface temperature observation		integer		
Day_view_angle: Average view zenith angle of daytime land surface temperature	Graus	8-bit unsigned integer	0-130	1 (-65)
LST_Night_1km: 8-Day nighttime 1km grid land surface temperature	Kelvin	8-bit unsigned integer	7500-65535	0,02
QC_Night: Quality control for nighttime LST and emissivity	Bit	8-bit unsigned integer	0-255	-
Night_view_time: Average time of nighttime land surface temperature observation	Horas	8-bit unsigned integer	0-240	0,1
Night_view_angle: Average view zenith angle of nighttime land surface temperature	Graus	8-bit unsigned integer	0-130	1 (-65)
Emis_31: Band 31 Emissivity	-	8-bit unsigned integer	0-255	0.0020 (+0.49)
Emis_32: Band 32 Emissivity	-	8-bit unsigned integer	0-255	0.0020 (+0.49)
Clear_sky_days: the days in clear sky conditions and with valid LSTs	-	8-bit unsigned integer	0-255	-
Clear_sky_nights: the nights in clear sky conditions and with valid LSTs	-	8-bit unsigned integer	0-255	-

Fonte: LP DAAC.

Para o cálculo do Rn através do algoritmo SEBAL, primeiramente se faz necessário o cômputo de alguns parâmetros dos produtos de satélites, conforme descrição:

a) Albedo da superfície

O albedo é definido pela razão entre a radiação solar global refletida por cada pixel e a radiação solar incidente no mesmo, em toda a faixa da radiação de onda curta (0,3 a 3,0

μm). Para a sua determinação será utilizado o método proposto por Liang (2000), fundamentado na equação:

$$\alpha_L = 0,160 \cdot \rho_1 + 0,291 \cdot \rho_2 + 0,243 \cdot \rho_3 + 0,116 \cdot \rho_4 + 0,112 \cdot \rho_5 + 0,081 \rho_7 - 0,0015 \quad (1)$$

onde $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_7$, representam as refletâncias monocromáticas relativas a cada uma das sete bandas espectrais do MODIS, distribuídas por meio do produto MODIS/Aqua.

b) Saldo de radiação à superfície

Durante as horas de brilho solar, o saldo de radiação em uma superfície qualquer tende a ser positivo, pois os fluxos incidentes (global e atmosférico) são superiores às frações refletidas e emitidas. Por outro lado, durante a noite, é comum que esses valores sejam negativos, pois o fluxo incidente passa a ser apenas atmosférico e a energia emitida pela superfície, superior a este, resultando em um saldo de radiação negativo (Galvani *et al.*, 2001).

O saldo de radiação será estimado com base na Equação (2), quanto ao método de cômputo do albedo da superfície, da radiação de onda curta incidente e da radiação de onda longa incidente.

$$R_n = R_{S\downarrow} (1 - \alpha) + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (2)$$

em que $R_{S\downarrow}$ é a radiação de onda curta incidente, α 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 ϵ_0 é a emissividade de cada pixel. As densidades de fluxos são expressas em Wm^{-2} .

c) Radiação de onda curta incidente ($R_{S\downarrow}$)

A radiação de onda curta incidente ($R_{S\downarrow}$) corresponde ao fluxo de radiação solar (direta e difusa) que atinge a superfície terrestre e que para condição de céu claro pode ser obtida, segundo Allen *et al.* (2007), a partir da Equação 3:

$$R_{S\downarrow} = \frac{S_0 \cdot \cos\theta_z \cdot \tau_{sw}}{d^2} \quad (3)$$

onde S_0 é a constante solar (1367 W m^{-2}); θ_z é ângulo zenital solar, em graus, obtido do produto MODIS/AQUA; d^2 = quadrado da distância relativa Terra-Sol, obtido segundo Duffie e Beckman (1991) pela Equação 4:

$$d^2 = \frac{1}{1 + 0,033 \cos(DOA \cdot 2\pi/365)} \quad (4)$$

onde DOA é o dia de ordem do ano. Já a transmissividade atmosférica (τ_{sw}) será estimada de acordo com Allen *et al.* (1998) através da Equação 5:

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

onde z representa a altitude de cada pixel da imagem.

d) Radiação de onda longa incidente

A radiação de onda longa incidente, emitida pela atmosfera na direção da superfície - $R_{L\downarrow}$ (W m^{-2}), foi obtida através da Equação 6, de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \sigma T_a^4 \quad (6)$$

onde T_a é a temperatura do ar próximo à superfície, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e ε_a é a emissividade atmosférica, calculada segundo modelo proposto na Equação 7 por Bastiaanssen *et al.* (1998), qual seja:

$$\varepsilon_a = a(-\ln \tau_{sw})^b \quad (7)$$

onde a e b são coeficientes de calibração cujos valores, de acordo com Bastiaanssen *et al.* (1998), são respectivamente iguais a 1,08 e 0,265.

e) Radiação de onda longa emitida

A radiação de onda longa emitida por cada pixel - $R_{L\uparrow}$ ($W m^{-2}$) será calculada também segundo a equação de Stefan-Boltzmann:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \sigma T_S^4 \quad (8)$$

onde ε_0 é a emissividade de cada pixel e T_S (K) é a temperatura da superfície, que serão obtidos do produto MODIS/AQUA. A emissividade da superfície será considerada igual à média aritmética das emissividades das bandas 31 e 32, conforme proposto por Bisht *et al* (2005).

O albedo utilizado para computar o R_n será o albedo Liang. Andrade (2008) também utilizou a Equação 1 para o cômputo do albedo que posteriormente será utilizado para estimativa do R_n segundo o método SEBAL. A Figura 11 representa o fluxograma das etapas para estimar o R_n através do algoritmo SEBAL, utilizando produtos do satélite MODIS/Aqua.

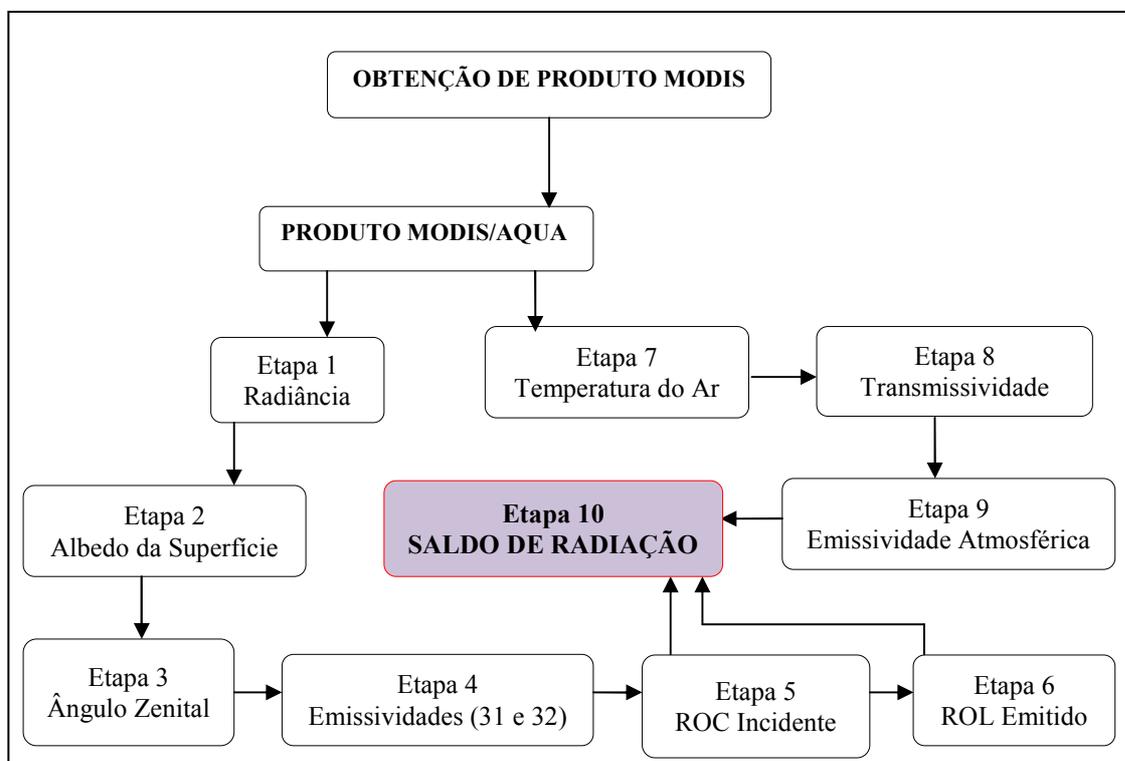


Figura 11: Fluxograma do algoritmo SEBAL.

f) NDVI - (*Normalized Difference Vegetation Index*)

O NDVI é um índice que permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial, como também identificar sua evolução no decorrer do tempo. Embora não seja preciso o cômputo do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) para obter o Rn para os produtos MODIS/Aqua, ele foi calculado para comparativos e análises posteriores através da Equação 9:

$$NDVI = \frac{(\rho_{II} - \rho_I)}{(\rho_{II} + \rho_I)} \quad (9)$$

onde ρ_I e ρ_{II} correspondem respectivamente às reflectâncias monocromáticas das bandas 01 e 02 do Produto MYD09A1 do MODIS/AQUA.

4.3.2. Estimativa do Rn utilizando o SEBAL para os produtos TM/Landsat-5

Para o TM/Landsat-5, o SEBAL utiliza as sete bandas do espectro, Banda 1 – visível (azul); Banda 2 – visível (verde); Banda 3 – visível (vermelho); Banda 4 – infravermelho próximo; Banda 5 – infravermelho médio; Banda 6 – infravermelho termal; Banda 7 – infravermelho médio. A Tabela 1 apresenta alguns parâmetros referentes a esses produtos.

Tabela 1: Descrição das bandas do Mapeador Temático (TM) do TM/Landsat-5, com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração (radiância mínima – LMIN e máxima – LMAX) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA)

Bandas	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de calibração ($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)		Irradiância espectral no topo da atmosfera
		LMIN	LMAX	
1 (Azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036

5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

As etapas para a obtenção do Rn para os produtos TM/Landsat-5 são basicamente as mesmas utilizadas para o MODIS, porém, com alguns cálculos acrescentados para o cômputo da calibração radiométrica, da reflectância monocromática e dos índices de vegetação (NDVI, SAVI, IAF).

a) **Calibração radiométrica (L_λ)**

A radiância espectral de cada banda (L_λ) representa a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida a nível do satélite Landsat (aproximadamente 705 km de altura), para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; para a banda 6, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel e pode ser obtida pela equação (Markham & Baker, 1987). A calibração radiométrica ou radiância espectral, (L_λ) é a primeira etapa do processamento dos produtos do TM/Landsat-5 do SEBAL e, que foi calculada pela Equação 10:

$$L_\lambda \left(\frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{255} \right) DN + L_{MIN} \quad (10)$$

onde L_{MAX} e L_{MIN} são as constantes de calibração espectral do sensor e o DN é o número digital de cada pixel da imagem.

b) **Reflectância Monocromática (ρ_λ)**

A segunda etapa a ser calculada é a reflectância monocromática (ρ_λ), que é a razão entre a radiação solar refletida e incidente em cada pixel, ou seja, ρ_λ representa a porção da radiação solar de cada banda refletida e pode ser obtida através da Equação 11 (Allen *et al.*, 2002):

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi L_{\lambda}}{ESUN_{\lambda} \cos \theta d_r} \quad (11)$$

onde L_{λ} é a radiância espectral; $ESUN_{\lambda}$ é a constante solar monocromática associada a cada banda do TM/Landsat-5 (Chander e Markham, 2003); θ é o ângulo zenital do Sol; e d_r é a distância relativa Terra-Sol, que pode ser obtida através da Equação 12.

$$d_r = 1 + 0,033 \cos \left(DOA \frac{2\pi}{365} \right) \quad (12)$$

onde DOA é o dia de ordem do ano em que são obtidos os produtos (imagens de satélite), cujos valores correspondem aos dias da geração das imagens.

c) NDVI - (Normalized Difference Vegetation Index)

O NDVI pode ser obtido pela razão da diferença da banda do vermelho com a banda do infravermelho próximo pela soma da mesma de acordo com a Equação 13 (Tucker, 1979 *apud* Tasumi, 2003).

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (13)$$

onde ρ_V é a banda do vermelho e ρ_{IV} é a banda do infravermelho próximo.

Com o cálculo do NDVI foi possível adquirir o SAVI e o IAF de acordo com a Equação 14 e 15 (Huete, 1988 e Allen *et al.*, 2002):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (14)$$

onde L é um fator de ajuste. O fator de correção L pode variar entre 0, para coberturas vegetais mais densas, e 1 para vegetação menos densa. O valor padrão utilizado na maioria das aplicações é 0,5, que corresponde a uma densidade vegetal intermediária.

$$IAF = \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (15)$$

A Figura 12 apresenta o fluxograma da rotina do SEBAL para o TM/Landsat-5 para a obtenção do Rn.

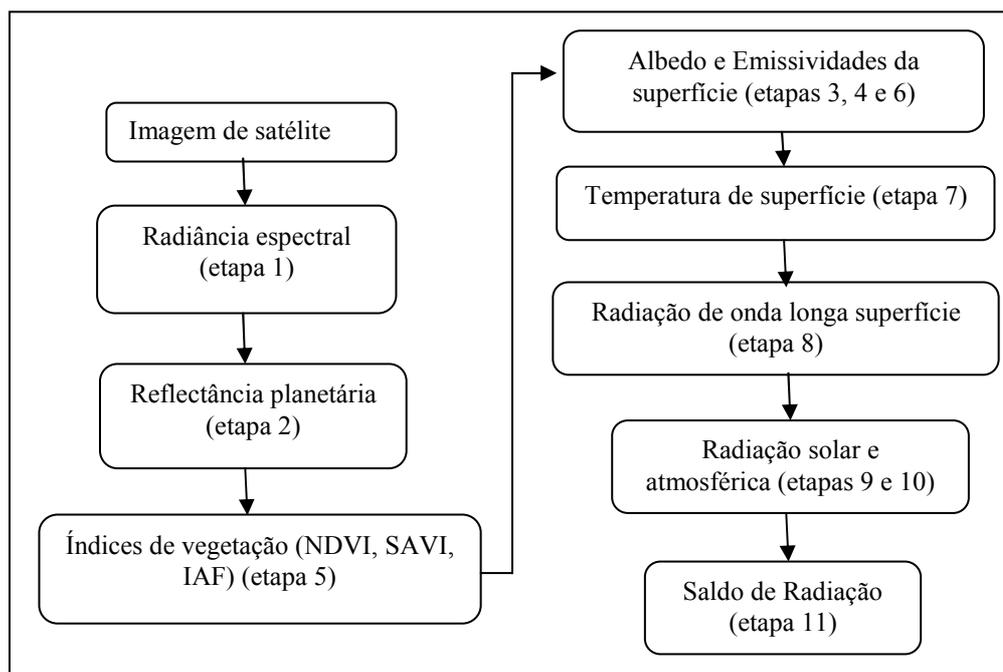


Figura 12: Fluxograma SEBAL para o Landsat 5 – TM.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise das variáveis para o MODIS/Aqua

5.1.1. Temperatura da superfície

Com a temperatura da superfície calculada para os dias selecionados, foram obtidas as cartas de distribuição espaço-temporal da temperatura de superfície, como mostra a Figura 13, que foram confeccionadas utilizando as ferramentas de *layout* do *software* ArcGis 9.3 e delas foram extraídos os valores das coordenadas referentes às duas áreas, que podem ser vistos na Tabela 2.

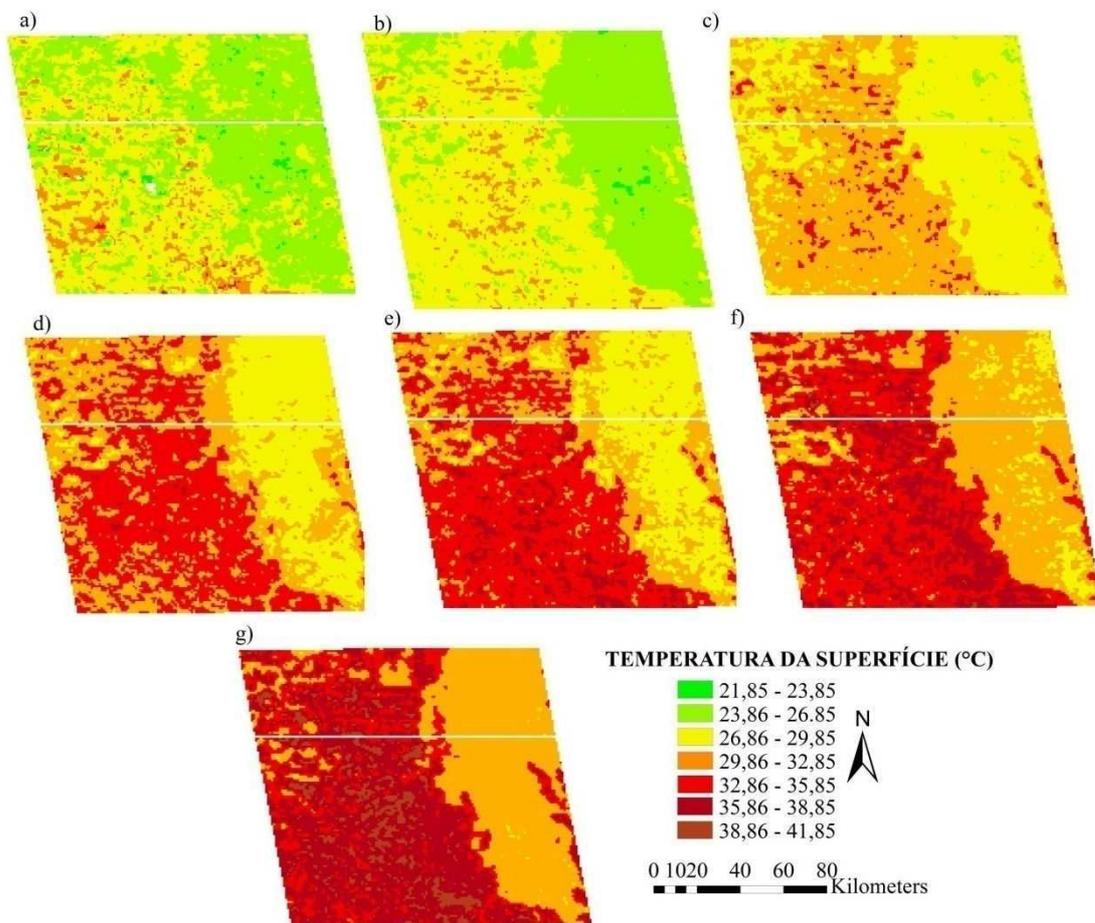


Figura 13: Mapas da distribuição espaço-temporal da temperatura da superfície na escala Celsius, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.

Tabela 2: Temperatura da superfície para os pontos das torres medidos através de produtos MODIS/Aqua

DOA	REBIO (°C)	FNS (°C)	DIFERENÇA (° C)
161	26,4	29,3	2,9
169	27,6	29,4	1,8
177	28,7	30,4	1,7
185	31,3	32,6	1,3
193	31,0	35,3	4,3
201	32,0	35,8	3,8
209	33,8	35,2	1,9

O aumento da temperatura para os dois pontos é bastante notório e esperado, sabendo que as datas de coleta dos dados são de um período seco. No entanto, é importante que se perceba o aumento da temperatura da superfície em números, tendo para a área de floresta um aumento médio de aproximadamente 1°C por data para o período e uma diferença superior a 7 °C entre os DOA 161 (09/jun) e 209 (27/jul). Para a área de pastagem, onde há uma exposição maior do solo, esse aumento foi menor que o da região de floresta, apresentando uma diferença de aproximadamente 6 °C do primeiro dia em relação ao último, porém em todas as situações apresentou valores de temperatura maiores que a área de floresta. Este resultado indica que existe uma maior absorção de calor na área de pastagem, resultando numa maior taxa de aquecimento do ar sobre a região. Esses resultados indicam que ocorre uma alteração no microclima local quando a floresta é substituída por pastagem, levando a um maior aquecimento da atmosfera, devido à maior disponibilidade de energia na forma de calor sensível em comparação com a floresta.

Nesses resultados, também pode se observado outro fato presente na distribuição espaço-temporal da temperatura, que a diferença entre os valores para as áreas foi marcante para dois dias: DOA 193, com aumento de 4,3 °C e DOA 201, que apresentou aumento de 3,8 °C, tendo sempre a temperatura mais alta para a região de pastagem. Esses dias estão justamente no meado do período seco da região estudada.

A Figura 14 apresenta o gráfico que foi elaborado a partir desses valores pontuais da temperatura e faz o comparativo para as regiões e a distribuição temporal para o período estudado.

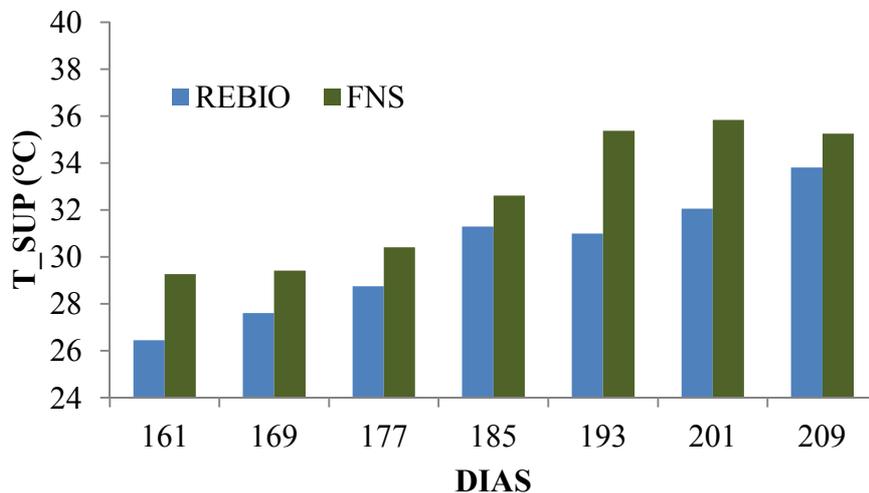


Figura 14: Distribuição temporal e comparação das temperaturas de superfície das áreas estudadas.

5.1.2. Albedo da superfície

Os dados quantitativos do albedo da superfície apresentaram valores de 0,02 a 0,45. De acordo com os dados pode ser observado que o albedo da superfície da área de pastagem é sempre maior do que na área de floresta. Esse fato pode ser explicado por dois fatores: o tom da coloração da vegetação e a estrutura vertical característica de cada área. A área de floresta tem vegetação mais escura e mais alta (em média 30 metros), o que acarreta na menor refletividade de energia, diferente da área de pastagem, por ser caracterizada por solo exposto, vegetação gramínea e arbustiva, detém menor absorção de energia solar que chega a ser absorvida.

A Figura 15 exibe a maneira com que o albedo se comportou nesse intervalo de tempo da amostra.

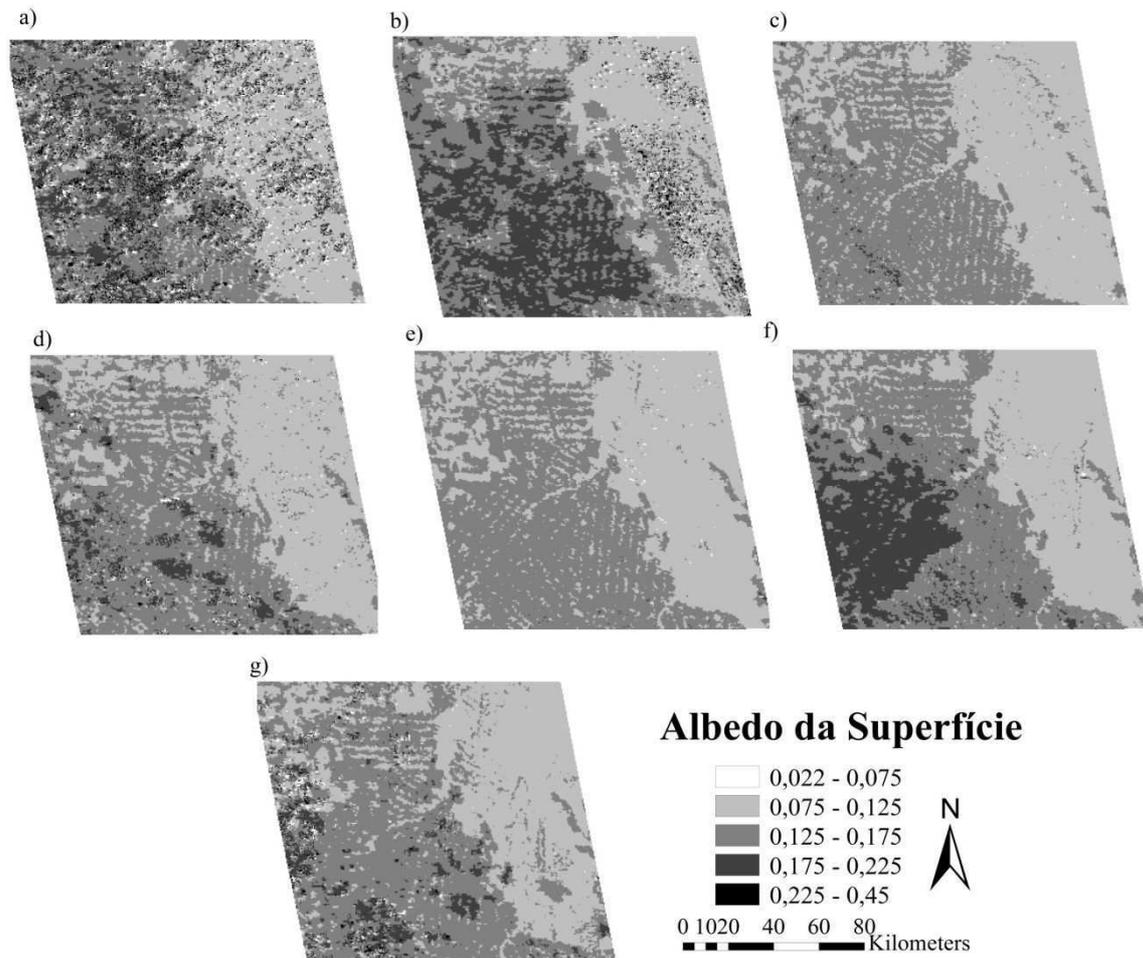


Figura 15: Mapas do comportamento da distribuição espaço-temporal do albedo da superfície, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.

Em comparação aos dados medidos na área de estudo pelas torres micrometeorológicas, em todos os casos foram registrados valores superiores para as duas áreas, exceto para a última data dos dados da Rebio. A Tabela 3 mostra os valores de albedo para os pontos nas duas áreas que foram coletados pelas torres e através das imagens do MODIS/Aqua.

Tabela 3: Análise comparativa dos valores do albedo para os pontos de localização das torres e o Erro Percentual (EP)

DOA	Rebio (MODIS)	Rebio (Torre)	EP (%)	FNS (MODIS)	FNS (Torre)	EP (%)
161	0,104	0,117	-11	0,189	0,196	-6
169	0,104	0,120	-13	0,189	0,193	-2
177	0,096	0,124	-22	0,159	0,196	-19
185	0,110	0,122	-10	0,158	0,199	-21
193	0,109	0,123	-11	0,175	0,200	-12
201	0,113	0,121	-7	0,188	0,204	-8
209	0,124	0,115	8	0,182	0,205	-11

A Tabela mostra que, para a região de floresta, o EP mostrou valores máximos e mínimos de 7% e 22%, sendo o menor EP para o DOA 201 e o maior para o DOA 177. Os valores de EP máximos e mínimos obtidos para a região de pastagem foram 21% e 2%, respectivamente para os dias 185 e 169.

A Figura 16 mostra a evolução temporal do albedo (medido e estimado), apresentados na Tabela anterior, para as áreas de estudo nos dias analisados.

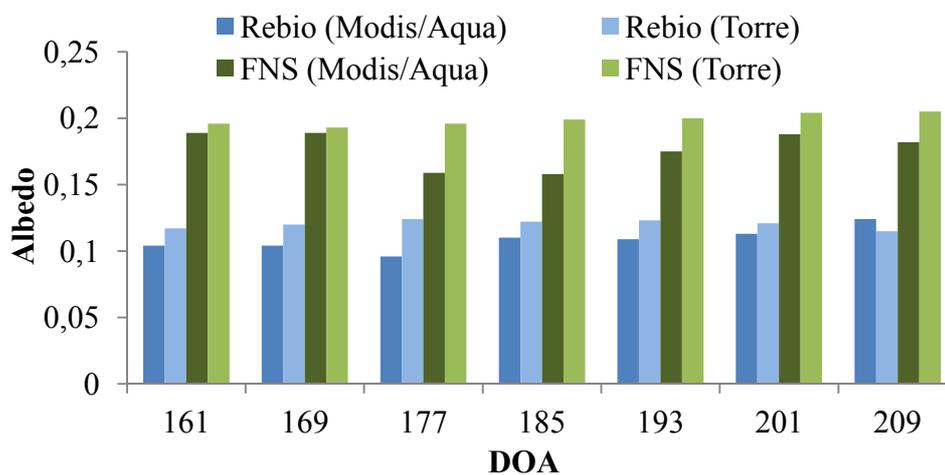


Figura 16: Distribuição temporal e comparação dos valores de albedo da superfície das áreas estudadas.

5.1.3. NDVI

Na Tabela 4, podem ser observados os valores de NDVI para a localização das torres micrometeorológicas. Esses valores mostram que para a área de floresta há uma pequena diminuição nesse índice, indicando para o primeiro dia da amostra o valor de 0,888 e mínimo de 0,834 para o último DOA observado, ou seja, uma diferença de 0,054. Na área de pastagem, a variação do NDVI foi mais drástica, alcançando uma diferença de aproximadamente 0,3 e tendo valores máximos e mínimos de 0,736 e 0,443 para o DOA 161 e DOA 209, respectivamente. Esta diminuição ocorre devido à intensificação da seca que afeta o desenvolvimento das gramíneas (pastagens), no entanto, o valor mínimo de 0,443, pode também estar relacionado às atividades de queimadas na área, que reduzem drasticamente os valores de NDVI. Assim, a área de pastagem apresentou menores valores de NDVI, devido ao déficit hídrico, enquanto a área de floresta apresentou valores mais elevados de NDVI porque nessas regiões podem ser detectados maiores conteúdos de água do solo e da biomassa verde.

Tabela 4: Valores de NDVI para os pontos das torres

DOA	REBIO (MODIS)	FNS (MODIS)
161	0,888	0,736
169	0,882	0,704
177	0,871	0,647
185	0,869	0,647
193	0,883	0,566
201	0,871	0,470
209	0,834	0,443

O comportamento do NDVI, apresentado na Figura 17, mostra que os valores variaram de 0,21 a 0,93, porém sabe-se que os valores de NDVI se comportam entre

valores de -1 a 1, sendo os valores negativos para representar a água e as nuvens. Também sabe-se que a região estudada possui um rio que divide a região de pastagem da região de floresta, que é o Rio Jaru, porém, os valores negativos que deveriam constar na imagem não foram apresentados, isso se deve ao fato do *pixel* da imagem abranger uma grande área (1 km²), o que acarreta na mistura de elementos, fazendo com que o valor apresentado seja tendencioso ao elemento que tem maior predominância nesse *pixel*, mas este fato não invalida o uso de imagens de baixa resolução na aplicabilidade do algoritmo, visto que o percentual de influência não é negativo o suficiente para isto.

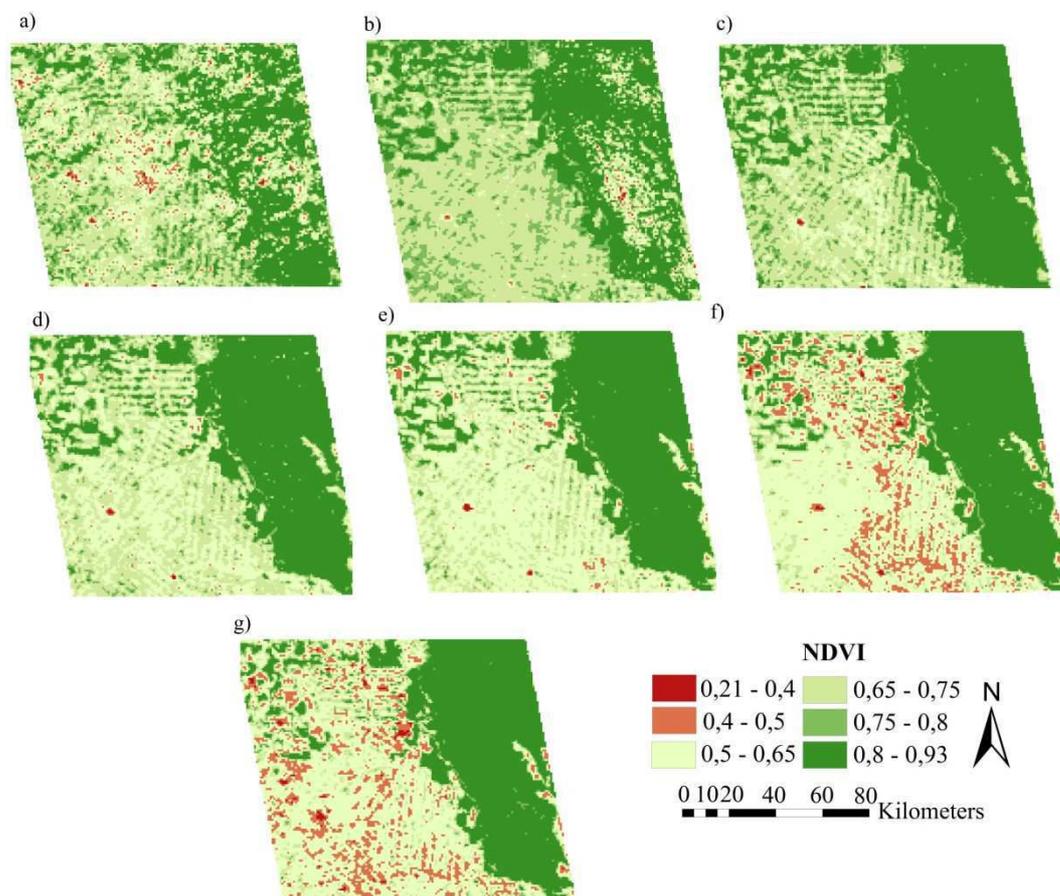


Figura 17: Mapas da distribuição do comportamento espaço-temporal do NDVI obtida a partir de produtos MODIS, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.

O gráfico representado na Figura 18 mostra a variação temporal do NDVI, onde pode ser observado que a área de floresta apresenta um comportamento quase constante da vegetação mesmo estando no período de seca e em comparação à área de pastagem apresentou sempre valores superiores e um alto decréscimo do índice de vegetação. Também pode ser observado que no último DOA, o índice analisado apresentou uma diferença de aproximadamente 50% entre as duas áreas.

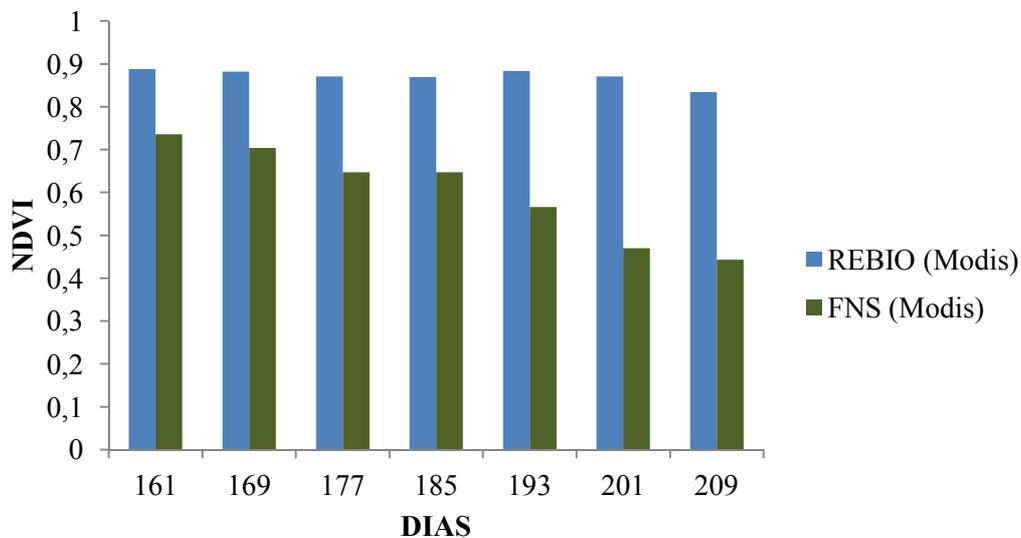


Figura 18: Distribuição temporal e comparação dos valores do NDVI para as áreas estudadas.

5.1.4. Análise das radiações de ondas curtas e longas

A distribuição das radiações de ondas curtas e longas, estimada através do SEBAL, se comportou dentro do esperado para a área de estudo. As Tabelas 11, 12 e 13 mostram a comparação entre os valores medidos e os valores estimados e também o Erro Percentual desse confronto. Na Tabela 5, que apresenta os valores da R_{ol_atm} (radiação de onda longa emitida pela atmosfera), pode ser observado a partir do EP que houve uma subestimativa dos dados estimados em relação aos dados medidos para a área de pastagem, que varou entre 5% e 16%, ou seja, os valores estimados pelo SEBAL foram inferiores aos

medidos pelas torres nessa área. No caso da área de floresta houve valores superestimados (4% e 5%) e subestimados (2% a 10%).

Tabela 5: Análise comparativa dos valores da Rol_{atm} obtidos através do SEBAL e das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP)

DOA	Rebio-MODIS (Wm^{-2})	Rebio-Torre (Wm^{-2})	EP (%)	FNS-MODIS (Wm^{-2})	FNS-Torre (Wm^{-2})	EP (%)
161	345,74	383,33	-10	361,77	431,00	-16
169	375,45	355,94	5	377,38	402,22	-6
177	358,40	340,73	5	359,23	377,44	-5
185	372,43	378,75	-2	377,16	414,04	-9
193	365,05	351,56	4	368,95	396,30	-7
201	345,8	375,02	-8	366,55	422,16	-13
209	368,83	392,45	-6	367,21	435,55	-16

A Tabela 6 mostra que o comportamento da radiação de onda longa emitida pela superfície (Rol_{sup}) estimada pelo SEBAL também foi satisfatório ao ser comparado aos dados medidos pelas torres para as duas áreas, apresentando valores de EP máximos e mínimos de 9% e 1% para a Rebio (floresta) e de 10% e 1% para a FNS (pastagem).

Tabela 6: Análise comparativa dos valores da Rol_{sup} obtidos através do SEBAL e das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP)

DOA	Rebio-MODIS (Wm^{-2})	Rebio-Torre (Wm^{-2})	EP (%)	FNS-MODIS (Wm^{-2})	FNS-Torre (Wm^{-2})	EP (%)
161	446,70	481,95	-7	466,70	518,25	-10
169	453,65	458,27	-1	467,55	495,70	-6
177	465,50	449,13	3	473,76	477,73	1
185	481,20	477,07	1	487,64	512,43	-5
193	474,20	483,14	-2	505,50	521,07	-3
201	446,70	492,44	-9	508,51	533,84	-4
209	499,12	491,36	2	504,70	557,18	-9

A Tabela 7 mostra a comparação entre os dados estimados e medidos (SEBAL e torre) de radiação de onda curta incidente (Roc_{inc}), onde podem ser observados os menores valores de EP, ou seja, onde houve uma maior aproximação entres os valores,

porém, os DOA 185 e 209 da área de floresta apresentaram um EP de 31% e 36%, respectivamente. Este fato pode estar associado a algum tipo de manutenção que poderia estar sendo feito no instrumento na hora coletada ou até mesmo por alguma interferência natural, como sujeira na lente do instrumento como mancha por queda de algum fruto das árvores, entre outros fatores naturais.

Tabela 7: Análise comparativa dos valores da R_{oc_inc} (Wm^{-2}) obtidos através do SEBAL e através das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP)

DOA	Rebio -MODIS (Wm^{-2})	Rebio-Torre (Wm^{-2})	EP (%)	FNS -MODIS (Wm^{-2})	FNS-Torre (Wm^{-2})	EP (%)
161	800,82	810,00	-1	800,31	855,00	-6
169	707,06	701,00	1	706,00	687,80	3
177	802,19	820,00	-2	801,71	803,00	-0,2
185	718,11	545,50	31	717,64	716,00	0,2
193	819,32	842,00	-3	818,70	818,00	0,1
201	741,37	744,00	-0,4	741,65	733,00	1
209	846,48	622,70	36	846,71	906,00	-6

Todas essas observações relacionadas às radiações refletem diretamente nos resultados do saldo de radiação

5.1.5. Saldo de radiação à superfície

Os valores de R_n obtidos a partir do algoritmo SEBAL, aplicado para uma região de clima tropical úmido apresentou valores bem próximos aos medidos pelas torres micrometeorológicas que estão implantadas no local. A Figura 19 mostra o comportamento espaço-temporal do R_n , produto este que não pode ser adquirido pelas torres, visto que as mesmas obtém tais valores de R_n para casos pontuais e com um raio de abrangência significativamente inferior aos produtos orbitais.

O Rn para a área estudada mostrou variação predominante entre 500 Wm^{-2} e 700 Wm^{-2} com alguns pontos com valores menores que o mínimo e maiores que o máximo.

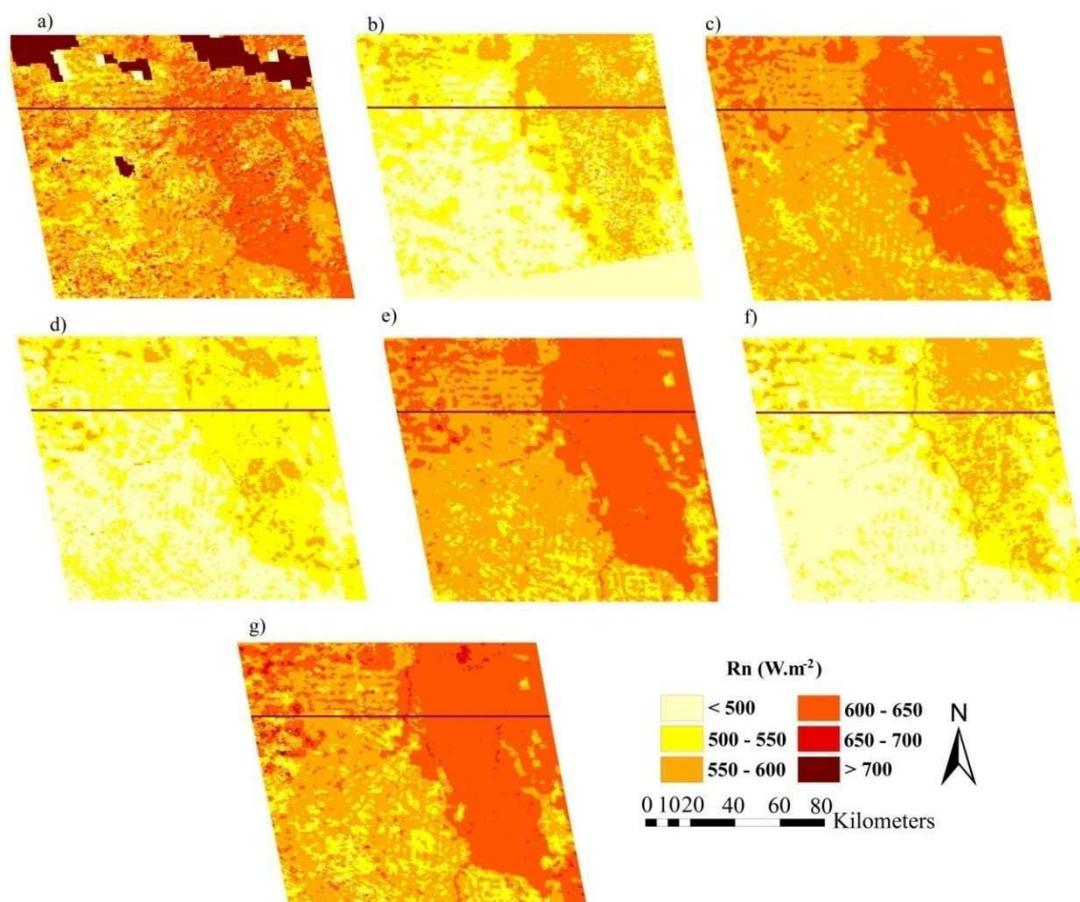


Figura 19: Mapas da distribuição do comportamento espaço-temporal do saldo de radiação à superfície, obtido a partir de produtos MODIS, onde: a) DOA 161; b) DOA 169; c) DOA 177; d) DOA 185; e) DOA 193; f) DOA 201; g) DOA 209.

A Tabela 8 mostra o comparativo do comportamento temporal pontual do Rn computado pelo SEBAL e o obtido pelas torres micrometeorológicas, como também o EP. A partir desses resultados pode ser observado que a aplicabilidade de produtos orbitais para a obtenção desse tipo de produto é muito confiável e funcional, pois, como podem ser observado, os erros percentuais médios são baixos, como exceção dos DOA 185 e 209 para a área de floresta, porém constata-se que o valor fora do padrão não é proveniente do

SEBAL, mas sim, dos dados da torre, um erro acumulativo decorrente da radiação de onda curta incidente.

Tabela 8: Análise comparativa dos valores do Rn ($W m^{-2}$) obtidos através do SEBAL e através das torres micrometeorológicas, bem como o Erro Percentual (EP)

DOA	Rebio (MODIS) (Wm^{-2})	Rebio (Torre) (Wm^{-2})	EP (%)	FNS (MODIS) (Wm^{-2})	FNS (Torre) (Wm^{-2})	EP (%)
161	611,20	616,16	1,0	538,53	599,44	-10,0
169	529,80	514,10	3,0	480,23	461,81	4,0
177	609,80	609,70	0,0	556,44	545,21	2,0
185	528,20	380,83	38,0	489,85	474,61	3,0
193	611,72	606,92	1,0	547,31	529,43	3,0
201	537,57	536,50	0,2	475,10	471,72	0,7
209	615,27	452,10	36,0	549,22	598,18	-8,0

A comparação da evolução temporal do Rn pode também ser observada no gráfico representado pela Figura 20.

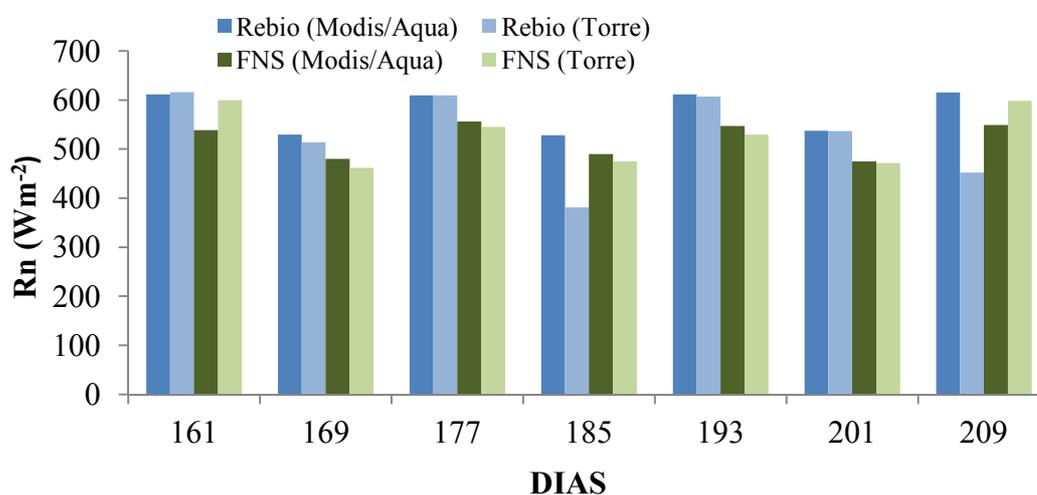


Figura 20: Distribuição temporal e comparação dos valores do saldo de radiação à superfície das áreas estudadas.

5.2. Análise das variáveis estudadas para o TM/Landsat-5

5.2.1 NDVI, albedo da superfície (α) e Rn

Os valores de NDVI permaneceram praticamente constantes durante todo o período de estudo, mostrando que a floresta tem um comportamento diferente em relação à pastagem durante a estação seca, como pode ser constatado na Figura 21, através dos mapas da distribuição espaço-temporal.

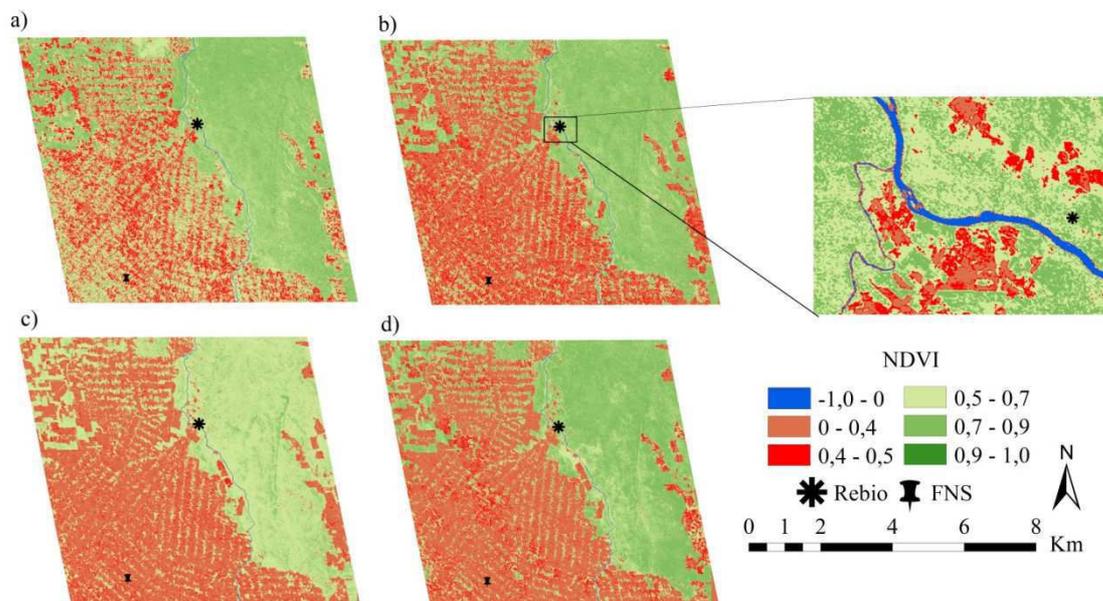


Figura 21: Mapas da distribuição do comportamento espaço-temporal do NDVI, obtido a partir de produtos Landsat 5 – TM, onde: a) DOA 187; b) DOA 203, com destaque para uma parte do Rio Jaru; c) DOA 219; d) DOA 267.

Os valores de Rn para as áreas estudadas (tanto o estimado quanto o medido), apresentaram um aumento significativo para o DOA 267, mostrando o alto fornecimento de energia solar nesta região sob as condições de céu claro durante o período seco, que é utilizado como a força principal para os diferentes processos físicos existentes no local, tais como o aquecimento da superfície, transpiração das plantas e evaporação da água. Todos esses processos são importantes para o meio ambiente, e a conversão da floresta em

pastagens pode mudar drasticamente a radiação líquida na superfície da terra, induzindo mudanças no clima regional.

A distribuição espacial do Rn para os DOA 187, 203, 219 e 267 são exibidos nas Figuras 22, respectivamente. As áreas claras (bege e amarelo) representam os valores mais baixos do Rn, enquanto que as zonas alaranjadas e em tons de vermelho representam os valores médios e os mais elevados de Rn.

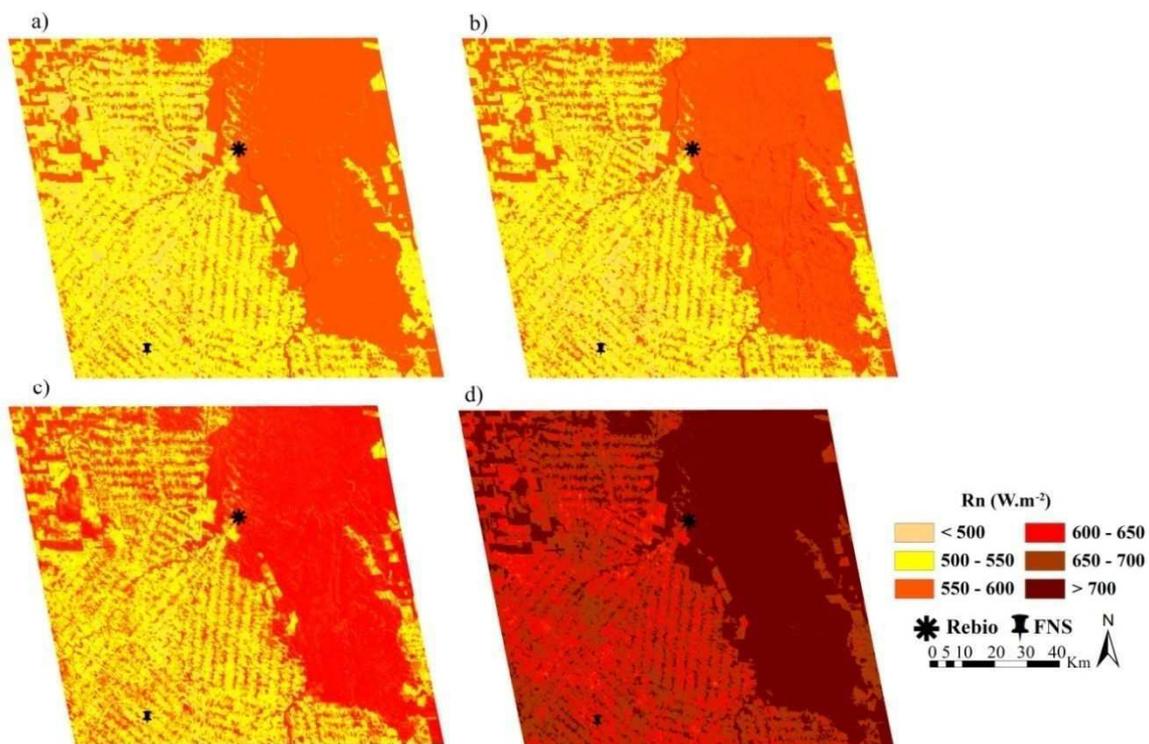


Figura 22: Distribuição do comportamento espaço-temporal do Rn, obtido a partir de produtos Landsat 5 – TM, onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.

Nas figuras, os valores mais baixos de Rn são encontrados na área de pastagens ou solo exposto, que tem maior albedo, e os valores mais elevados são observados na área de floresta e rios que absorvem mais energia para usar em diferentes processos físicos. A partir das figuras, é evidente que a conversão de floresta para pastagens influencia os parâmetros ambientais, tais como o aumento do albedo de superfície, e, em consequência da diminuição da radiação líquida.

As Tabelas 9 e 10 apresentam as comparações da distribuição temporal do Rn e do α , utilizando o algoritmo SEBAL, com os valores medidos na FNS (pastagem) e Rebio (floresta), respectivamente. Na Tabela 9, o Erro Percentual (EP) máximo para o Rn foi de 16% e foi observado para o DOA 267 e EP mínimo de 7% para o DOA 219. Resultados semelhantes também podem ser observados para os valores de albedo, com máxima e mínima de EP 39 e 0%, também para o DOA 267 e 219, respectivamente.

Tabela 9: Análise comparativa do saldo de radiação (Rn) e albedo da superfície (α), obtido pelo algoritmo SEBAL, com os valores medidos no local da FNS, bem como, a distribuição temporal do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e o Erro Percentual

DOA	Rn (SEBAL) (Wm ⁻²)	Rn (Torre) (Wm ⁻²)	EP (%)	α (SEBAL)	α (Torre)	EP (%)	NDVI (SEBAL)
187	500	450	11	0,18	0,21	-14	0,48
203	492	450	9	0,19	0,21	-10	0,39
219	497	465	7	0,22	0,22	0	0,31
267	663	573	16	0,11	0,18	-39	0,12

Pode-se observar que o albedo em pastagens é maior do que na floresta. Esta diferença entre elas é devida à variação na coloração de vegetação, por outras palavras, a área da floresta sendo mais escura reflete menos energia do que a pastagem. Além da coloração da vegetação, a estrutura vertical da floresta (mais de 30 metros de altura em média), propicia a absorção de raios solares que penetram no dossel da floresta e são absorvidas nas camadas inferiores.

Na Tabela 10, o EP máximo para o Rn foi de 12% e foi observado para o DOA 203 e o EP mínimo de 4% para o DOA 267. Resultados semelhantes são mostrados para

os valores de α , com máxima e EP mínimo de 17% e 0% para os DOA 203 e 267, respectivamente.

Tabela 10: Análise comparativa do Rn estimado e α , obtido pelo algoritmo SEBAL, com os valores medidos no local da Rebio, bem como, a distribuição temporal da NDVI e EP

DOA	Rn (SEBAL) (Wm ⁻²)	Rn (Medido) (Wm ⁻²)	EP (%)	α (SEBAL)	α (Medido)	EP (%)	NDVI (SEBAL)
187	574	548	5	0.10	0.12	-17	0.65
203	592	529	12	0.10	0.12	-17	0.72
219	607	550	10	0.12	0.13	-8	0.65
267	734	703	4	0.12	0.12	0	0.69

Analisando as Tabelas 9 e 10 verifica-se que os valores de Rn são maiores em áreas florestais porque eles têm menor α , isto é, menos refletividade de radiação solar (ondas curtas), quando comparado com áreas desmatadas (pastagem, por exemplo).

O albedo da superfície é o principal fator que afeta o balanço de radiação da superfície da terra e tem sido freqüentemente considerado em estudos do clima regional e global. Oguntoyinbo (1970) encontrou um α médio de 12% para áreas de floresta e para áreas não florestadas o α variou de 15 a 21%. Shuttleworth *et al.* (1984) identificaram um α médio de $12,3 \pm 0,2\%$ para uma floresta tropical perto de Manaus. Culf *et al.* (1996) observaram um α médio de 13,4 e 18% para floresta amazônica e para três locais de pastagem, respectivamente. Todos estes resultados concordam com os apresentados neste estudo.

As Figuras 23a e 23b mostram as correlações entre os valores estimados de Rn e α estimados pelo algoritmo SEBAL e valores medidos pelas torres implantadas na área de estudo (pastagem e floresta). A alta correlação dos valores estimados Rn (SEBAL) e medido com coeficiente de correlação (R) de 0,97 são apresentados na Figura 23a, mostrando a eficácia dos regimes de simples do algoritmo SEBAL para obter os fluxos

radiativos. As correlações entre os valores estimados e medidos de α (albedo) são mostrados na Figura 23b, o qual apresenta valor de R de 0,88.

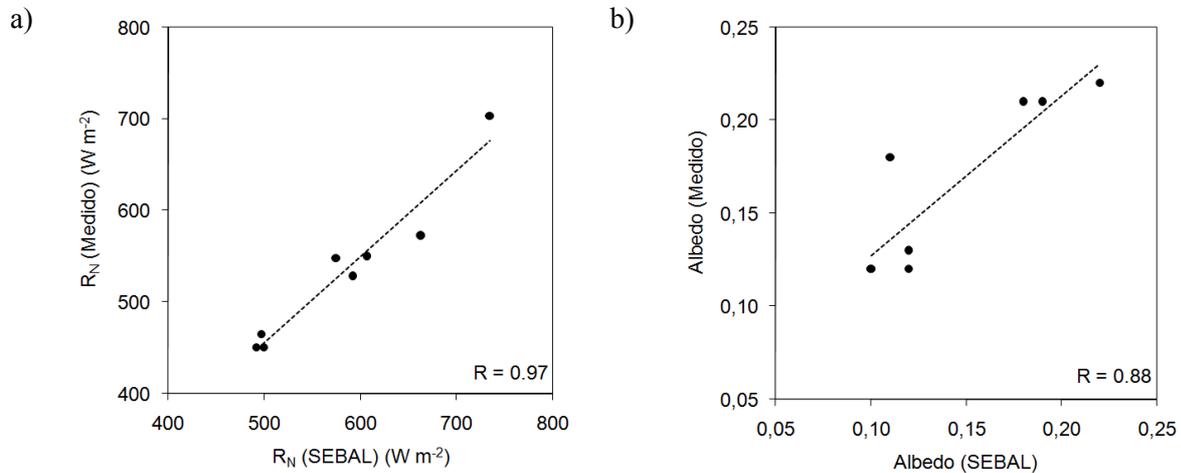


Figura 23: Correlações entre os valores de Rn (a) e albedo da superfície (b) estimados pelo algoritmo SEBAL e valores medidos na área de estudo. (Fonte: Santos *et al.*, 2011)

5.2.2. Radiações de ondas curtas e longas

As aplicações de técnicas de sensoriamento remoto para regiões com climas tropicais úmidos são difíceis. O principal problema é a presença constante de nuvens devido ao processo de convecção que é um mecanismo de grande influência no aquecimento da atmosfera tropical. Durante o período de estudo, as nuvens estavam presentes em todos os dias ao meio-dia ou à tarde para as áreas da FNS e Rebio, com exceção do DOA 187 na estação da Rebio, que era um dia de céu claro. Foi possível aplicar técnicas de sensoriamento remoto e algoritmo SEBAL para obter o Rn instantâneo porque o satélite TM/Landsat-5 tem passagem pela manhã sobre a área de estudo (cerca de 10:00 da manhã, horário local), e durante este tempo não foram detectadas interferências de nuvens.

Para ilustrar esta dificuldade, o comportamento diurno dos quatro componentes da radiação, radiações de ondas curtas de entrada e de saída (Roc_{in} e Roc_{out}), e de onda

longa (R_{ol_in} e R_{ol_out}), para as áreas de pastagem e florestas, é exibido respectivamente nas Figuras 24 e 25.

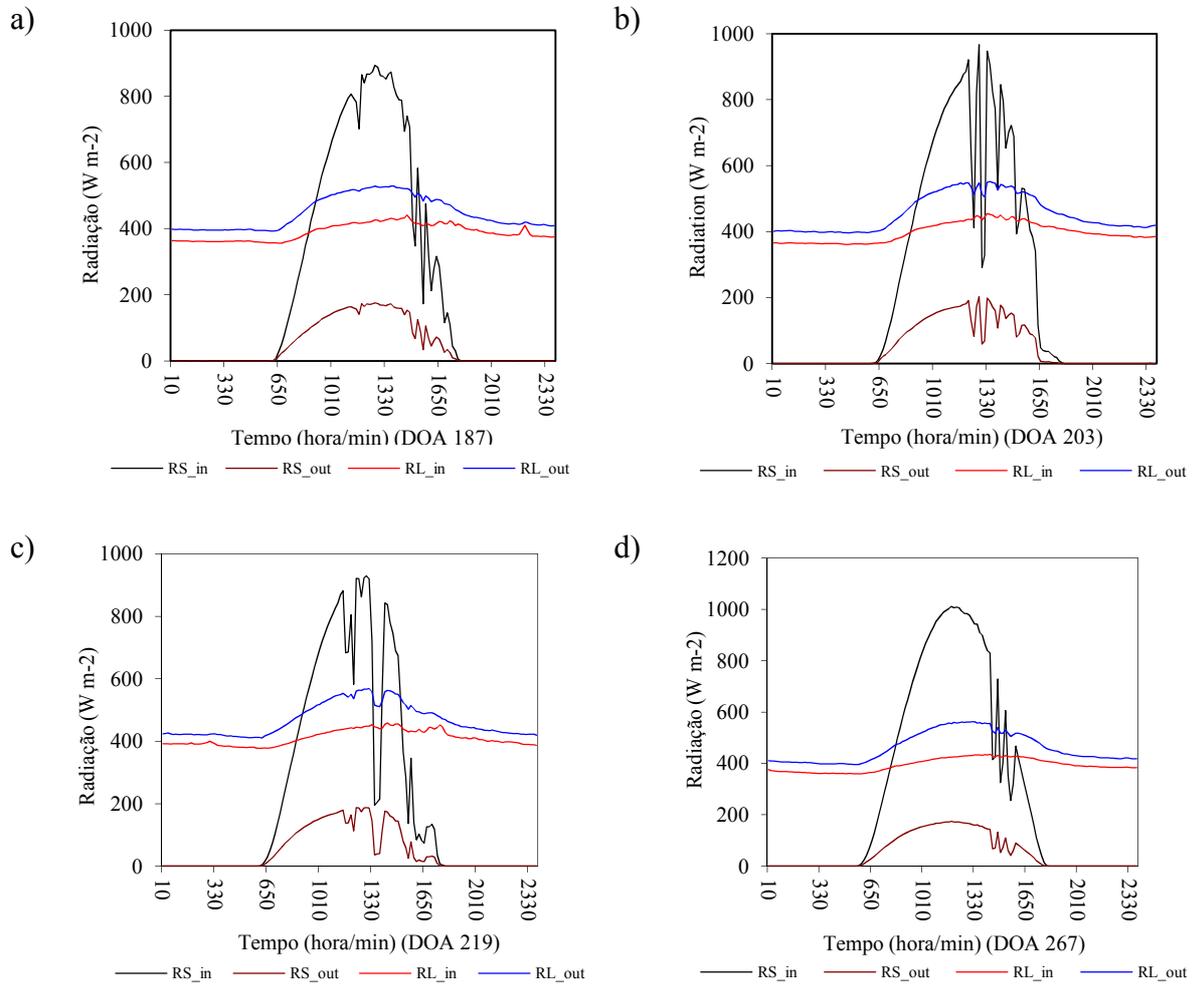


Figura 24: Comportamento diário da radiação de ondas curtas (RS_{in} e RS_{out}) e onda longa (RL_{in} e RL_{out}) de entrada e saída para datas diferentes para a pastagem (FNS), onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.

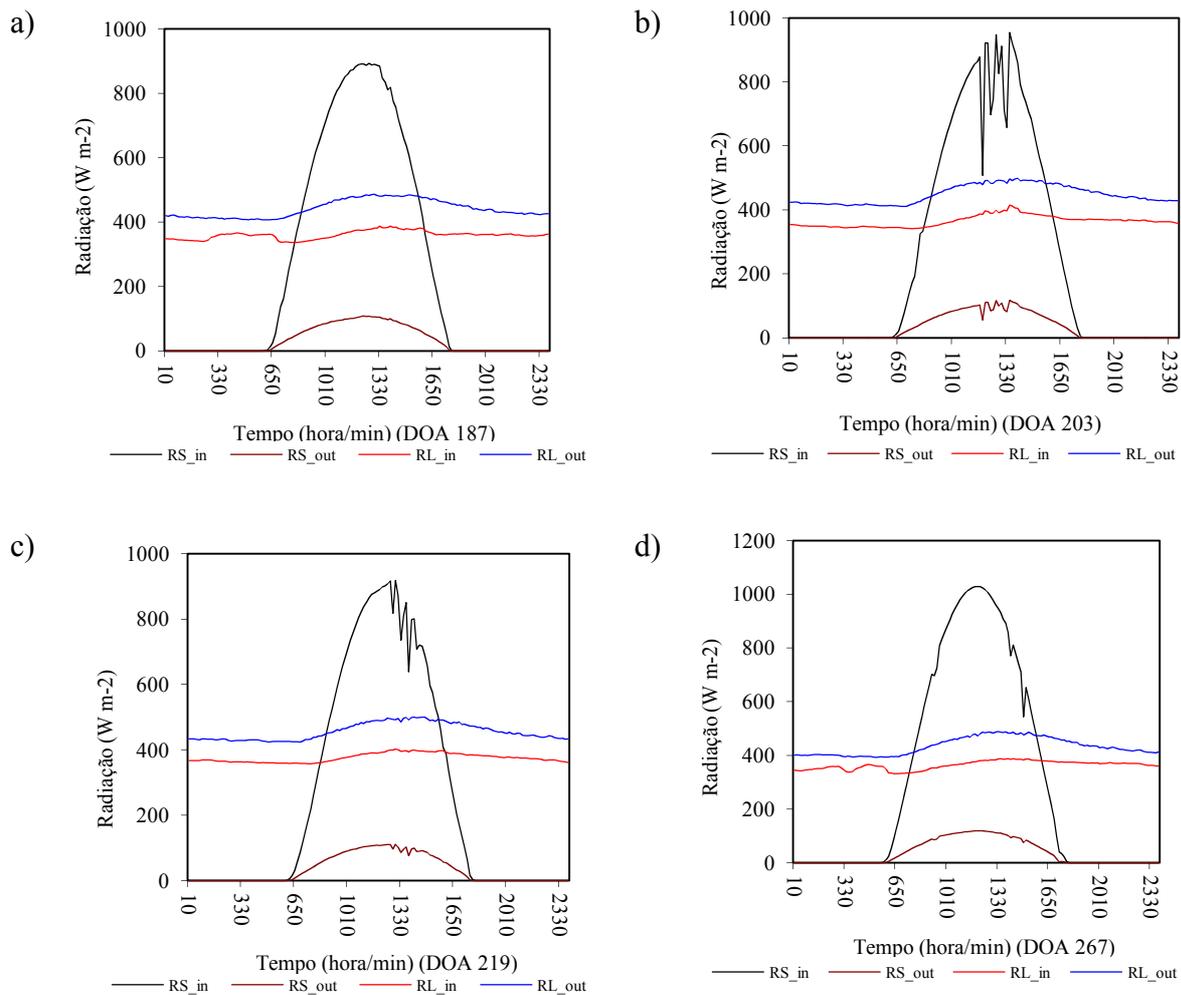


Figura 25: Comportamento diário da radiação de ondas curtas de entrada e saída (RS_in e RS_out) e onda longa (RL_in e RL_out) para diferentes datas na Rebio Jaru (floresta), onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.

É interessante notar que a maior variabilidade da radiação solar ocorreu na área de pastagem, especialmente na parte da tarde. Este comportamento é causado pelo gradiente de temperatura entre as duas coberturas de terra, que geram a drenagem de ar da floresta (mais frio e mais denso) para a pastagem (mais quente e menos denso) e circulação de ar ascendente no pasto, que transporta para cima o vapor de água, que condensa e forma nuvens sobre a pastagem.

O comportamento observado da radiação de onda longa de entrada (RL_in) mostra que os seus valores na pastagem, em geral, foram maiores do que na floresta, devido à

temperatura do ar, que é mais elevada na pastagem do que na floresta durante o dia. Durante a noite, embora a temperatura do ar na superfície seja menor na pastagem do que na floresta, a temperatura média da parte inferior da troposfera é maior acima da pastagem (Galvão e Fisch, 2000). Tem sido observado maiores valores de radiação de onda longa na pastagem e menores valores na floresta durante o dia, e o comportamento inverso é observado durante a noite. Estes comportamentos durante a noite ou durante o dia são devidas à temperatura de superfície. Durante a noite, a superfície de pastagem tende a perder calor mais rapidamente para a atmosfera se tornando mais frias que a superfície florestal.

A Figura 26 mostra a evolução espaço-temporal da temperatura da superfície durante o dia para as regiões estudadas, obtidas a partir do TM/Landsat-5. Pode ser observado que a temperatura da superfície da maior parte da região de floresta se mantém entre 13 °C e 21 °C mesmo com o passar do período.

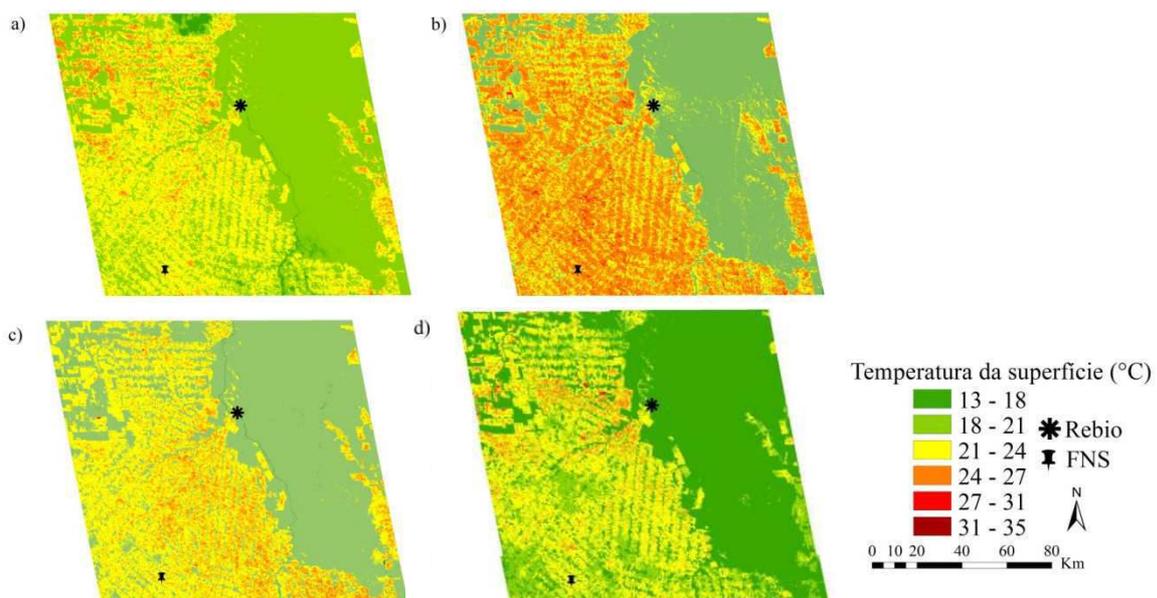


Figura 26: Mapas da evolução espaço-temporal da temperatura da superfície, onde: a) DOA 187; b) DOA 203; c) DOA 219; d) DOA 267.

Estes parâmetros estudados (saldo de radiação e albedo de superfície) foram avaliados com as observações e medições por satélite.

Os dados medidos são fundamentais para validar os resultados do modelo, especialmente porque eles representam de forma mais realista uma área específica. No entanto, eles apresentam dificuldades operacionais, têm alto custo monetário para se obter e, geralmente, se limitam a uma pequena área e não representam a variabilidade espacial. Por outro lado, o sensoriamento remoto é uma ferramenta importante para a obtenção das variações temporal e espacial das características de superfície, tais como R_n e α , auxiliando melhoria e validação de parametrização do modelo.

6. CONCLUSÕES

- As comparações da distribuição temporal da radiação líquida instantânea estimada (R_n), utilizando o algoritmo SEBAL aplicado a imagens de baixa resolução espacial (MODIS 1 km), com valores medidos pela torre implantada na FNS (pastagem) mostraram EP máximo de 10% e para a Rebio (floresta), o valor máximo de EP foi de 3%.

- As comparações feitas entre a aplicação do SEBAL para imagens de alta resolução (TM 30 m) e os valores medidos pelas torres mostraram EP máximo de 16% para a área de pastagem e EP máximo de 12% para a área de floresta.

- Esses primeiros resultados indicam que ambos os sensores (MODIS e TM) são aplicáveis na obtenção do R_n instantâneo, sob condições de céu claro, na região de estudo.

- O algoritmo se apresentou como uma ferramenta eficaz na obtenção espaço-temporal dos parâmetros ambientais que influenciam no microclima local, tais como: albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície e componentes do balanço de radiação instantâneo. Entretanto, a aplicação do algoritmo para obtenção do R_n diário na região estudada é inviável devido a presença de nuvens ao longo do dia, principalmente no período da tarde.

- A conversão de áreas de floresta em pastagem afeta diretamente no microclima da região. As cartas de temperatura obtidas através dos produtos MODIS e Landsat 5 mostraram que essa diferença de cobertura e uso do solo (pastagem e floresta), mesmo que em período de seca, afetou no conforto térmico da região, pois, é claramente visto que a temperatura na área de floresta tende a manter uma constância na temperatura e em todos os momentos apresentou valores inferiores a área de pastagem.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. D.; TURRAL, H.; NAZEER, A. Diagnosing irrigation performance and water productivity through satellite remote sensing and secondary data in a large irrigation system of Pakistan. **Agricultural Water Management**, v. 96, p. 551-564, 2009.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A.; TREZZA, R.; WRIGHT, J. L.; BASTIAANSEN, W. G. M.; KRAMBER, W.; LORITE, I.; ROBINSON, C. W. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) – Applications. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, 395-406 p., 2007b.

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**, v.133, n.4, p.380-394, 2007a.

ALLEN, R.G., TASUMI, M., TREZZA, R., WATERS, R. & BASTIAANSEN, W. (2002) **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and Users Manual**. Idaho.

ANDRADE, R. G. Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar, 164p. Tese (Doutorado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa – MG, 164p, 2008.

BARRET, E.C.; CURTIS, L. **Introduction to environmental remote sensing**. Londres: Chapman & Hall, 1992.

BASTABLE, H. G.; SHUTTLEWORTH, W. J.; DALLAROSA, FISCH, G.; NOBRE, C. A. Observation of climate, albedo and surface radiation over cleared and undisturbed Amazonian forest. **International Journal of Climatology**, 13, 783-796, 1993.

BASTIAANSSEN, W. G. M. (2000) SEBAL – Based Sensible and Latent Heat Fluxes in the Irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v. 229, pp.87-100.

BASTIAANSSEN, W. G. M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climate. **PhD. Dis.**, CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272 p., 1995.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, p.198–212. 1998a.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; NOORDMAN, E. J. M.; PELGRUN, H.; DAVIDS, G.; THORESON, B. P.; ALLEN, R. G. SEBAL Model with Remotely Sensed Data to Improve Water-Resources Management under Actual Field Conditions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, ASCE, p. 85-93, 2005.

BASTIAANSSEN, W. G. M.; PELGRUM, H.; WANG, J.; MA, Y.; MORENO, J. F. ROENRINK, G. J. VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 2. Validation. **Journal of Hydrology**, v. 212–213, p.213-229 1998b.

BISHT, G.; VENTURINI, V.; ISLAM, S.; JIANG, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear-sky days. **Remote Sensing of Environment**, v.97, n.1, p.52–67, 2005.

CAI, X. L. AND B. R. SHARMA. Integrating remote sensing, census and weather data for an assessment of rice yield, water consumption and water productivity in the Indo-Gangetic river basin. **Agricultural Water Management** 97, 309–316, 2010.

CAMARA, G., SOUZA, R. C. M., FREITAS, U. M., GARRIDO, J. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**, v.20, p.395-403, 1996.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised TM/Landsat-5 Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41, p. 2674-2677, 2003.

COURALT, D.; SEGUIM, B.; OLIOSO, A. Review to estimate Evapotranspiration from remote sensing data: some examples from the simplified relationship to the use of mesoscale atmospheric models. **ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions**, 17 Sept., 2002.

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

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal process**, 2nd Ed., Wiley, N. Y. 1991.

FEITOSA, J. R. P.; FERREIRA DA COSTA, R.; FISCH, G.; SOUZA, S. S.; NOBRE, C. A. Radiação solar global em áreas de floresta e pastagem na Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, n. 6, v. 1, p. 1-7, 1998.

FIGUEIREDO, D. C. **Aperfeiçoamento do Sistema de Previsão de Safras da CONAB**.

Brasília, 2005. Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/conabweb/download/GEOSAFRAS/manuais/projetogosafras.pdf>.

Acesso em: 13/03/2011.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F. e PEREIRA, A. B. Balanço de radiação e fluxo de calor no solo em ambiente natural e protegido cultivado com pepineiro. **Bragantia**, v. 60(2), 139-147, 2001.

GAO, Y.; LONG, D.; LI, Z. L. Estimation of daily actual evapotranspiration from remotely sensed data under complex terrain over the upper Chao river basin in North China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 29, p. 11, 3295-3315, 2008.

<http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por/Multimedia/Imagens/Eletromagnetismo/Espectro-eletromagnético>. (s.d.). Acesso em 19 de Abril de 2011, disponível em <http://pion.sbfisica.org.br/pdc/index.php/por>.

<http://www.dihitt.com.br/barra/reserva-biologica-do-jaru--ro>. Acesso em 27 de Dezembro de 2011.

<http://www.nasa.gov/>. (s.d.). Acesso em 19 de Abril de 2011, disponível em <http://MODIS.gsfc.nasa.gov/>.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

IQBAL, M. **An Introduction to Solar Radiation**. New York: Academic Press. 1983. 212p.

KLEIN, S.A., 1977. Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces. **Solar Energy**. v. 19, p. 325–329.

KOFFLER, N. F. Técnicas de sensoriamento remoto orbital aplicadas ao mapeamento da vegetação e uso da terra. **Geografia**, v. 17, n. 2, p. 14-17, 1992.

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

LILLESAND, T.M. AND R.W. KIEFER. 1994. **Remote Sensing and Photo Interpretation**, 3rd ed. John Wiley & Sons: New York.

MALHI, Y., ROBERTS, J. T., BETTS, R. A., KILLEEN, T. J., LI, W., NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. **Science**, v. 319, p. 169-172, 2008.

MOLION, L.C.B.; ABREU SA, L.D. DE; NOBRE, C.A.; CABRAL, O.M.R.; PATEL, S.R.; MORAES, J. C. de. Observations of radiation exchange above and below Amazonian forest. **Quarterly Journal of Royal Meteorological Society.**, v. 110, p. 1163-1169, 1984b.

MONTEITH J. L.. UNSWORTH M. H. 1990. **Principles of Environmental Physics**, 2nd edn. Butterworth–Heinemann: Woburn, Massachusetts.

MORSE, A.; ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; KRAMBER, W. J.; TREZZA, R. & WRIGHT, J.(2000) Application of the SEBAL Methodology for Estimating Evapotranspiration and Consumptive Use of Water Through Remote Sensing. **Final Report**.

NORMAN J. M.; DIVAKARLA, M.; GOEL N. S.; Algorithms for extracting information from remote thermal-IR observations of the Earth surface. **Remote Sensing of Environmental** 1995; v. 51, p. 157–68.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. Editora Edgar Blücher Ltda. São José dos Campos, 2008.

PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO, M. J. J.; ORTOLANI, A. A.; MEYER, N. Radiação líquida e temperatura de folha no interior de estufa com cobertura plástica, durante o período noturno. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 3, p. 1-4. 1995.

QUEIROZ, C. J.. Análise de Transformações Geométricas para o Georreferenciamento de Imagens do Satélite CBERS-I. **Dissertação de Mestrado**. UFRGS - CEP SRM, 2003. Disponível em <http://hdl.handle.net/10183/6349>. Acesso em 05 de Dezembro de 2011.

RIMÓCZI-PAÁL, A., 2005. Mapping of radiation balance components for region of Hungary using satellite information. **Physics and Chemistry of the Earth**, v.30, p. 151–158.

RYU, Y., S. KANG, S. MOON, J. KIM, 2008. Evaluation of land surface radiation balance derived from moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) over complex terrain and heterogeneous landscape on clear sky days. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p. 1538-1552.

SAMANI, Z., A. S. BAWAZIR, M. BLEIWEISS, R. SKAGGS, V. D. TRAN, 2007. Estimating Daily Net Radiation over Vegetation Canopy through Remote Sensing and Climatic Data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, p. 291-297.

SANTOS, C. A. C. DOS, NASCIMENTO, R. L., T. V. R. RAO. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Atmosfera**, v.24, p.435 - 446, 2011.

SANTOS, C. A. C. DOS; NASCIMENTO, R. L.; MANZI, A. O. 2011. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, INPE. p.1636-1643.

SHUTTLEWORTH, W. J.; GASH, J. H. C.; ROBERTS, J. M.; NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B.; RIBEIRO, M. G. Post-deforestation Amazonian climate: Anglo-Brazilian research to improve predictions. **Journal of Hydrology**, v. 129, p. 71-85, 1991.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C.; LLOYD, C.R.; MOORE, C.J.; ROBERTS, J.; MARQUES, A. DE O.; FISCH, G.; SILVA, V. DE P.; RIBEIRO, M.N.G.; MOLION, L.C.B.; DE ABREU SA, L.D.; NOBRE, J.C.; CABRAL, O.M.R.; PATEL, S.R.; AND DE MORAES, J.C.; 1984b. Daily variations of temperature and humidity within and above Amazonian forest. **Weather**, v. 40, p. 102-108.

SILVA, B. B. DA, LOPES, G. M.& AZEVEDO, P. V.(2005) Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens TM/Landsat-5. **Revista Brasileira de Meteorologia**. v.20, n.2, p. 243-252.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J. DE; ZANCHI, F. B.; SILVA, R. L.; HODNETT, M. G.; GASH, J. H. C.; ELBERS, J. A.; WATERLOO, M. J.; CARDOSO, F. L.; KABAT, P. Comparative measurements and seasonal variations in energy and carbon exchange over forest and pasture in South West Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 78, p. 5-26, 2004.

WANG, W. AND S. LIANG, 2009. Estimation of high-spatial resolution clear-sky longwave downward and net radiation over land surfaces from MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.113, 745–754.

WELIGEPOLAGE, K. Estimation of spatial and temporal distribution of evapotranspiration by satellite remote sensing – A case study in Hupselse Beek, The Netherlands. 2005, 114 p, **Dissertation (Master of Science)**, International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, Wageningen, Netherlands, 2005.

ZHANG, X, BERHANE, T, SEIELSTAD, G. Comparison of Landsat and MODIS estimates of heat fluxes: effect of surface heterogeneity. **Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2008. IGARSS 2008. IEEE International**. v. 3. p. 759 – 762.