

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA
UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
CLIMA E AMBIENTE**

**APLICAÇÃO DO ALGORITMO SEBAL PARA A ESTIMATIVA DO
SALDO DE RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE PARA DIFERENTES
COBERTURAS DE SOLO NA REGIÃO AMAZÔNICA**

PAULA ENA DE ALMEIDA CONCEIÇÃO

Manaus - Amazonas

Maio - 2011

PAULA ENA DE ALMEIDA CONCEIÇÃO

**APLICAÇÃO DO ALGORITMO SEBAL PARA A ESTIMATIVA DO SALDO DE
RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE PARA DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO NA
REGIÃO AMAZÔNICA**

Orientador: Dr. Antônio Ocimar Manzi

Co-Orientadora: Dra. Jaidete Monteiro de Souza

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente.

Manaus-Amazonas

Maio-2011

PAULA ENA DE ALMEIDA CONCEIÇÃO

**APLICAÇÃO DO ALGORITMO SEBAL PARA A ESTIMATIVA DO SALDO DE
RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE PARA DIFERENTES COBERTURAS DE SOLO NA
REGIÃO AMAZÔNICA**

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Clima e Ambiente.

Trabalho aprovado em 31 de Março de 2011.

Dr. Antônio Ocimar Manzi
Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Orientador

Dra. Jaidete Monteiro de Souza
Universidade do Estado do Amazonas
Co-Orientadora

Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande
Banca Examinadora

Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza
Universidade do Estado do Amazonas
Banca Examinadora

A todos que me incentivaram a realizar e concluir este trabalho, em especial e com muita gratidão aos meus pais, Paulo Raul e Filomena Celeste que dedicaram suas vidas a essa conquista e ao meu esposo Jair Mateus pelo amor, paciência e incentivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por haver concedido saúde para atingir esta etapa.

Aos meus genitores Paulo Raul e Filomena Celeste pelo apoio, amor e incentivo dado, e que me ensinaram a ser perseverante e não desistir nunca dos meus sonhos, e além do mais são os grandes exemplos da minha vida, os quais eu tenho eterna admiração e amor.

Ao meu esposo Jair Mateus Oliveira pelo apoio, paciência, incentivo, e pelo qual eu tenho grande admiração e amor.

Aos professores e orientadores desse trabalho, Dr. Antônio Ocimar Manzi e a Dra. Jaidete Monteiro de Souza, pela dedicação, incentivo, paciência e por acreditarem no meu trabalho.

Aos Professores Dr. Rodrigo Augusto Ferreira de Souza e Dr. Carlos Antônio Costa dos Santos pelas valiosas sugestões na elaboração deste trabalho.

Ao SIPAM (Sistema de Proteção da Amazônia) pela liberação e apoio para realização desse Mestrado.

Ao Experimento de Grande Escala Biosfera-Atmosfera na Amazônia (LBA) pelo fornecimento dos dados das torres micrometeorológicas.

Ao INPA e a UEA pela logística oferecida para a elucidação deste trabalho.

A todos os professores deste curso, os quais eu admiro pelos grandes “Profissionais” que são.

Aos meus colegas de sala de aula, Físicos, Matemáticos, Engenheiros, Biólogos, Estatísticos, Meteorologistas que me ajudaram nas horas em que eu mais precisei entender as especificidades de suas respectivas áreas.

RESUMO

O saldo de radiação à superfície é o saldo entre a radiação que chega e a radiação que sai da superfície. O mesmo é um dos responsáveis pela regulação da evapotranspiração, do fluxo de calor sensível, do fluxo de calor no solo e da fotossíntese das plantas. O sensoriamento remoto é uma das ferramentas que vêm sendo utilizada para o cômputo do saldo de radiação a superfície, pois, através do mesmo é possível adquirir, processar e interpretar imagens e dados coletados de sensores transportados em aeronaves ou satélites, que capturam a interação entre a matéria e a energia eletromagnética. O SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*) é um algoritmo que utiliza imagens de satélite e poucos dados de superfície para estimar as componentes radiativas, e tem sido utilizado amplamente pela comunidade científica para estimar diversos parâmetros à superfície para diferentes regiões geográficas. No entanto, ainda são escassas as pesquisas desenvolvidas avaliando a aplicabilidade deste algoritmo em regiões com altos índices de umidade atmosférica. Diante disto, este trabalho tem por objetivo principal avaliar o emprego desse algoritmo na estimativa do balanço de radiação à superfície, para os estados de Rondônia e Amazonas, usando imagens do satélite ambiental TM/Landsat 5, referente aos anos de 2006 a 2010. Para a realização da pesquisa utilizamos dados de torres micrometeorológicas de três sítios experimentais do LBA, dois localizados em regiões de floresta e um em região de pastagem, e dados da estação de superfície EST/UEA; estes dados foram utilizados como variável de entrada do algoritmo SEBAL e também para validar as estimativas. A metodologia foi dividida nas seguintes etapas: georreferenciamento das imagens, aplicação do algoritmo SEBAL para a obtenção do saldo de radiação à superfície, validação das estimativas, e por fim, aplicabilidade do algoritmo SEBAL para regiões com alta umidade atmosférica. Os resultados permitiram avaliar a aplicabilidade do algoritmo SEBAL para a região Amazônica, indicando que os erros gerados em cada fase do processamento não implica em erros elevados no cálculo final do balanço de radiação à superfície, visto que algumas variáveis apresentam estimativas maiores do que os dados medidos, e outras apresentam estimativas menores, ocorrendo assim uma compensação entre os erros. Por fim, na ausência de instrumentos à superfície o algoritmo SEBAL pode ser utilizado para estimar os diversos parâmetros da superfície, visto que apresenta erros próximos aos erros dos aparelhos de medição; mesmo que as parametrizações deste algoritmo tenham sido desenvolvidas para regiões semi-áridas.

PALAVRAS-CHAVES: Saldo de Radiação, Região Amazônica, SEBAL.

ABSTRACT

The surface radiation balance is the balance between radiation that incoming and the radiation radiation outgoing the surface. The same is the one responsible for the regulation of evapotranspiration, sensible heat flux, heat flux in soil and plant photosynthesis. Remote sensing is a tool that has been used for the calculation of the surface radiation balance, because, through it is possible to acquire, process and interpret images and data collected from sensors carried on aircraft or satellites, which capture the interaction between matter and electromagnetic energy. The SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) is an algorithm that uses satellite imagery and a few surface data to estimate the radiative components and has been used widely by the scientific community to estimate several parameters to the surface for different geographical regions. However, there is still little research conducted to evaluate the applicability of this algorithm in regions with high atmospheric humidity. Thus, this study aims at evaluating the use of this algorithm to estimate the radiation balance at the surface, the states of Rondonia and Amazonas, using images of environmental satellite Landsat 5 TM, for the years 2006 to 2010. To carry out the research used data from micrometeorological towers three experimental sites in the LBA, two located in forest regions and in a pasture region, station data and surface EST/UEA, these data were used as input of the algorithm SEBAL and also to validate the estimates. The methodology was divided into stages: georeferencing of images, the algorithm SEBAL to obtain the net radiation at the surface, validating the estimates, and finally, applicability of the algorithm SEBAL to regions with high atmospheric humidity. The results allowed us to evaluate the applicability of the algorithm SEBAL for the Amazon region, indicating that the errors generated at each stage of processing does not imply high errors in the final calculation of the surface radiation balance, since some parameters are larger than the estimates measured data, and other estimates have smaller place so a tradeoff between the errors. Finally, in the absence of instruments to the surface SEBAL algorithm can be used to estimate the various parameters of the surface because it shows errors coming to the errors of measuring devices, even though the parameterization of this algorithm have been developed for semi-arid regions.

KEYWORDS: Balance Radiation, Amazon Region, SEBAL.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	
1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GERAL.....	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
4 MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	32
4.2 FONTES DE DADOS.....	33
4.2.1 Dados micrometeorológicos	33
4.2.2 Imagens de satélite	36
4.3 METODOLOGIA.....	37
4.3.1 Pré-processamento	37
4.3.2 Aplicação do algoritmo SEBAL para obtenção do saldo de radiação à superfície	38
4.3.2.1 Fase 1 (Calibração Radiométrica).....	40
4.3.2.2 Fase 2 (Reflectância).....	40
4.3.2.3 Fase 3 (Albedo Planetário e Albedo da Superfície).....	41
4.3.2.4 Fase 4 (Emissividades, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Índice de Vegetação Ajustado do Solo e Índice de Área Folia).....	42
4.3.2.5 Fase 5 (Temperatura da Superfície).....	44
4.3.2.6 Fase 6 (Radiação de Onda Longa Emitida).....	44
4.3.2.7 Fase 7 (Radiação de Onda Longa Incidente à Superfície).....	45
4.3.2.8 Fase 8 (Radiação de Onda Curta Incidente).....	45
4.3.2.9 Fase 9 (Saldo de Radiação à Superfície).....	45
4.3.3 Análises e Validação das Estimativas obtidas por meio do algoritmo SEBAL	46
4.3.4 Aplicabilidade do Algoritmo SEBAL para região Amazônica	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1 ANÁLISE DOS DADOS À SUPERFÍCIE.....	49
5.1.1 Temperatura do ar (T_a)	49
5.1.2 Albedo	51
5.1.3 Radiação de onda curta incidente	53
5.1.4 Radiação de onda curta refletida	55
5.1.5 Radiação de onda longa incidente à superfície	57
5.1.6 Radiação de onda longa emitida pela superfície	59
5.1.7 Balanço de radiação à superfície	61
5.2 ANÁLISES DOS DADOS ESTIMADOS A PARTIR DE IMAGEM ORBITAL TM/LANDSAT 5.....	64
5.2.1 Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)	64
5.2.2 Temperatura da superfície (T_s)	67
5.2.3 Albedo (α)	71

5.2.4 Componentes do balanço de radiação de ondas curtas	76
5.2.4.1 Radiação de Onda Curta Incidente ($R_{c\downarrow}$).....	76
5.2.4.2 Radiação de Onda Curta Refletida ($R_{c\uparrow}$).....	81
5.2.5 Saldo de radiação de ondas curtas (R_c)	85
5.2.6 Componentes do balanço de ondas longas	88
5.2.6.1 Radiação de Onda Longa Incidente ($R_{L\downarrow}$).....	88
5.2.6.2 Radiação de Onda Longa Emitida pela Superfície ($R_{L\uparrow}$).....	94
5.2.7 Saldo de radiação de ondas longas (R_L)	98
5.2.8 Saldo de radiação à superfície (R_n)	102
6 CONCLUSÕES	109
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	111
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 Representação espacial das áreas estudadas.....	33
Figura 4.2 Sítios experimentais do LBA e Estação meteorológica EST/UEA.....	35
Figura 4.3 Fluxograma das fases do processamento para o saldo de radiação à superfície.....	39
Figura 4.4 Variação da altitude nas áreas de abrangência de análise.....	42
Figura 5.1 Variação da temperatura do ar para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	50
Figura 5.2 Variação da temperatura do ar para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	50
Figura 5.3 Variação da temperatura do ar para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	51
Figura 5.4 Variação do albedo para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	52
Figura 5.5 Variação do albedo para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	52
Figura 5.6 Variação do albedo para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	53
Figura 5.7 Variação de radiação de onda curta incidente para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	54
Figura 5.8 Variação de radiação de onda curta incidente para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	54
Figura 5.9 Variação de radiação de onda curta incidente para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	55
Figura 5.10 Variação de radiação de onda curta refletida para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	56

Figura 5.11 Variação de radiação de onda curta refletida para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	56
Figura 5.12 Variação de radiação de onda curta refletida para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	57
Figura 5.13 Variação de radiação de onda longa incidente à superfície para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	58
Figura 5.14 Variação de radiação de onda longa incidente à superfície para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	58
Figura 5.15 Variação de radiação de onda longa incidente à superfície para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	59
Figura 5.16 Variação de radiação de onda longa emitida pela superfície para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	60
Figura 5.17 Variação de radiação de onda longa emitida pela superfície para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	60
Figura 5.18 Variação de radiação de onda longa emitida pela superfície para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	61
Figura 5.19 Variação do balanço de radiação à superfície para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	62
Figura 5.20 Variação do balanço de radiação à superfície para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.....	62
Figura 5.21 Variação do balanço de radiação à superfície para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.....	63
Figura 5.22 Estimativa do IVDN utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.....	65

Figura 5.23 Estimativa do IVDN utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	66
Figura 5.24 Estimativa da T_s (°C) utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.....	68
Figura 5.25 Estimativa da T_s (°C) utilizando imagens TM/ Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	69
Figura 5.26 Estimativa do albedo da superfície utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.....	72
Figura 5.27 Comparação entre dado medido e estimado do albedo de superfície (α) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	73
Figura 5.28 Estimativa do albedo da superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	74
Figura 5.29 Estimativa de radiação de onda curta incidente utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.....	77
Figura 5.30 Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda curta incidente à superfície ($R_{c\downarrow}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	78
Figura 5.31 Estimativa de radiação de onda curta incidente utilizando imagens TM/ Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	79
Figura 5.32 Estimativa de radiação de onda curta refletida utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a)05/07/2008; (b)21/07/2008; (c)06/08/2008.....	82
Figura 5.33 Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda curta refletida ($R_{c\uparrow}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	83
Figura 5.34 Estimativa de radiação de onda curta refletida utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	84

Figura 5.35 Estimativa do saldo de radiação de ondas curtas utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.....	86
Figura 5.36 Comparação entre o dado medido e estimado do saldo de radiação de ondas curtas (R_c) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	87
Figura 5.37 Estimativa do saldo de radiação de ondas curtas utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	88
Figura 5.38 Estimativa de radiação de onda longa incidente utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente a passagem, (a) 05/07/2008 e Ta da Floresta; (b) 05/07/2008 e Ta da Pastagem.....	90
Figura 5.39 Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda longa incidente ($R_{L↓}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	90
Figura 5.40 Estimativa radiação de onda longa incidente utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 21/07/2008 e Ta da Floresta; (b) 21/07/2008 e Ta da Pastagem; (c) 06/08/2008 e Ta da Floresta; (d) 06/08/2008 e Ta da Pastagem.....	91
Figura 5.41 Estimativa radiação de onda longa incidente utilizando imagem TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007 e Ta da Pastagem; (b) 09/08/2009 e Ta da Pastagem.....	92
Figura 5.42 Estimativa de radiação de onda longa emitida utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a)05/07/2008; (b)21/07/2008; (c)06/08/2008.....	95
Figura 5.43. Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda longa emitida ($R_{L↑}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	95
Figura 5.44 Estimativa de radiação de onda longa emitida utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.....	96

Figura 5.45 Estimativa do saldo de radiação de ondas longas utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente a passagem, (a) 05/07/2008 e Ta da Floresta; (b) 05/07/2008 e Ta da Pastagem.....	99
Figura 5.46 Comparação entre dado medido e estimado do saldo de radiação de ondas longas (R_L) em 05/07/2008.....	99
Figura 5.47 Estimativa do saldo de radiação de ondas longas utilizando imagens TM/ Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 21/07/2008 e Ta da Floresta; (b) 21/07/2008 e Ta da Pastagem; (c) 06/08/2008 e Ta da Floresta; (d) 06/08/2008 e Ta da Pastagem.....	101
Figura 5.48 Estimativa do saldo de radiação de ondas longas utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007 e Ta da Pastagem; (b) 09/08/2009 e Ta da Pastagem.....	101
Figura 5.49 Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente a passagem , (a) 05/07/2008 e Ta da Floresta; (b) 05/07/2008 e Ta da Pastagem.....	102
Figura 5.50 Comparação entre o dado medido e estimado do saldo de radiação à superfície (R_n) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.....	103
Figura 5.51 Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 21/07/2008 e Ta da Floresta; (b) 21/07/2008 e Ta da Pastagem; (c) 06/08/2008 e Ta da Floresta; (d) 06/08/2008 e Ta da Pastagem.....	104
Figura 5.52 Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007 e Ta da Pastagem; (b) 09/08/2009 e Ta da Pastagem.....	105
Figura 5.53 Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2006 e 2007 do estado do Amazonas.....	106

Figura 5.54 Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2008 e 2009 do estado do Amazonas.....	106
Figura 5.55 Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2010-Ta ZF2-Km34 e 2010-Ta EST/UEA.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 Variáveis meteorológicas, instrumentos e altura dos sensores.....	36
Tabela 4.2 Coeficientes de calibração do TM/Landsat 5.....	40
Tabela 4.3 Comparação dos dados estimados com os dados medidos.....	47
Tabela 5.1 Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para FNS.....	70
Tabela 5.2 Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para JAR.....	70
Tabela 5.3 Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para ZF2-km34.....	70
Tabela 5.4 Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para EST/UEA.....	70
Tabela 5.5 Comparação entre os valores medidos e estimados do α para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	73
Tabela 5.6 Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a FNS.....	75
Tabela 5.7 Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a JAR.....	75
Tabela 5.8 Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a ZF2- Km34.....	75
Tabela 5.9 Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a UEA/EST.....	76
Tabela 5.10 Comparação entre os valores medidos e estimados de $R_{c\downarrow}$ para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	78

Tabela 5.11 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para JAR.....	79
Tabela 5.12 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para FNS.....	80
Tabela 5.13 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para ZF2-Km34.....	80
Tabela 5.14 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para EST/UEA.....	80
Tabela 5.15 Comparação entre os valores medidos e estimados de $R_{c\uparrow}$ para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	83
Tabela 5.16 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a JAR.....	84
Tabela 5.17 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a FNS.....	85
Tabela 5.18 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a ZF2-Km34.....	85
Tabela 5.19 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a EST/UEA.....	85
Tabela 5.20 Comparação entre os valores medidos e estimados do R_c para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	87
Tabela 5.21 Análise da equação de radiação de onda longa incidente à superfície em relação a temperatura do ar (T_a).....	89
Tabela 5.22 Comparação entre os valores medidos e estimados de $R_{L\downarrow}$ para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	91
Tabela 5.23 Comparação entre os valores medidos e estimados de radiação de onda longa incidente à superfície para a JAR.....	93

Tabela 5.24 Comparação entre os valores medidos e estimados de radiação de onda longa incidente à superfície para a FNS.....	93
Tabela 5.25 Comparação entre os valores medidos e estimados de radiação de onda longa incidente à superfície para a ZF2-Km34	93
Tabela 5.26 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa incide à superfície para a EST/UEA.....	93
Tabela 5.27 Comparação entre os valores medidos e estimados de $R_{L\uparrow}$ para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	96
Tabela 5.28 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a JAR.....	97
Tabela 5.29 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a FNS.....	97
Tabela 5.30 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a ZF2-Km34.....	97
Tabela 5.31 Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a EST/UEA.....	98
Tabela 5.32 Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação de ondas longas para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	99
Tabela 5.33 Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).....	103
Tabela 5.34 Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a JAR.....	108
Tabela 5.35 Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a FNS.....	108
Tabela 5.36 Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a ZF2-Km34.....	108

Tabela 5.37 Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a EST/UEA.....	108
--	-----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ASTER -	Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer
AVHRR -	Advanced Very High Resolution Radiometer
ECAs -	Estações Climatológicas Automáticas
EMBRAPA -	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ETM -	Enhanced Thematic Mapper Plus
FNS -	Fazenda Nossa Senhora de Aparecida
IAF -	Índice de Área Foliar
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE -	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVAS -	Índice de Vegetação Ajustado do Solo
IVDN -	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
JAR -	Reserva Biológica do Jarú
LBA -	Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia
MED -	Modelo de Elevação Digital
MODIS -	Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
NASA -	National Aeronautics and Space Administration
NOAA -	National Oceanic and Atmospheric Administration
REBIO -	Reserva Biológica
Rn -	Saldo de radiação a superfície
SEBAL -	Surface Energy Balance Algorithm for Land
SIG -	Sistema de Informação Geográfica
SRTM -	Shuttle Topography Mission
TM -	Thematic Mapper

1 INTRODUÇÃO

A floresta amazônica brasileira tem cerca de 5.271.423 milhões de km², correspondendo a 61% do território brasileiro, dos quais cerca de 4 milhões de km² possuem fisionomia florestal (IBGE, 2000). Sua importância deve-se, especialmente, ao fato dos fluxos intensos anuais de energia, água e carbono, já que, a Amazônia por ser uma região considerada fonte de calor latente, influencia na variabilidade de precipitação em escala continental, e além do mais, atua como importante “seqüestradora” do excesso de gás carbônico atmosférico. Estudos demonstram que o desflorestamento dessa região causaria impactos como: aumento do escoamento superficial, redução da evapotranspiração, aumento da temperatura do solo e do ar, menor saldo de radiação à superfície, entre outros, podendo influenciar não só no clima local, mas também no clima de outras regiões (Dias, 2006).

Tendo em vista o exposto acima, tornam-se necessários estudos que visem contribuir para um melhor entendimento da interação desse bioma com a atmosfera, os quais podem ser realizados por meio de ferramentas de monitoramento como estações meteorológicas; instrumentos de medições das componentes radiativas à superfície (piranômetro, pirgeômetro, saldo radiômetro), modelagem, modelos empíricos, sensoriamento remoto, entre outras, as quais possibilitam a obtenção do balanço de radiação, balanço hídrico, balanço de carbono e balanço de energia.

O presente estudo refere-se a cálculos para obtenção do saldo ou balanço de radiação à superfície, através do qual é possível contabilizar a energia que chega e a energia que sai da superfície terrestre, tendo o mesmo relevante importância para o entendimento dos fluxos de energia do sistema Terra-atmosfera, pois, este regula a evapotranspiração, o fluxo de calor sensível, o fluxo de calor do solo e a fotossíntese das plantas.

Devido à grande extensão desta região do país e a falta de torres micrometeorológicas que sejam suficientes para um bom monitoramento, faz-se necessário a utilização de tecnologias tais como técnicas de sensoriamento remoto através de análise de imagens de satélites, as quais são de suma importância, pois, permitem uma varredura regular de todo o globo terrestre, o que não é possível com as estações meteorológicas de superfície, já que são em número insuficiente para uma cobertura mais abrangente; dessa forma, satélites ambientais e meteorológicos possibilitam medida de fluxos radiativos sobre grandes áreas com resolução espacial do sensor. Entretanto, as estimativas do saldo de radiação à superfície a partir de informações de satélites são bastantes complexas devido às interações da radiação com a atmosfera. Souza apud Sellers *et al.* (1990) após análise dos diversos algoritmos existentes na literatura que estimam parâmetros da superfície a partir de dados de satélites, elencaram alguns fatores que causam incertezas nas estimativas por satélite, como: calibração dos sensores; ângulo de visada do satélite; muitos dos algoritmos são empíricos; influência das nuvens; validação do algoritmo em escala apropriada; aplicabilidade, pois, alguns algoritmos não são operacionais por serem regionais ou aplicáveis para algumas estações do ano.

Neste trabalho optou-se pela utilização do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), proposto por (Bastiaanssen *et al.*, 1998a), que é uma metodologia que através do uso de imagens de satélite em condições de céu claro estima tanto o balanço de radiação à superfície, quanto o balanço de energia e evapotranspiração, utilizando poucos dados de superfície, e o mesmo tem sido aplicado por vários pesquisadores em várias localidades do mundo (Bastiaanssen *et al.*, 2005; Silva e Bezerra, 2006; Bezerra *et al.*, 2008; Teixeira *et al.*, 2009a,b, entre outros). A grande vantagem desse algoritmo é fornecer o saldo de radiação à superfície de maneira simples e eficaz, possibilitando também uma boa cobertura e, dependendo do sensor orbital que o alimenta com dados dos canais

reflectivos e termiais, pode também ter grande resolução espacial, entretanto o algoritmo SEBAL apresenta limitações no que se refere a aplicação apenas para condição de céu claro.

No Brasil, este algoritmo tem sido bastante aplicado, podendo citar estudos para regiões do semi-árido a exemplos estudos realizados por Lopes (2003), Bezerra (2004), Di Pace (2004), Feitosa (2005), Paiva (2005), Silva *et al.* (2005), Bezerra (2006), e Folhes (2007).

É importante comentar que aplicações do SEBAL para regiões com alta umidade atmosférica, como por exemplo, a região Amazônica ainda são raras; outro fato que vale a pena citar é a escassez de trabalhos que avaliem as parametrizações propostas, e os erros associados a cada fase do processamento. Estas análises podem resultar em benefício para a comunidade científica, através de ajustes nas parametrizações, resultando em estimativas mais precisas, e uma opção extra para avaliar a qualidade dos dados coletados continuamente nas torres de monitoramento (fluxos radiativos de onda curta e onda longa; temperatura da superfície, albedo, entre outros).

Diante do exposto, neste trabalho aplicou-se o algoritmo SEBAL para os estados de Rondônia e Amazonas, utilizando imagens TM/Landsat 5 que possuem resolução espacial de 30m, ou seja, alta resolução espacial, a qual possibilita maior acurácia dos resultados estimados; com o intuito de avaliar a aplicabilidade deste algoritmo, por meio das análises das componentes do saldo de radiação à superfície, para diferentes tipos de cobertura do solo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar o emprego do algoritmo SEBAL para região de Floresta Amazônica, mais especificamente nos estados de Rondônia e Amazonas, por meio de imagens TM/Landsat 5, e estimar o saldo de radiação à superfície para a referida região.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o comportamento do saldo de radiação para áreas de floresta e pastagem;
- Validar as estimativas obtidas utilizando o algoritmo SEBAL, a partir de dados de torres micrometeorológicas do LBA;
- Analisar as parametrizações utilizadas no algoritmo SEBAL e os erros associados a cada etapa do processamento;
- Analisar e avaliar o uso do algoritmo SEBAL em região com alto índice de umidade atmosférica.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Allen *et al.* (1998), o saldo ou balanço de radiação (R_n) corresponde a energia disponível na superfície terrestre o qual é o resultado da diferença entre o saldo de radiação de ondas curtas e o saldo de radiação de ondas longas. Observa-se que no período diurno o saldo apresenta-se positivo devido à grande contribuição da radiação de onda curta e no período noturno o saldo é negativo, pois neste período há apenas contribuição da radiação de onda longa. Ainda, segundo Oke (1982) e Landsberg (1981) o balanço de radiação para uma determinada superfície corresponde à soma de toda energia radiante recebida e perdida, no entanto, depende de fatores químicos e físicos associados ao sistema superfície-atmosfera como: elementos de rugosidade, albedo de superfície, capacidade térmica, condutividade térmica, emissividade da superfície e da atmosfera e transmissividade atmosférica. Desta forma, os processos radiativos em superfície são de grande importância no processo de redistribuição de umidade e calor no solo e na atmosfera, os quais se manifestam não apenas localmente, mas também em escala global (Bastiaanssen *et al.*, 1998a; Roerink *et al.*, 2000). Além do mais, o saldo de radiação à superfície é a quantia primordial para a estimativa do balanço de energia e é usado em várias aplicações incluindo monitoramento e previsões climáticas e do tempo e em meteorologia agrícola (Bisht *et al.*, 2005).

Muitos estudos científicos sobre as componentes do balanço de radiação à superfície vêm sendo realizados ao longo dos anos com a utilização de diversos métodos como modelagem, modelos empíricos, medições, sensoriamento remoto, entre outros. No que diz respeito ao sensoriamento remoto há algumas dificuldades em estimar o balanço de radiação à superfície, como por exemplo, a presença de nuvens. No caso da região Amazônica, que se caracteriza por apresentar intensa nebulosidade, são poucos os estudos das

componentes radiativas que utilizam dados de sensoriamento remoto, destacando-se mais estudos realizados com dados de estações meteorológicas.

Há vários pesquisadores que realizaram estudos na região amazônica abordando o saldo de radiação à superfície e seus componentes como: Manzi *et al.* (1986), André *et al.* (1988), Nobre *et al.* (1991), Leitão (1994), Manzi e Planton (1996), entre outros. Podem-se citar também estudos que destacam a mudança do saldo de radiação à superfície devido à substituição de floresta por pastagem na região amazônica realizados por diversos pesquisadores como Salati e Nobre (1991), Kleidon e Heinmann (2000), Voldoire e Royer (2004).

Querino *et al.* (2006) avaliou e comparou as medidas de radiação solar global e albedo com o ângulo zenital em quatro sítios experimentais de cobertura vegetal diferente (floresta e pastagem). Os valores máximos de radiação solar global obtidos para os sítios Fazenda Nossa Senhora de Aparecida, Reserva Biológica do Jarú, Reserva Ducke e Fazenda Dimona foram de 670 Wm^{-2} , 685 Wm^{-2} , 614 Wm^{-2} e 625 Wm^{-2} , respectivamente. Já os valores máximos de albedo obtidos para a Fazenda Nossa Senhora, Reserva Jarú, Reserva Ducke, Fazenda Dimona foram de 21,9%, 15,07%, 14,7% e 17,7%, respectivamente. Os resultados encontrados mostraram que o albedo em pastagem é superior ao da floresta em todas as épocas estudadas e depende muito do ângulo zenital. Já a radiação solar global é menor quando o ângulo zenital for maior, devido ao caminho óptico que os raios percorrem sofrendo uma atenuação, como também no período chuvoso, por causa de uma maior cobertura de nuvens. Os valores encontrados por Querino *et al.* (2006) tanto para a Fazenda Nossa Senhora de Aparecida, quanto para a Reserva Biológica do Jarú condizem com os valores encontrados por Moura *et al.* (1999). Culf *et al.* (1996) utilizando dados de superfície encontraram uma variação do albedo entre 12% e 19% para três sítios de floresta localizados em Ji-Paraná, Manaus e Marabá.

Em relação ao balanço de ondas curtas, Oliveira *et al.* (2002) encontraram valores medidos que variaram de 221 Wm^{-2} a 136 Wm^{-2} nos meses, agosto e março, respectivamente, na Reserva Florestal de Caxiuanã. Enquanto que Filho *et al.* (2006) utilizando o mesmo método encontrou para a mesma região de estudo o valor médio máximo durante o período menos chuvoso de $620,5 \text{ Wm}^{-2}$ às 11:00 h e de $549,4 \text{ Wm}^{-2}$ às 13 h. Segundo estes autores estas diferenças na magnitude de balanço de radiação de onda curta foi devido, principalmente, à menor nebulosidade durante o período menos chuvoso.

Entre os estudos sobre o balanço de radiação de onda longa na floresta Amazônica, cita-se o realizado por Manzi *et al.* (1986) que compararam os fluxos de radiação de onda longa da atmosfera estimados a partir da equação do balanço de radiação com os fluxos de radiação de onda longa da atmosfera obtidos a partir de equações semi-empíricas propostas por Brutsaert (1975), Idso e Jackson (1969), Brunt (1932) e Swinbank (1963). Nesse estudo Manzi *et al.* (1986) obtiveram o valor máximo de radiação de onda longa igual a -126 Wm^{-2} para o dia 08/08/1984, sem ocorrência de precipitação. André *et al.* (1988) em estudos para a floresta Amazônica, encontraram um valor diário de $-131,17 \text{ Wm}^{-2}$ para a estação seca de 1984, e de $-187,66 \text{ Wm}^{-2}$ para a estação chuvosa de 1985. Filho *et al.* (2002) em estudo realizado com dados medidos no sítio experimental na Floresta Nacional de Caxiuanã verificou que o balanço de radiação de ondas longas apresentou pequena variação, cuja média foi de -46 Wm^{-2} e a variação das magnitudes foram de -55 Wm^{-2} em agosto (estação menos chuvosa) a -38 Wm^{-2} em fevereiro (estação chuvosa).

Segundo estudos realizados por Shuttleworth *et al.* (1991); Bastable *et al.* (1993) a substituição da vegetação natural de floresta úmida por pastagem em áreas desmatadas afeta consideravelmente o balanço de radiação à superfície. Feitosa *et al.* (1998) estudando 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 a 1996 concluíram que os diferentes tipos de vegetação alteram as características da radiação solar global incidente, uma vez que, há influência do tipo de superfície sobre cobertura de nuvens. Shuttleworth *et al.* (1984b) obteve o valor medido de balanço de radiação igual a 412 Wm^{-2} no mês de setembro de 1983, em Manaus. Filho *et al.* 2006, encontrou através de dados medidos no nordeste da Amazônia o valor máximo de balanço de radiação igual a $622,5 \text{ Wm}^{-2}$ em dia de céu claro.

No que diz respeito à obtenção do saldo de radiação à superfície através de estimativas por sensores remotos podemos destacar a utilização do algoritmo SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), o qual foi desenvolvido por Bastiaanssen em 1995 com o objetivo de fazer estimativa do balanço de energia e evapotranspiração, baseado em combinações de relações empíricas e parametrizações físicas (Bastiaanssen *et al.*, 1998a). Este algoritmo tem sido aplicado em várias regiões do planeta e tem como principal atrativo o reduzido número de dados meteorológicos de superfície necessários ao equacionamento do balanço de energia (Paiva, 2005; Silva *et al.*, 2005; Silva e Bezerra, 2006; Santos, 2009). Além do mais, utiliza imagens coletadas pelo sensor TM/Landsat 5 ou outro sensor que colete faixas do espectro na região do infravermelho refletivo e termal, como por exemplo, o Terra/ASTER, (Wang *et al.*, 2009), Terra/MODIS (Hafeez *et al.*, 2002), e o NOAA/AVHRR (Timmermans e Meijerink, 1999 e Feitosa, 2005). O mesmo tem sido validado em vários ecossistemas mundiais, como Argentina, China, Egito, Espanha, Estados Unidos, Etiópia, França, Índia, Itália, Nigéria, Novo México, Paquistão, Portugal, Zâmbia, entre outros, (Tasumi, 2003).

Bastiaanssen *et al.* (1998a), em estudos na Bacia do rio Heife (China) obtiveram R_n variando de 400 Wm^{-2} , em deserto, e de 500 Wm^{-2} , em oásis. Estes autores comparando esses dados estimados com os medidos verificaram que os valores do saldo de radiação estimados foram maiores que os medidos no campo tanto para a região de deserto,

quanto para a região de oásis. Ainda, Bastiaanssen (2000), utilizando duas imagens TM/Landsat 5 em estudo na Turquia, obteve valores de R_n de 374 Wm^{-2} , para cultura de algodão para o dia 26 de junho de 1998 e 273 Wm^{-2} no dia 29 de agosto do mesmo ano.

No Brasil a partir de um encontro de pesquisadores em Petrolina (PE) em 1999, as pesquisas com o algoritmo SEBAL começaram a ser desenvolvida na EMBRAPA Semi-Árido, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Paiva, 2005) e Universidade Federal de Campina Grande (Silva e Bezerra, 2004 apud Di Pace, 2004). Entre as pesquisas desenvolvidas no Brasil aplicando-se o algoritmo SEBAL podemos destacar vários estudos sobre a área do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, localizado nos sertões dos Estados da Bahia e Pernambuco, às margens do Rio São Francisco em torno das cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA (Lopes, 2003; Bezerra, 2004; Di Pace, 2004; Feitosa, 2005; Silva *et al.*, 2005; Silva e Bezerra, 2006; Texeira *et al.*, 2009 a,b) e na Chapada do Araripe no Estado do Ceará (Bezerra, 2006; Folhes, 2007), em Dourados (Paiva, 2005).

Pompeu *et al.* (2009) caracterizaram as mudanças no uso e ocupação do solo no estado do Ceará utilizando dados SRTM e imagens do TM/Landsat 5, e os resultados desse estudo demonstraram que o albedo máximo foi encontrado na área antropizada (82%). Moreira (2007) trabalhando na mesma região encontrou valor máximo de albedo de 87% em uma empresa mineradora de calcário. Enquanto, Braga *et al.* (2009) com estudos na região de Quixeré-CE utilizando dados do satélite TM/Landsat 5 e o algoritmo SEBAL obtiveram uma variação média entre 14 e 20% do albedo em áreas frutíferas irrigadas, sendo que a vegetação nativa e reservatórios de água na região apresentaram os menores valores de albedo, concordando com outros estudos realizados em outras regiões do Nordeste.

Azevedo *et al.* (2005) determinaram o albedo de superfície em áreas irrigadas e de vegetação nativa dos estados de Pernambuco e Bahia com base em imagens do TM/Landsat 5 e alguns dados complementares de superfície. Utilizando o algoritmo SEBAL,

estes autores chegaram às seguintes conclusões deste estudo: o albedo de áreas frutíferas irrigadas apresentou-se entre 17 e 20 %; considerando toda a cena, houve pequena diferença entre o albedo de um ano e outro; entretanto em algumas áreas irrigadas constatou-se a diferença marcante entre os anos de 2000 e 2001, decorrentes do manejo agrícola de tais áreas; a vegetação nativa e reservatórios de água apresentaram albedo com menor variação temporal.

Silva *et al.* (2005b) utilizando imagens do satélite TM/Landsat 5 obtidas em 04/12/2000 e 04/10/2001, de áreas irrigadas do Projeto Senador Nilo Coelho, áreas de vegetação nativa e parte da área urbana dos municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, encontraram os maiores valores do Rn ($751,30 \text{ Wm}^{-2}$ e $750,7 \text{ Wm}^{-2}$, respectivamente) sobre o Lago de Sobradinho e os menores valores de Rn ($426,90 \text{ Wm}^{-2}$ e $421,8 \text{ Wm}^{-2}$, respectivamente) sobre área de solo exposto. Nessa mesma área Di Pace *et al.* (2010) utilizando imagens TM/Landsat 5 encontraram valores da moda de Rn para o dia 04/12/2000 de $503,3 \text{ Wm}^{-2}$ com o Modelo de Elevação Digital (MED) e de $589,4 \text{ Wm}^{-2}$ sem o MED, e para o dia 04/10/2001 foram obtidos os valores da moda de $550,6 \text{ Wm}^{-2}$ e $579,5 \text{ Wm}^{-2}$ com e sem a utilização do MED, respectivamente. Enquanto, Folhes *et al.* (2007) obtiveram em áreas sobre o curso do Rio São Francisco, próximo à cidade de Petrolina-PE, Rn entre 360 Wm^{-2} a 810 Wm^{-2} para uma imagem do dia 12 de outubro de 2004. No entanto, para a área do projeto de irrigação Jaguaribe-Apodi, situado nas proximidades do limite entre os Estados do Ceará e Rio Grande do Norte, os resultados obtidos foram de Rn médio de 629 Wm^{-2} , 586 Wm^{-2} , 551 Wm^{-2} e 561 Wm^{-2} para imagens dos dias 24/10/2005, 28/01/2006, 23/07/2006 e 08/08/2006, respectivamente (Folhes, 2007).

Silva *et al.* (2009) determinaram o balanço de radiação em áreas degradadas, com base em imagens TM/Landsat 5 e alguns dados complementares de superfície nos municípios de Gilbués, Barreiras do Piauí, Monte Alegre do Piauí e São Gonçalo do Gurguéia

e obtiveram o saldo de radiação (R_n) em 1987, de $489,5 \text{ Wm}^{-2}$, o qual foi inferior ao verificado em 2008, com média de $558,7 \text{ Wm}^{-2}$.

Andrade *et al.* (2007) estimaram o saldo de radiação (R_n) na região da Zona da Mata do Estado de Minas Gerais, utilizando o algoritmo SEBAL e imagem do sensor TM/Landsat 5 e obtiveram o valor de $548,57 \text{ Wm}^{-2}$ de R_n para a cena do dia 06/07/2003. Enquanto, Lima *et al.* (2009) estimou o balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem TM/Landsat 5 na região do Triângulo Mineiro e obtiveram uma variação entre $307,46 \text{ Wm}^{-2}$ a $649,72 \text{ Wm}^{-2}$, sendo que o valor médio foi de $529,64 \text{ Wm}^{-2}$. Estes autores explicam que a tendência de maiores valores do R_n sobre superfícies líquidas e menores sobre os demais tipos de superfícies é devido ao efeito combinado do albedo e da T_s , pois o primeiro termo influencia o balanço de ondas curtas e o segundo o balanço de ondas longas.

Leivas *et al.* (2007) obtiveram, para imagem do sensor ASTER na região de Eldorado do Sul-RS em 2 de outubro de 2002, R_n médio da ordem de 662 Wm^{-2} , 585 Wm^{-2} , 606 Wm^{-2} e 604 Wm^{-2} para água, solo exposto, vegetação e área urbana, respectivamente.

Para região amazônica alguns estudos foram desenvolvidos mais recentemente utilizando o algoritmo SEBAL. Liberato (2010) utilizou imagens TM/Landsat 5 dos dias 13/07/2005, 13/05/2006, 30/06/2006 e 16/07/2006 e obteve valores de R_n variando entre $507,56 \text{ Wm}^{-2}$ e $646,04 \text{ Wm}^{-2}$ na área de floresta, e 386 Wm^{-2} a 507 Wm^{-2} em área de pastagem numa região que compreende os municípios de Ji-Paraná, Ouro Preto do Oeste, Vale do Paraíso, Theobroma e Vale do Anari, no Estado de Rondônia. Os valores maiores que $646,04 \text{ Wm}^{-2}$ foram encontrados em superfícies com água, nos Rios Jaru e Ji-Paraná, e valores menores que $386,91 \text{ Wm}^{-2}$ foram encontrados em áreas com solo exposto. Enquanto, Silva *et al.* (2010) estudando uma região do município de Rio Branco no estado do Acre obteve valores de R_n variando de 200 Wm^{-2} a $456,6 \text{ Wm}^{-2}$ para o dia 18 de agosto de 2008. Sendo

encontrados valores para a vegetação com aproximadamente 370 Wm^{-2} e para solo exposto de 295 Wm^{-2} .

Oliveira *et al.* (2010) utilizaram imagem TM/Landsat 5 do dia 03 de julho de 2009 do município de Itaituba e obtiveram valores de R_n para uma área vegetada igual a $287,87 \text{ Wm}^{-2}$ quando se considerou a transmissividade constante, e $362,85 \text{ Wm}^{-2}$ quando utilizou-se o Modelo de Elevação Digital (MED).

Tendo em vista as referências citadas anteriormente, observou-se que poucos são os estudos que comparam as estimativas obtidas pelo SEBAL com as medidas de superfície; outro fato que é importante citar é que os trabalhos que avaliam a aplicabilidade deste algoritmo, que foi desenvolvido para regiões semi-áridas, mas que vem sendo aplicado para a região amazônica ainda são escassos. Diante disto, as análises realizadas neste trabalho têm o propósito de contribuir com futuros trabalhos científicos que venham utilizar o algoritmo SEBAL.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi realizado para os estados de Rondônia e Amazonas; a escolha destas regiões deve-se a dois critérios: 1) disponibilidade de imagens sem nuvens, devido a limitação do algoritmo; e 2) a disponibilidade dos dados de superfície para validar as estimativas.

A área de estudo no estado de Rondônia abrange dois sítios experimentais do LBA: o sítio experimental Reserva Biológica do Jarú (JAR), o qual compreende uma região de cobertura vegetal nativa (floresta tropical) e o sítio experimental Fazenda Nossa Senhora de Aparecida (FNS) que compreende uma região desmatada caracterizada por uma vegetação rasteira (pastagem) para a criação de gado. Também foram realizadas estimativas para o estado do Amazonas, compreendendo o sítio experimental conhecido como ZF2-Km34, localizado na Reserva Biológica do Cuieiras, 60 km ao norte de Manaus; e a área na região central da cidade de Manaus, localização da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas (EST/UEA), onde dispõe de uma estação meteorológica automática (Figura 4.1).

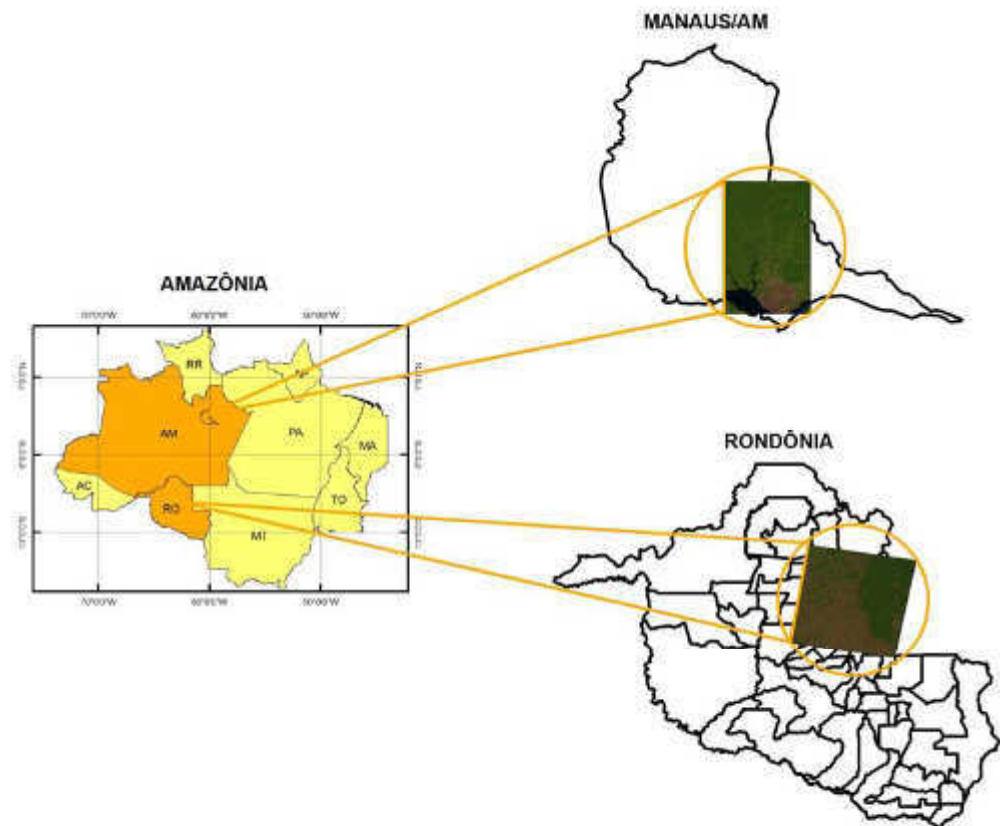


Figura 4.1. Representação espacial das áreas estudadas.

4.2 FONTES DE DADOS

4.2.1 Dados micrometeorológicos

Os dados micrometeorológicos utilizados, tanto como variável de entrada, quanto para validar as estimativas obtidas com o algoritmo SEBAL, foram coletados em três sítios experimentais do projeto LBA (Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia) dois localizados no estado de Rondônia (Reserva Biológica do Jarú e Fazenda Nossa Senhora da Aparecida), e um no estado do Amazonas (Reserva Biológica do Cuieiras); e também foram utilizados dados micrometeorológicos coletados na estação meteorológica automática da EST/UEA. O LBA é o maior projeto de cooperação científica internacional já

realizado em regiões tropicais na área ambiental e é liderado pelo Brasil, e tem como objetivo compreender as interações que ocorre entre a Floresta Amazônica e a atmosfera em escala local, regional e global. O LBA teve início em 1998, e vem realizando pesquisas para entender o funcionamento dos ecossistemas amazônicos em todas as suas vertentes e estudar o sistema amazônico como uma entidade regional no sistema Terra, assim como as causas e efeitos das mudanças em curso na região.

A Reserva Biológica do Jarú é uma extensa reserva florestal, na qual há uma torre do LBA de 61,5 metros de altura localizada nas coordenadas $10^{\circ}04'48,44''\text{S}$ e $61^{\circ}55'50,07''\text{W}$, a 120 m acima do nível do mar. Já a Fazenda Nossa Senhora da Aparecida, localiza-se no município de Ouro Preto D'Oeste, onde está situada uma torre do LBA de 10 metros de altura, cujas coordenadas são $10^{\circ}45'17,75''\text{S}$ e $62^{\circ}22'00,72''\text{W}$, a 293 m acima do nível médio do mar. Em relação ao estado do Amazonas a Reserva Biológica do Cuieiras, está localizada a 60 km ao norte de Manaus, compreende uma área 22.735 ha de floresta tropical úmida, cujas coordenadas são $02^{\circ}35'22''\text{S}$ e $60^{\circ}06'55''\text{W}$, onde está uma torre com 54 metros de altura, a 130 m acima do nível do mar. A estação meteorológica da EST/UEA possui 10 metros de altura e está localizada nas coordenadas $03^{\circ}05'32,5''\text{S}$ e $60^{\circ}00'59,6''\text{W}$ a 31 metros acima do nível do mar (Figura 4.2).

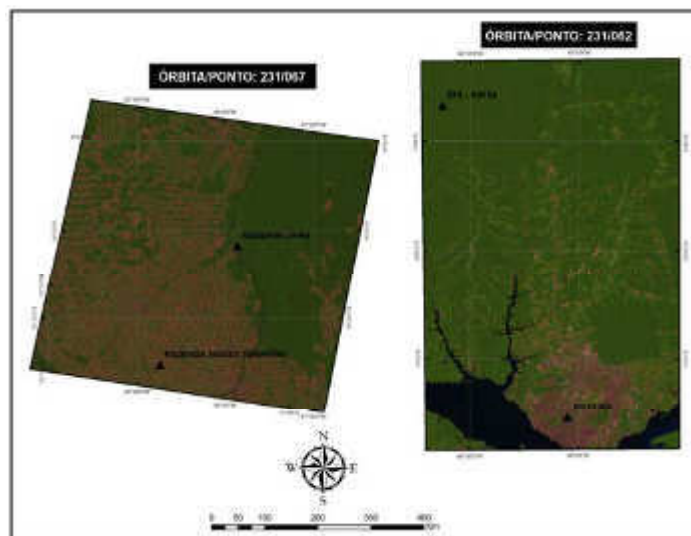


Figura 4.2. Sítios experimentais do LBA e Estação meteorológica EST/UEA.

Dados dos sítios experimentais de Rondônia correspondem ao ano 2008, coletados por torres micrometeorológicas compostas por: dois piranômetros CM21 (*Kipp&Zonen*) para medição de radiação solar global incidente e refletida pela superfície; dois pirgeômetros CG1 (*Kipp&Zonen*) para medição de radiação de onda longa incidente à superfície e emitida pela superfície; um saldo radiômetro (*Radiation Energy Balance System, Seattle, EUA*) para medir o saldo de radiação, e um termohigrômetro (Vaisala HMP45C) para medição da temperatura e umidade relativa do ar. A leitura dos dados foi feita a cada 30 segundos e uma média calculada a cada 10 minutos, sendo armazenados nos sistemas de aquisição automática *Micrologger CR23X* na Reserva Jarú e *Micrologger CR10X* na Fazenda Nossa Senhora (<http://www.lba.com.br/>). Para o sítio experimental da Reserva Biológica de Cuieiras, temos dados referentes aos anos de 2006 a 2010. No que diz respeito à estação meteorológica da EST/UEA a mesma foi instalada recentemente, possuindo assim apenas dados a partir de 2010, período aqui analisado. A Tabela 4.1 mostra os sensores e respectiva altura que estão instalados nas torres.

Tabela 4.1. Variáveis meteorológicas, instrumentos e altura dos sensores.

Variável Meteorológica	Instrumento	Altura dos Sensores (m)			
		FNS	JAR	ZF2-Km34	EST/UEA
Radiação solar incidente e refletida	Piranômetro (Kipp&Zonen /CM21)	6,5	19,3	44,6	10
Radiação térmica incidente e emitida	Pirgeômetro (Kipp&Zonen /CG1)	6,5	19,3	44,6	10
Saldo radiômetro	Conjunto Saldo-radiômetro Kipp&Zonen	6,5	58	-	10
Temperatura e umidade do ar	Termohigrômetro Vaisala (HMP45A)	8,3	60	51	10

4.2.2 Imagens de satélites

Para o estudo foram utilizadas as imagens do sensor TM (*Thematic Mapper*)/Landsat 5, órbita/ponto 231/062 (EST/UEA e ZF2-34), e órbita/ponto 231/067 (FNS e JAR). Esse sensor é caracterizado por uma resolução espacial de 30m, sendo de 120m no canal termal, e resolução temporal de 16 dias. O TM/Landsat 5 tem uma órbita quase polar e heliossíncrona, numa altitude média de 705,3km e uma inclinação de 98,2°. A área imageada é de 185 km x 170 km e o satélite demora 24 segundos para imagear uma área. Estas imagens foram adquiridas gratuitamente no Departamento de Geração de Imagens – DGI/INPE (<http://www.dgi.inpe.br/>). Sendo que foram selecionadas para a região de Rondônia, dentre outras imagens disponíveis no site, as passagens de 05/07/2008, 21/07/2008, 06/08/2008, 04/08/2007 e 09/08/2009 por apresentar céu claro, visto que, este é um dos requisitos para aplicação do algoritmo SEBAL. Vale ressaltar, que para a região estudada o horário da passagem do satélite corresponde as 10:10 hora local.

Para a análise na região da Reserva Biológica de Cuieiras e área urbana de Manaus (EST/UEA) foram utilizadas passagens referentes aos dias 02/09/2006, 04/08/2007, 06/08/2008, 10/09/2009 e 27/07/2010; estes dias também foram selecionados por apresentarem condições de céu claro.

4.3 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas:

- O pré-processamento, no qual foi realizado o georreferenciamento das imagens de satélite;
- Aplicação do algoritmo SEBAL para obtenção do saldo de radiação à superfície, o qual consistiu em 9 fases: Fase 1 (Calibração radiométrica), Fase 2 (Reflectância), Fase 3 (Albedo planetário e Albedo de superfície), Fase 4 (Emissividades, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Índice de Vegetação Ajustado do Solo e Índice de Área Foliar), Fase 5 (Temperatura da superfície), Fase 6 (Radiação de onda longa emitida), Fase 7 (Radiação de onda longa incidente), Fase 8 (Radiação de onda curta incidente), Fase 9 (Balanço de radiação);
- Análises e validação das estimativas obtidas por meio do algoritmo SEBAL;
- Análise da aplicabilidade do algoritmo SEBAL para regiões com alta umidade atmosférica.

4.3.1 Pré-processamento

Uma vez que as imagens produzidas por sensores apresentam uma série de distorções espaciais ou erros geométricos devido a várias causas como: rotação e curvatura da

Terra, movimento do espelho de imageamento, variações da altitude, posição e velocidade da plataforma e distorção topográfica, fez se necessário o georreferenciamento das imagens.

As imagens de referência para o georreferenciamento foram a ETM/Landsat 7, órbita/ponto: 231/067, passagem: 13/10/1986 e a TM/Landsat 5, órbita/ponto 231/062, passagem 17/07/1992, ortorretificadas e adquiridas através do site da NASA (*Geocover*) de uso global (www.glcfc.umd.edu/data/).

O georreferenciamento foi realizado utilizando-se o *software* ArcGis 9.3/ArcMap, no qual foram escolhidos pontos controles com base no reconhecimento de padrões radiométricos, utilizando o modo transformação polinomial de 1ª ordem (mapeamento direto) e ajuste.

O ArcGis é um *software* que utiliza o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e é composto de três produtos: ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox. O ArcMap tem aplicação para entrada de dados, buscas estatísticas e geográficas, e saídas de mapas para impressão; o ArcCatalog é uma ferramenta para organizar e documentar os dados geográficos (metadados); o ArcToolbox é utilizado para o geoprocessamento para combinar níveis de informação, manipulação de dados, definição e transformação de sistemas de coordenadas, entre outros. (www.senografia.com.br).

4.3.2 Aplicação do algoritmo SEBAL para a obtenção do saldo de radiação à superfície

O presente estudo utilizou o algoritmo SEBAL, desenvolvido por Bastiaanssen (1995), para estimar o saldo de radiação à superfície. Uma das vantagens deste algoritmo é que o mesmo utiliza imagens de satélite e poucos dados de superfície para o cálculo do saldo de radiação.

O saldo de radiação à superfície foi determinado pela seguinte equação:

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

No qual R_n é o saldo de radiação à superfície, $R_{c\downarrow}$ é radiação solar incidente, $R_{L\downarrow}$ é a radiação atmosférica incidente, $R_{L\uparrow}$ é a radiação terrestre ascendente, ϵ_0 é a emissividade radiativa da superfície e α é o albedo.

Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da ferramenta *Model Maker* do programa ERDAS Imagine 9.1, na qual as imagens do satélite TM/Landsat 5 foram trabalhadas para o cálculo do saldo de radiação à superfície.

As etapas computacionais para a obtenção dos componentes do balanço de radiação, por meio do algoritmo SEBAL estão ilustradas no fluxograma da Figura 4.3 e descritas na seqüência.

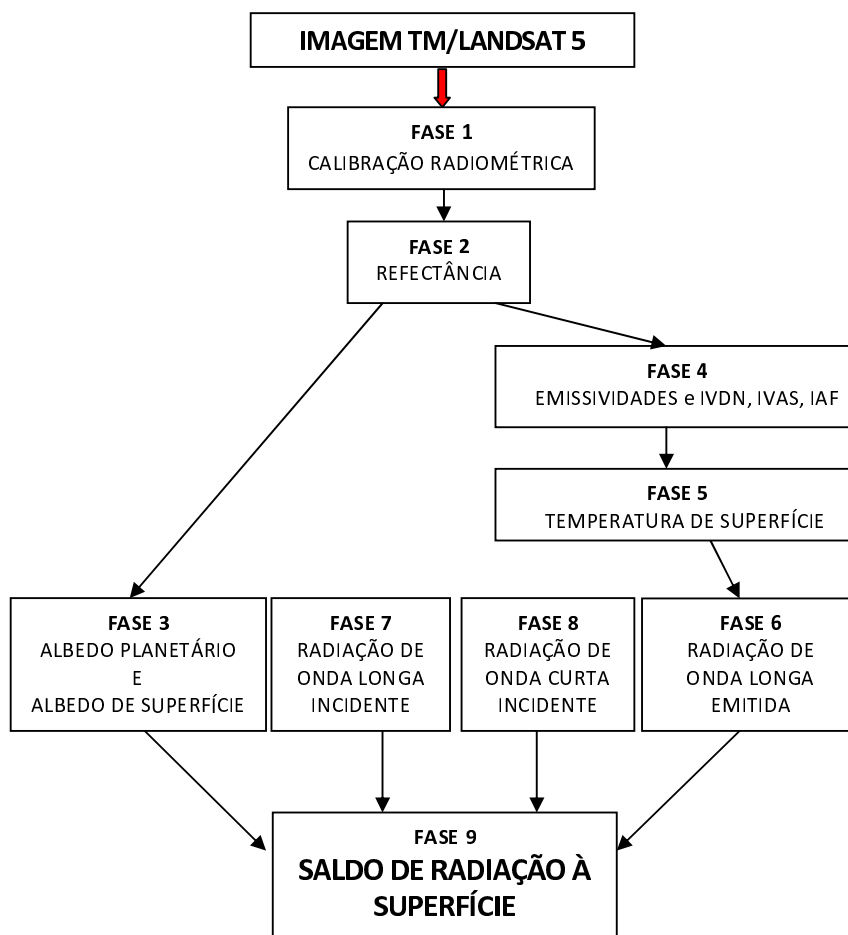


Figura 4.3. Fluxograma das fases do processamento para o saldo de radiação à superfície.

4.3.2.1 Fase 1 (Calibração Radiométrica)

A primeira fase do processamento foi a calibração radiométrica, a qual foi calculada utilizando a seguinte fórmula proposta por Markham & Baker (1987):

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} * ND \quad (2)$$

em que a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) de cada banda, respectivamente, mostrada na Tabela 4.2, e ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255).

Tabela 4.2 - Coeficientes de calibração do TM/Landsat 5.

Descrição dos canais	Comprimento de onda - μm	Coeficientes de calibração ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m$)		$K_{\lambda}(\lambda_i) - W/m^2 \mu m$
		a	b	
Banda 1 (azul)	0,45-0,52	-1,52	152,1	1957
Banda 2 (verde)	0,53-0,61	-2,84	296,8	1829
Banda 3 (vermelho)	0,62-0,69	-1,17	204,3	1557
Banda 4 (infra-vermelho próximo)	0,78-0,90	-1,51	206,3	1047
Banda 5 (infra-vermelho médio)	1,57-1,78	-0,37	27,19	219,3
Banda 6 (infra-vermelho termal)	10,4-12,5	1,238	15,30	-
Banda 7 (infra-vermelho médio)	2,10-2,35	-0,15	14,38	74,52

Fonte: Chander e Markham (2003)

4.3.2.2 Fase 2 (Reflectância)

Foi estimada a reflectância espectral planetária em cada banda de acordo com a seguinte equação definida por Bastiaanssen (1995):

$$r_{pi} = \frac{L_{\lambda i} * \pi}{K_{\lambda i} * \cos Z * d_r} \quad (3)$$

Sendo que a Reflectância Monocromática de cada banda r_{pi} é definida como a razão entre fluxo emergente da atmosfera e o fluxo incidente no seu topo, na região e banda espectral analisada; sendo computada a partir dos mapas de radiância espectral de cada banda.

Na Equação 3, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera em $Wm^{-2} \mu m^{-1}$ (Tabela 4.2), Z é o ângulo zenital solar e d_r é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DOA), obtido com a seguinte equação:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(DOA \frac{2\pi}{365}\right) \quad (4)$$

4.3.2.3 Fase 3 (Albedo Planetário e Albedo da Superfície)

O albedo a superfície é o albedo corrigido pelos valores do efeito atmosférico dado por:

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (5)$$

Na qual α_p é a radiação solar refletida pela atmosfera, variando entre 0,025 e 0,04, em que Bastiaanssen (2000) afirma que o valor mais recomendado para o SEBAL é 0,03; τ_{sw} é a transmissividade atmosférica (Equação 6), obtida para condições de céu claro em função da altitude de cada pixel (z) e proposta por Allen *et al.* (2002); albedo planetário (Equação 7) onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são as refletividades de cada banda, calculadas a partir da Equação 8.

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} * z \quad (6)$$

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (7)$$

$$\rho_i = \frac{K_{\lambda i}}{\sum K_{\lambda i}} \quad (8)$$

Para o cálculo de z foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) adquirido de forma gratuita através do site da NASA (<http://www-radar.jpl.nasa.gov/srtm/>). A Figura 4.4 mostra a variação de altitude das áreas de estudo.

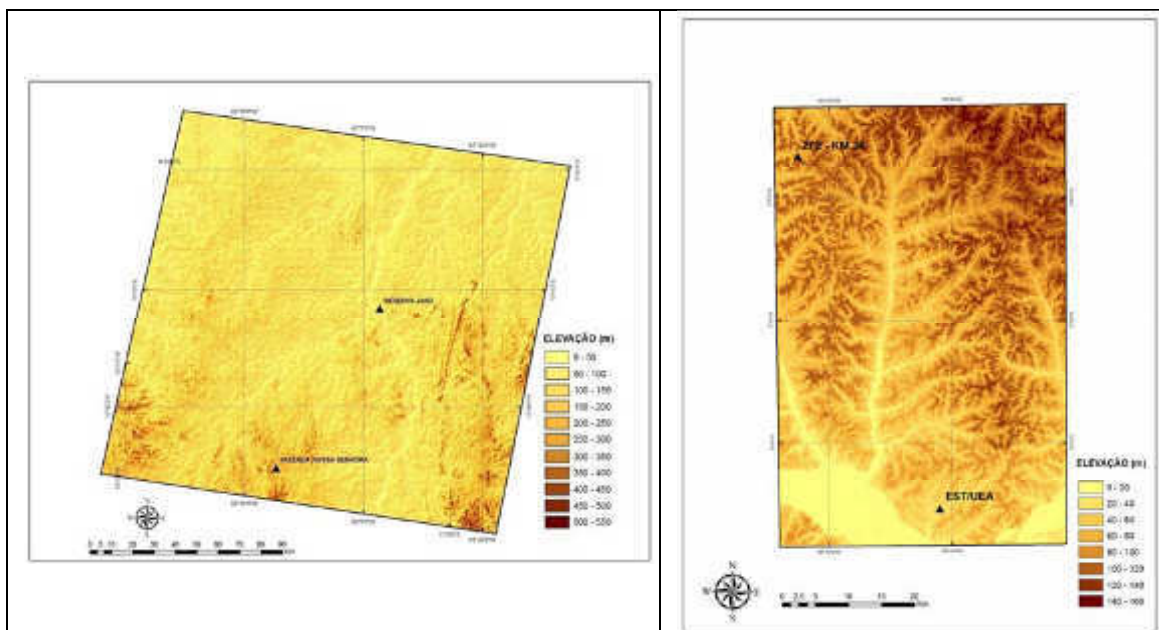


Figura 4.4. Variação da altitude nas áreas de abrangência de análise.

4.3.2.4 Fase 4 (Emissividades, Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, Índice de Vegetação Ajustado do Solo e Índice de Área Foliar)

A emissividade termal (ϵ_{NB}) e a emissividade radiativa (ϵ_0) foram calculadas através das Equações 9 e 10, respectivamente, propostas por Allen *et al.* (2002):

$$\epsilon_{\text{NB}} = 0,97 + 0,00331\text{IAF} \quad (9)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF \quad (10)$$

Para calcular os valores de IVDN (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), IVAS (Índice de Vegetação Ajustado do Solo) e IAF (Índice de Área Foliar) foram utilizadas as Equações 11, 12 e 13, respectivamente.

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (11)$$

Na qual ρ_{IV} (refletividade do infravermelho próximo) e ρ_V (refletividade do vermelho) compreendem, respectivamente, as bandas 4 e 3 do TM/Landsat 5, em que os valores de IVDN variam de -1 a +1.

Huete (1988) introduziu um fator no IVDN para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor do IVDN dentro do intervalo -1 a +1. Esse novo índice é chamado de IVAS, obtido com a seguinte expressão:

$$IVAS = \frac{(1 + L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (12)$$

Em que, L é um fator de ajuste ao solo, podendo variar de 0,1 a 1; neste trabalho utilizamos o valor intermediário de 0,5, utilizado mais frequentemente pelos seguintes pesquisadores Huete e Warrick (1990); Accioly *et al.* (2002); Boegh *et al.* (2002); apud. Silva (2005).

Allen *et al.* (2002) propuseram a seguinte equação empírica para o cálculo do IAF:

$$IAF = \frac{-\ln\left(0,69 - \frac{IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (13)$$

A qual indica a razão entre a área foliar de toda a vegetação e a área utilizada por essa vegetação, ou seja, o IAF é um indicador da abundância de folhas da vegetação e pode estar relacionado com a quantidade de biomassa de cada pixel.

4.3.2.5 Fase 5 (Temperatura da Superfície)

Para o cálculo da Temperatura da Superfície (T_s) pela Equação 14, foram utilizadas a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ϵ_{NB} , obtendo-se a temperatura da superfície em Kelvin (K). São considerados $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ quando $IAF \geq 3$, e para $IVDN < 0$, no caso de corpos de água, considera-se $\epsilon_{NB} = 0,99$ e $\epsilon_0 = 0,985$, de acordo com proposta de Allen *et al.* (2002).

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} * K_1}{R_c} + 1\right)} \quad (14)$$

em que, $K_1 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ são as constantes de calibração da banda termal do TM/Landsat 5 (Allen *et al.*, 2002).

Sendo que o R_c (radiância termal da superfície) é calculada segundo a Equação (15) de acordo com Wukelic *et al.* (1989).

$$R_c = \frac{L_{\lambda,6} - R_p}{\tau_{NB}} - (1 - \epsilon_{NB}) R_{sky} \quad (15)$$

Segundo Allen *et al.* (2002), consideram-se os valores 0, 1 e 0 para R_p , τ_{NB} e R_{sky} , respectivamente. E $L_{\lambda,6}$ é a radiância espectral da banda 6 calculada segundo a Equação 2. Logo, utilizando os valores acima temos que o $R_c = L_{\lambda,6}$.

4.3.2.6 Fase 6 (Radiação de Onda Longa Emitida)

Para o cálculo da radiação de onda longa emitida pela superfície $R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) foi utilizada a seguinte equação:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 * \sigma * T_s^4 \quad (16)$$

em que: ε_o é a emissividade de cada pixel estimado de acordo com a Equação 10, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($\sigma=5,67.10^{-8} \text{ Wm}^{-2} \text{ K}^{-4}$) e T_s é a temperatura da superfície (K) estimada de acordo com a Equação 14.

4.3.2.7 Fase 7 (Radiação de Onda Longa Incidente à Superfície)

A radiação de onda longa incidente à superfície $R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) foi calculada pela Equação 17.

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a * \sigma * T_a^4 \quad (17)$$

Em que, ε_a é a emissividade atmosférica, obtida pela Equação 18 (Allen *et al.*, 2002), σ é a constante de Stefan-Boltzman e T_a é a temperatura do ar (K).

$$\varepsilon_a = 0,85 (-\ln\tau_{sw})^{0,09} \quad (18)$$

4.3.2.8 Fase 8 (Radiação de Onda Curta Incidente)

A Radiação de onda curta incidente foi calculada a partir da Equação 19 proposta por Bastiaanssen (1995); Allen *et al.* (2002) e Morse *et al.* (2000).

$$R_{c\downarrow} = S * \cos Z * d_r * \tau_{sw} \quad (19)$$

em que S é a constante solar (1367 Wm^{-2}), Z é o ângulo zenital solar, que consta no cabeçalho da imagem, d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol calculado de acordo com a Equação 4, e τ_{sw} é a transmissividade atmosférica obtida através da Equação 6.

4.3.2.9 Fase 9 (Saldo de Radiação à Superfície)

O saldo de radiação à superfície R_n (Wm^{-2}), foi calculado utilizando-se a Equação 1.

4.3.3 Análises e Validação das Estimativas obtidas por meio do algoritmo SEBAL

Esta etapa constitui análises das figuras dos diversos parâmetros obtidos após cada etapa de processamento, descrito na seção 4.3.2. Foram identificados valores máximos e mínimos de cada parâmetro, evidenciando diferentes tipos de cobertura de solo e valores típicos.





Para validação das estimativas foram realizadas comparações entre os dados medidos nas torres com os parâmetros estimados por meio do algoritmo SEBAL. Foram calculados os erros relativos, em percentagem, para cada parâmetro, utilizando a Equação 20:

$$E = \frac{V_e - V_m}{V_m} \quad (20)$$

Em que E é o erro relativo (%), V_m é o valor medido e V_e é o valor estimado.

Em seguida, no intuito de verificar a influência dos pixels vizinhos foram calculadas as médias das estimativas, a qual considerou o valor do pixel onde localiza-se a torre e seus vizinhos mais próximos (Tabela 4.3). E finalmente para a validação das estimativas foram comparados os dados medidos pelas torres micrometeorológicas com os dados estimados.

Tabela 4.3. Comparação dos dados estimados com os dados medidos.

Valor do pixel da imagem de satélite onde está localizada a Torre de medição.					
Média dos valores de 5 pixels.					
Média dos valores de 9 pixels.					
Média dos valores de 25 pixels.					

4.3.4 Aplicabilidade do Algoritmo SEBAL para região Amazônica

Esta etapa da metodologia é de fundamental importância, pois permite avaliar as parametrizações utilizadas, analisando os parâmetros que exercem maior influência nas estimativas, os erros gerados em cada fase de processamento do algoritmo SEBAL, e por fim, testar a aplicabilidade do algoritmo SEBAL para a região Amazônica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados neste trabalho referem-se às análises dos dados das componentes do balanço radiativo medidos nas torres micrometeorológicas localizadas em Rondônia: Fazenda Nossa Senhora (FNS) e Reserva Rebio Jarú (JAR), descritos no item 5.1; No item 5.2 mostrou-se as estimativas obtidas por meio do algoritmo SEBAL, utilizando imagens do TM/Landsat 5 para os estados de Rondônia e Amazonas; também serão apresentados as comparações entre os dados medidos e os estimados com o SEBAL, paralelamente foram feitas análises das parametrizações utilizadas em cada etapa do processamento, descrito na seção 4.3.2.

As análises dos dados medidos nas torres localizadas na Fazenda Nossa Senhora e na Reserva Biológica do Jarú referem-se ao ano de 2008. Para a Reserva Biológica de Cuieiras (ZF2-Km34) às análises são referentes aos anos de 2006 a 2010. É importante citar que foram obtidas estimativas para toda área de estudo do estado de Rondônia e Amazonas, entretanto os dados da ZF2-Km34 e da estação meteorológica automática da EST/UEA foram utilizados para análises da aplicabilidade do algoritmo, desta maneira serão apresentados apenas os valores estimados e medidos para o pixel onde está localizada as torres.

Tornou-se necessário realizar uma análise dos dados medidos em superfície, visto que estes representam as condições reais da área estudada, diante disto foram analisadas as componentes da equação do balanço radiativo (radiação de onda curta incidente ($R_{c\downarrow}$), radiação de onda curta refletida ($R_{c\uparrow}$), radiação de onda longa incidente ($R_{L\downarrow}$), radiação de onda longa emitida ($R_{L\uparrow}$) tanto para as estimativas por satélites, quanto para as medições à superfície. Outros parâmetros e variáveis também foram analisados como albedo (α), a temperatura do ar (T_a), a temperatura da superfície (T_s) e o IVDN.

5.1 ANÁLISES DOS DADOS MEDIDOS À SUPERFÍCIE

Foram analisados os dados da FNS e JAR referentes ao ano de 2008; entretanto as figuras mostradas a seguir são referentes aos dias 05 e 21 de julho, e 06 de agosto do ano 2008, os quais correspondem às imagens de satélite em condições de céu claro.

5.1.1 Temperatura do ar (T_a)

Comparando a T_a da FNS e JAR, pode-se observar que durante o dia a T_a na FNS é maior que na JAR e o inverso ocorre durante a noite (Figuras 5.1 a 5.3), isso deve-se ao fato de que a floresta tem maior capacidade de utilização da energia solar absorvida para os processos de evapotranspiração durante o dia, o que atenua a elevação da temperatura à superfície e, em consequência, do ar acima da floresta em comparação com o ar acima da pastagem. À noite, por ter um teor de vapor de água atmosférico maior em comparação com a pastagem, a perda radiativa de onda longa acima da floresta é menor que a da pastagem, resultando em uma queda menos acentuada da temperatura à superfície. Para os dias 05/07/2008 (Figura 5.1), 21/07/2008 (Figura 5.2) e 06/08/2008 (Figura 5.3) a T_a foi em média de 21°C para a floresta (JAR) e de 20°C para a pastagem (FNS) durante a noite, e de 30°C para a FNS e de 26°C para a JAR durante o dia.

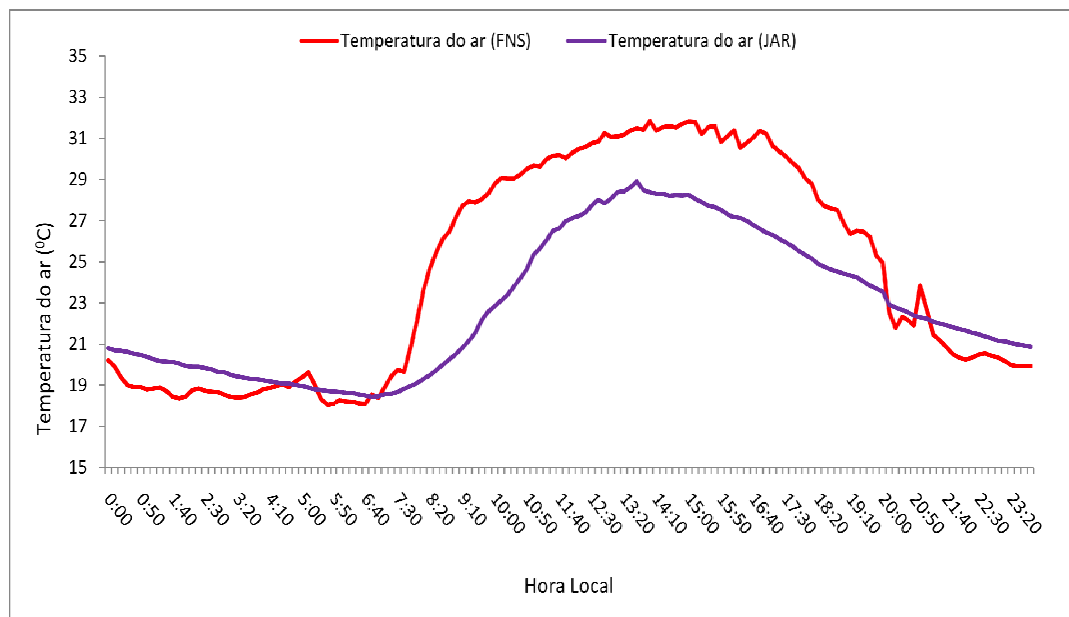


Figura 5.1. Variação da temperatura do ar para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

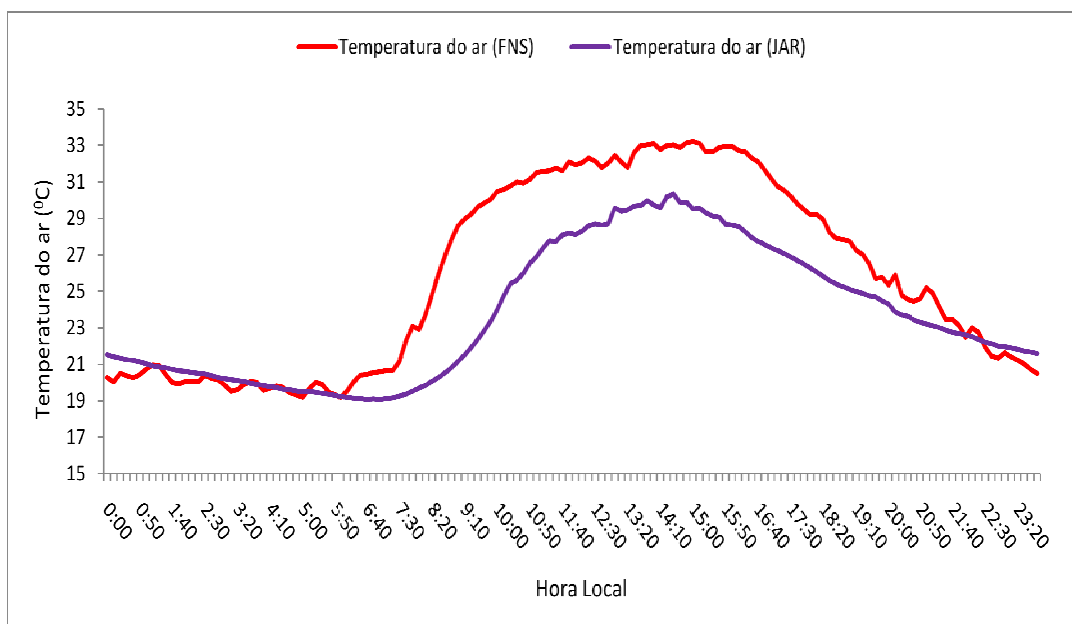


Figura 5.2. Variação da temperatura do ar para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

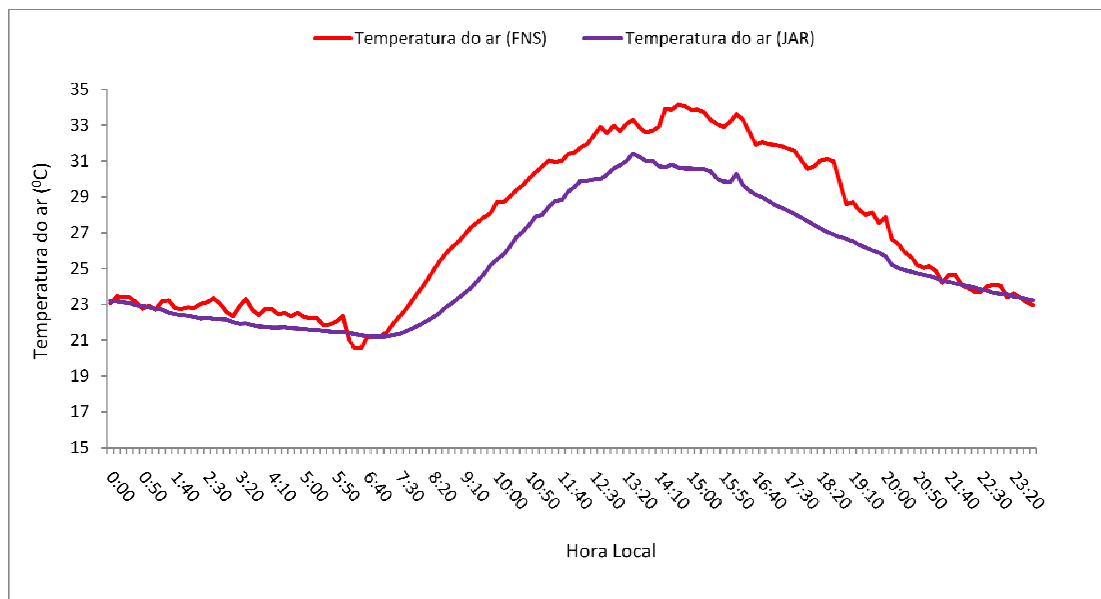


Figura 5.3. Variação da temperatura do ar para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

5.1.2 Albedo

Observa-se nas Figuras 5.4 a 5.6 que o albedo apresenta um valor elevado nas primeiras e últimas horas do dia tanto na FNS, quanto na JAR, devido ao ângulo zenital ser máximo nesses horários. No restante do dia o albedo teve valores uniformes ficando em torno de 0,20 em região de pastagem (FNS) e 0,12 em região de floresta (JAR) para os dias analisados. Pode-se observar que o albedo na FNS é maior que o albedo na JAR, essa diferença entre o albedo da pastagem (FNS) e da floresta (JAR) deve-se a diferença de coloração da vegetação existente, ou seja, a região de floresta por ser mais escura reflete menos energia que a pastagem. Além da coloração da vegetação, a estrutura vertical da floresta, com mais de 30 metros de altura em média, do que a da pastagem, que tem de uma a poucas dezenas de centímetros de altura, propicia a absorção de raios solares que penetram a copa da floresta e são absorvidos nas camadas inferiores.

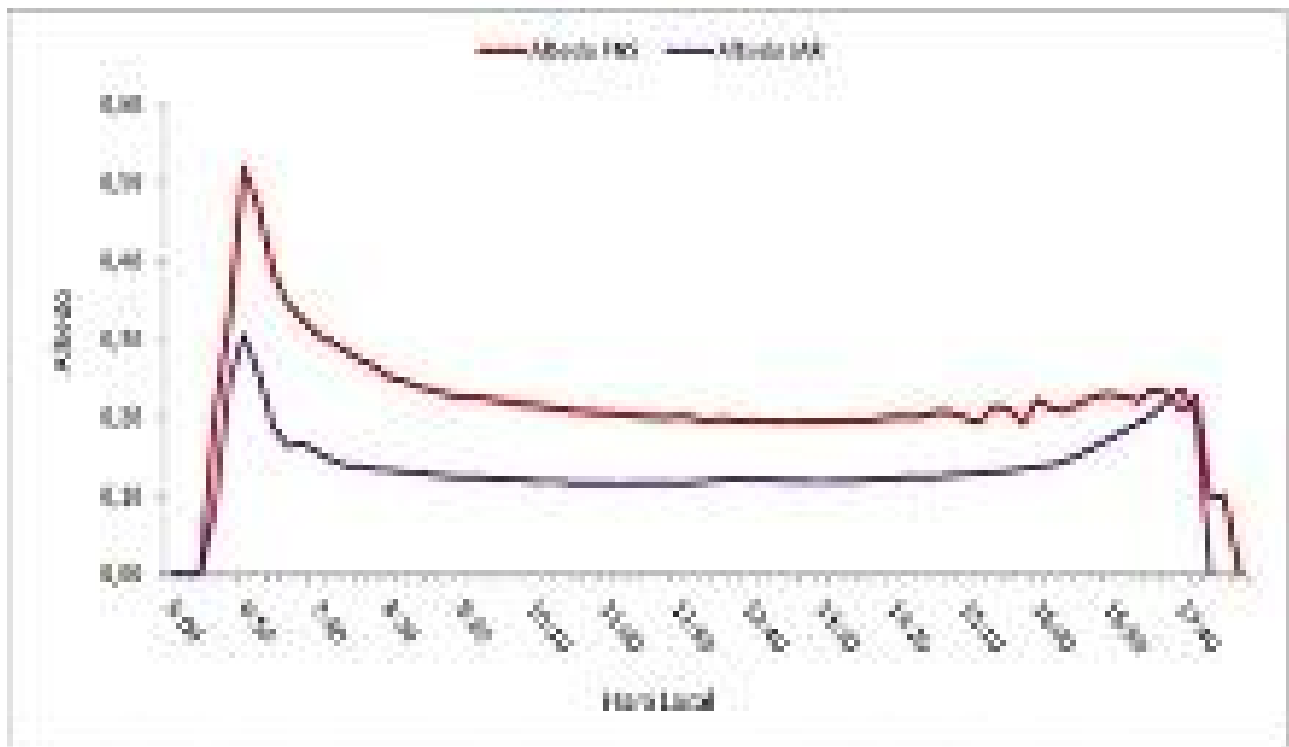


Figura 5.4. Variação do albedo para o dia 05-07-2008 nas localidades INS e JAR.

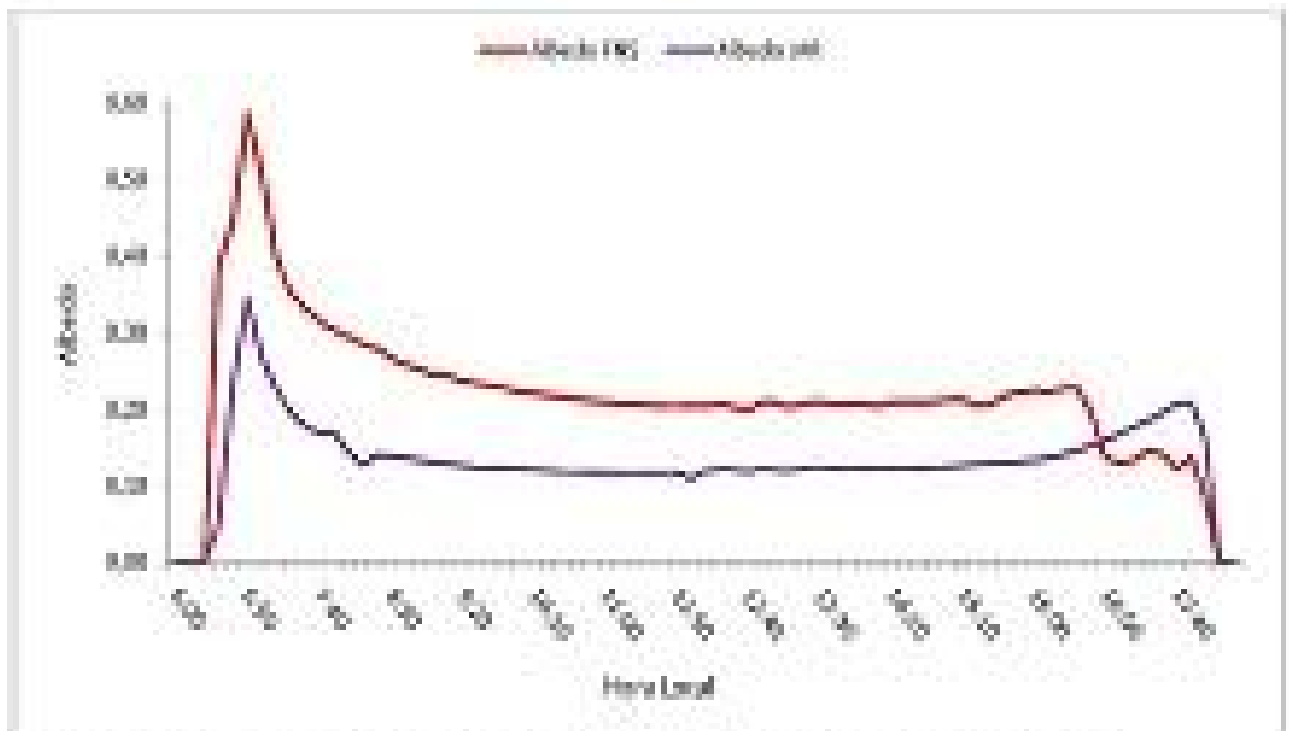


Figura 5.5. Variação do albedo para o dia 21-07-2008 nas localidades INS e JAR.

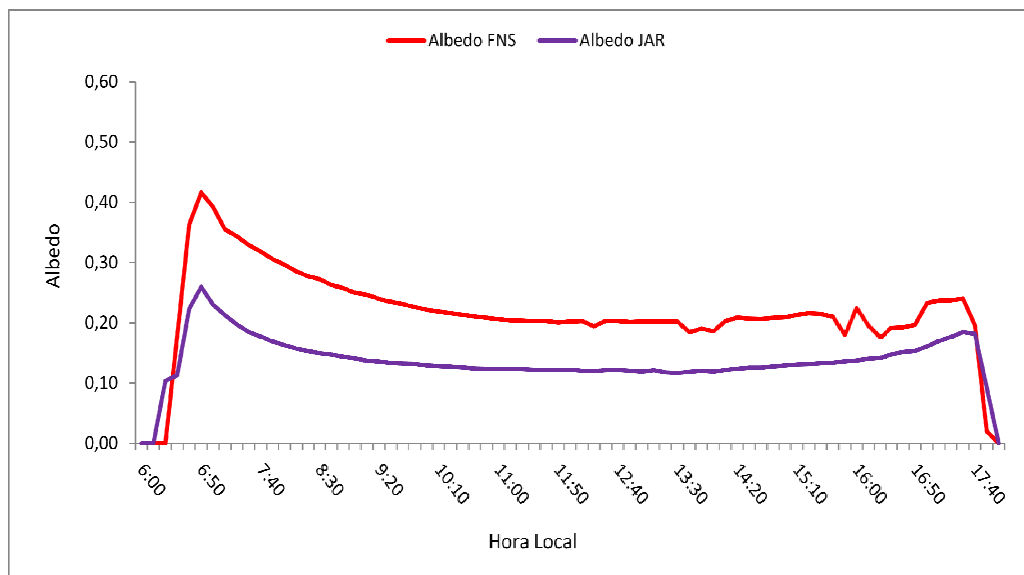


Figura 5.6. Variação do albedo para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

5.1.3 Radiação de onda curta incidente

As Figuras 5.7 a 5.9 mostram o comportamento da radiação de onda curta incidente na FNS e na JAR. Pode-se observar que ao longo do dia houve variabilidade da radiação de onda curta incidente em alguns horários tanto na JAR quanto na FNS, isto devido à presença de nuvens, pois, sob condições de céu nublado, existe o efeito das nuvens, que são agentes bastante importantes, já que reduzem freqüentemente o fluxo incidente devido à absorção e espalhamento. Em média os valores máximos foram de 930 Wm^{-2} para a FNS e 922 Wm^{-2} para a JAR.

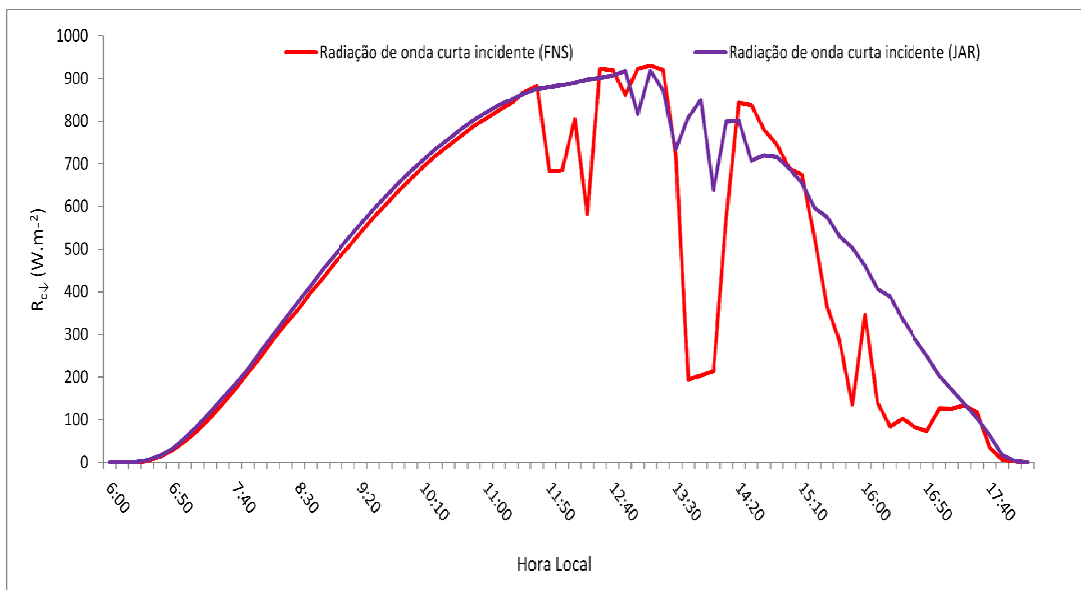


Figura 5.9. Variação de radiação de onda curta incidente para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

Chama à atenção a maior variabilidade da radiação solar incidente sobre a pastagem do que sobre a floresta, especialmente no período da tarde. Este comportamento é provocado pelo gradiente de temperatura entre as duas coberturas vegetais, que geram escoamento de ar da floresta (mais frio e mais denso) para a pastagem (mais quente e menos denso) e movimento de ar ascendente sobre a pastagem, que transporta para cima a umidade, tanto da floresta como da pastagem, que condensa e forma nuvens sobre a pastagem. (Cutrim *et al.*, 1995; Durieux *et al.*, 2003; Chagnon *et al.*, 2004).

5.1.4 Radiação de onda curta refletida

As Figuras 5.10 a 5.12 mostram o comportamento da radiação de onda curta refletida na FNS e na JAR. Observa-se que os valores de radiação de onda curta refletida são menores na JAR e maiores na FNS. Sendo que os valores máximos de radiação de onda curta refletida para os dias 05/07/2008, 21/07/2008 e 06/08/2008 foram de 187 Wm^{-2} para a FNS e de 112 Wm^{-2} para a JAR, evidenciando-se que em região de vegetação baixa e maior

percentagem de solo exposto (FNS) há maior refletividade do que em região de floresta (JAR), devido a vegetação ter maior capacidade de absorção de radiação do que regiões de pastagem.

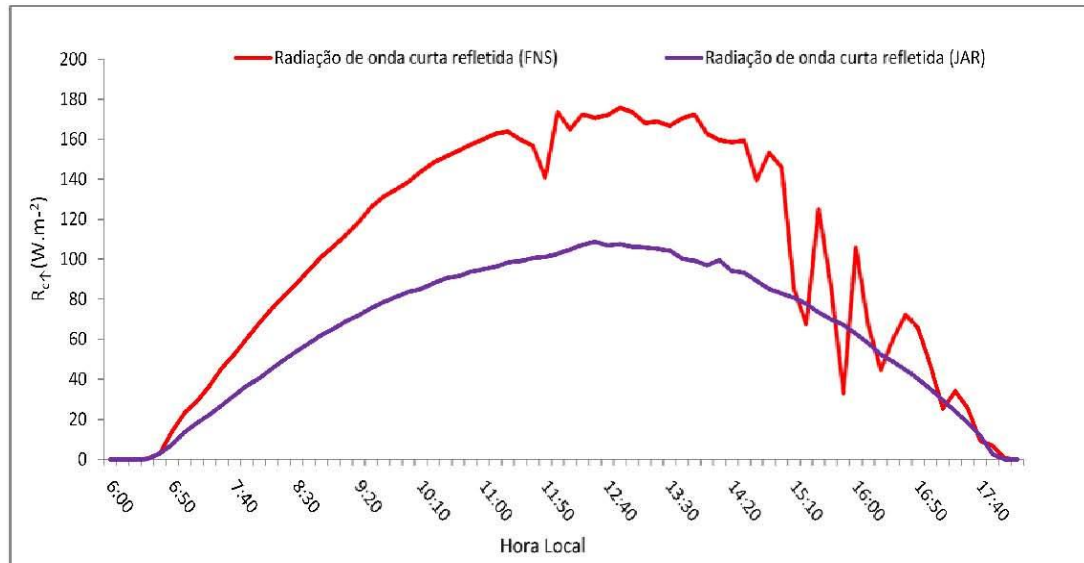


Figura 5.10. Variação de radiação de onda curta refletida para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

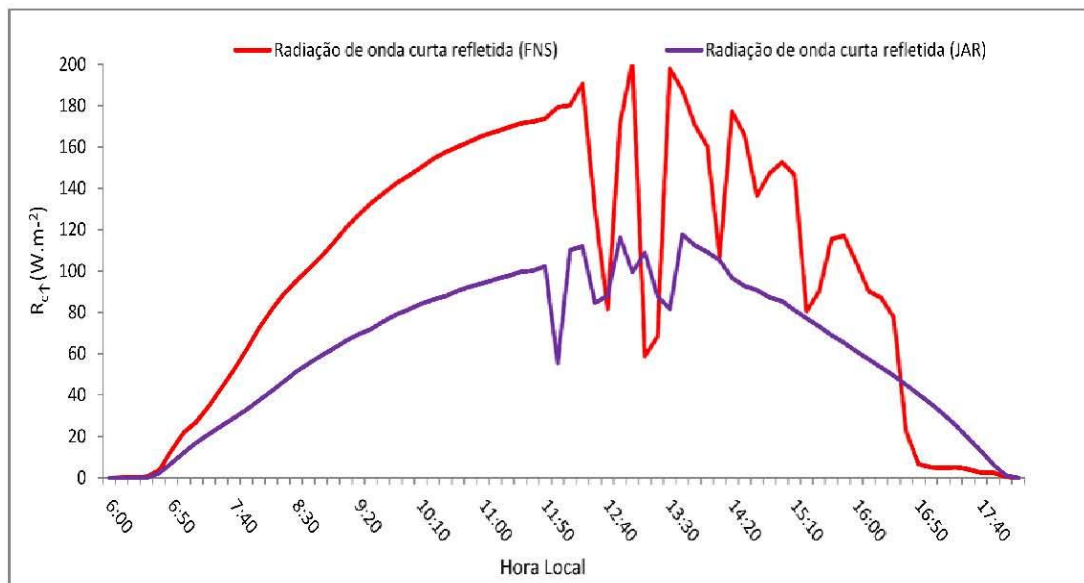


Figura 5.11. Variação de radiação de onda curta refletida para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

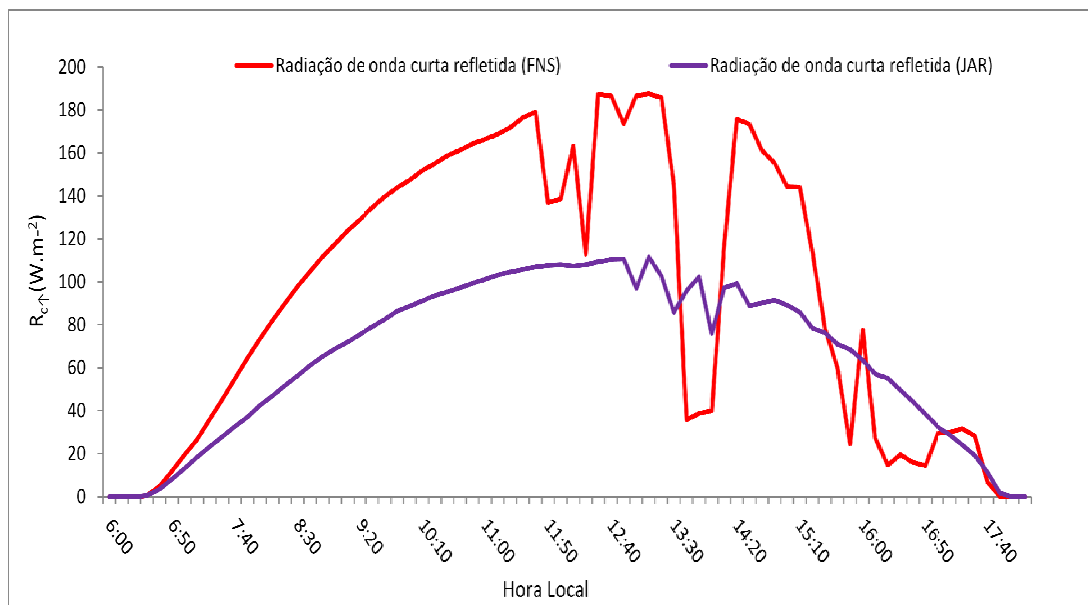


Figura 5.12. Variação de radiação de onda curta refletida para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

5.1.5 Radiação de onda longa incidente à superfície

Analisando as Figuras 5.13 a 5.15 pode-se observar que os valores de radiação de onda longa incidente foram menores durante a noite e maiores durante o dia, esse comportamento deve-se a T_a que é menor durante a noite. A $R_{L\downarrow}$ variou em média de 364 Wm^{-2} a 450 Wm^{-2} na FNS e de 344 Wm^{-2} a 401 Wm^{-2} na JAR.

O comportamento da radiação de onda longa incidente observado mostra que os valores de $R_{L\downarrow}$ na FNS no geral foram maiores que na JAR, isto ocorreu devido a temperatura do ar que se apresentou maior na pastagem (FNS) e menor na floresta (JAR) durante o dia. À noite, embora a temperatura do ar à superfície seja inferior na pastagem do que na floresta, a temperatura média da baixa troposfera é maior acima da pastagem (Galvão & Fisch, 2000).

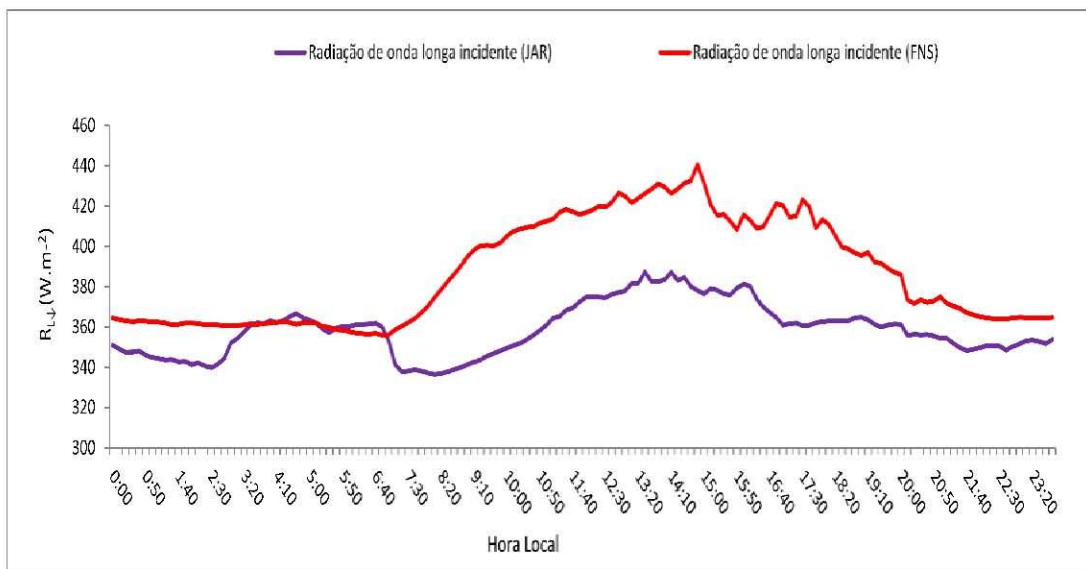


Figura 5.13. Variação de radiação de onda longa incidente à superfície para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

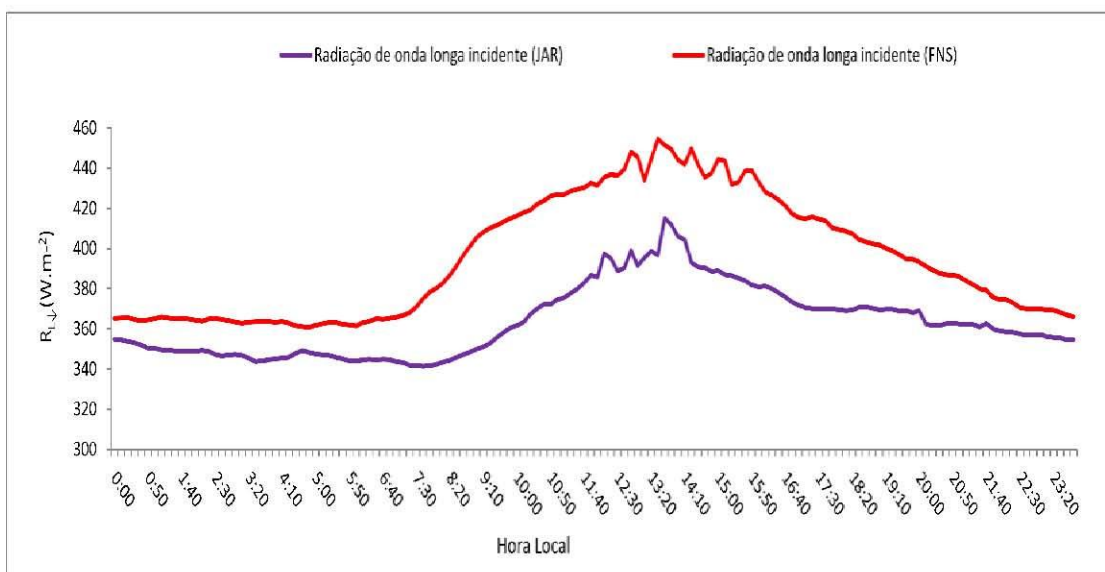


Figura 5.14. Variação de radiação de onda longa incidente à superfície para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

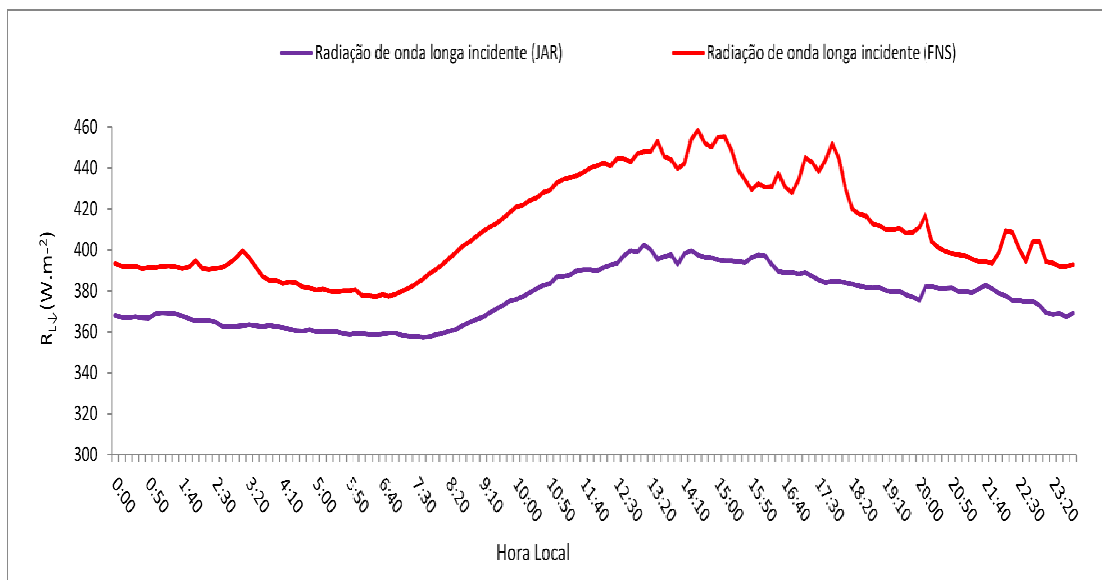


Figura 5.15. Variação de radiação de onda longa incidente à superfície para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

5.1.6 Radiação de onda longa emitida pela superfície

As Figuras 5.16 a 5.18 mostram o comportamento da radiação de onda longa emitida pela superfície na FNS e na JAR.

Observam-se maiores valores de radiação de onda longa emitida pela superfície na FNS e menores valores na JAR durante o dia, sendo que é observado o comportamento inverso durante a noite. Esses comportamentos de $R_{L\uparrow}$ tanto à noite como durante o dia na pastagem e na floresta devem-se a temperatura da superfície sobre as mesmas. Durante a noite a superfície de pastagem tende a perder calor mais rápido para atmosfera tornando-se mais fria que a superfície de floresta. A $R_{L\uparrow}$ variou em média de 399 Wm^{-2} a 549 Wm^{-2} na FNS e de 413 Wm^{-2} a 494 Wm^{-2} na JAR.

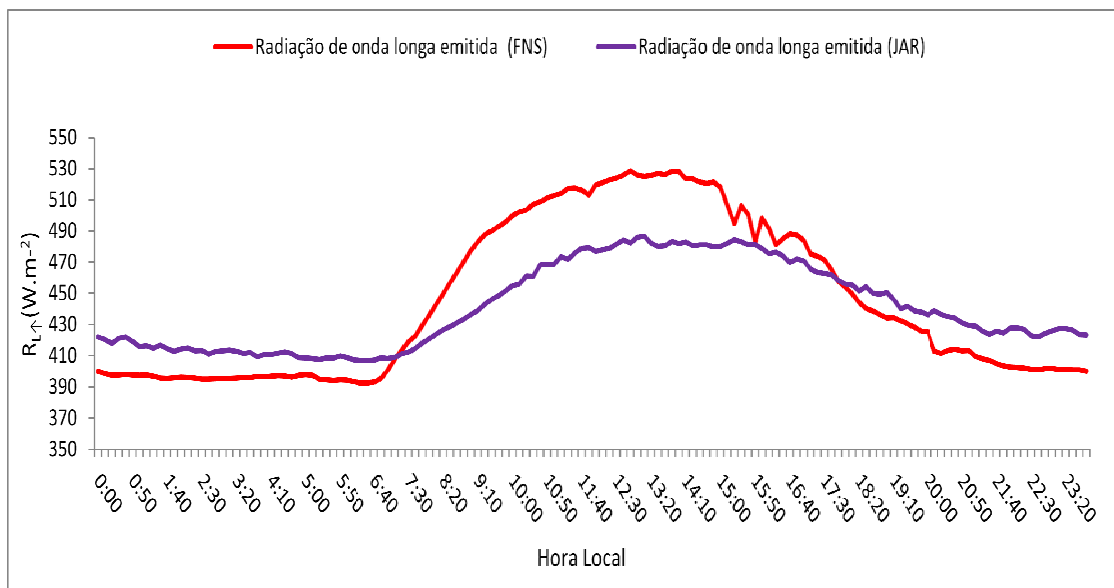


Figura 5.16. Variação de radiação de onda longa emitida pela superfície para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

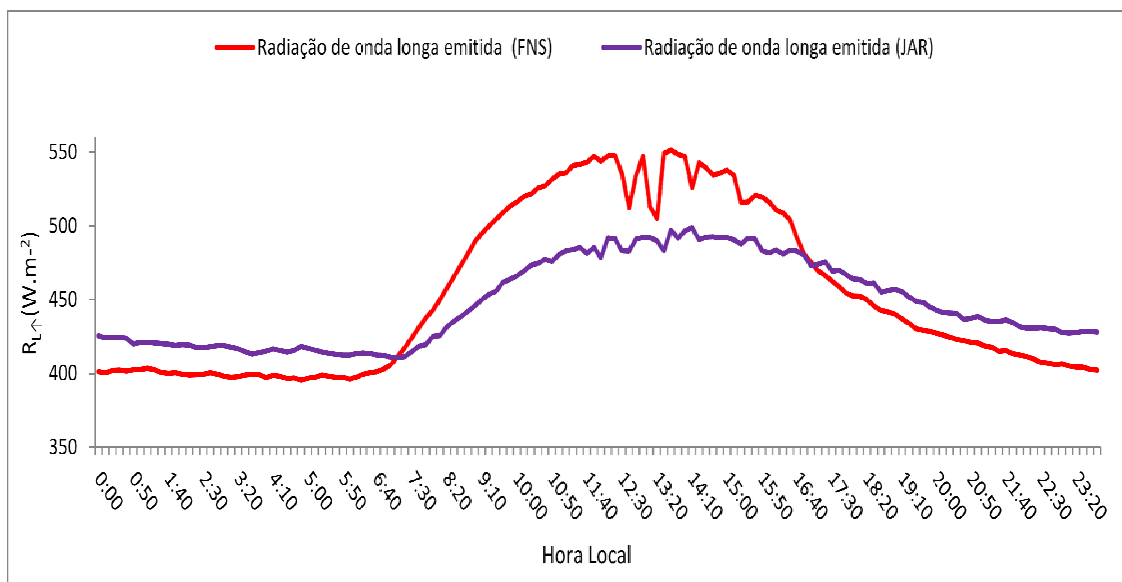


Figura 5.17. Variação de radiação de onda longa emitida pela superfície para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

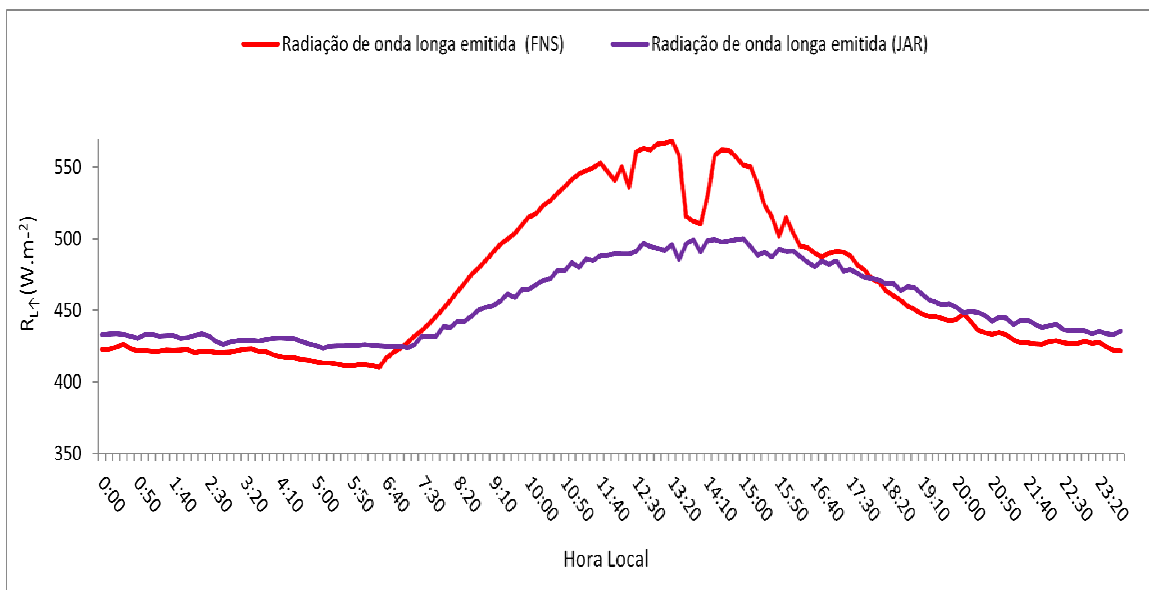


Figura 5.18. Variação de radiação de onda longa emitida pela superfície para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

5.1.7 Balanço de radiação à superfície

As Figuras 5.19 a 5.21 mostram o balanço de radiação à superfície na FNS e na JAR.

Pode-se observar que o saldo de radiação é positivo no período diurno, isso porque o balanço de radiação de ondas curtas predomina sobre o balanço de ondas longas. Já durante a noite tem-se apenas o balanço de ondas longas, tornando o saldo de radiação negativo, já que a superfície perde mais energia na forma de ondas longas do que recebe da atmosfera.

Observam-se valores menores do balanço de radiação em região de pastagem e valores maiores em região de floresta durante o dia. Este comportamento deve-se ao albedo, já que durante o período diurno, o saldo de radiação (R_n) é dominado pelas trocas radiativas de ondas curtas (incidente e refletida). Mas há também uma contribuição do balanço de

radiação de ondas longas, com a pastagem perdendo mais radiação de onda longa que a floresta.

Os valores máximos do saldo de radiação no dia 05/07/2008 foram de 616 Wm^{-2} na FNS e de 686 Wm^{-2} na JAR; no dia 21/07/2008 foram de 663 Wm^{-2} na FNS e 775 Wm^{-2} na JAR; e no dia 06/08/2008 foram de 623 Wm^{-2} na FNS e de 716 Wm^{-2} na JAR.

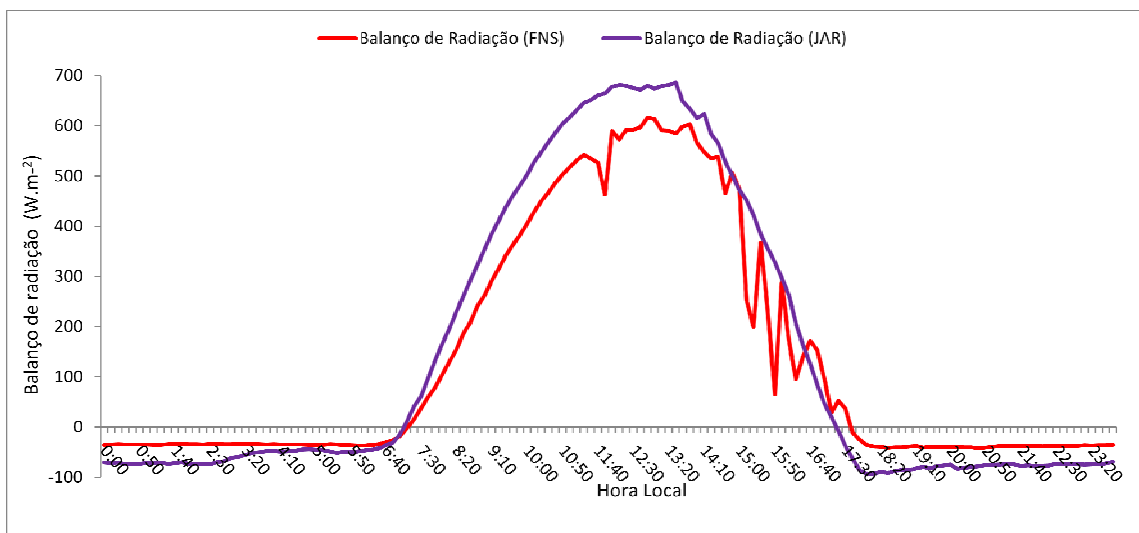


Figura 5.19. Variação do balanço de radiação à superfície para o dia 05/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

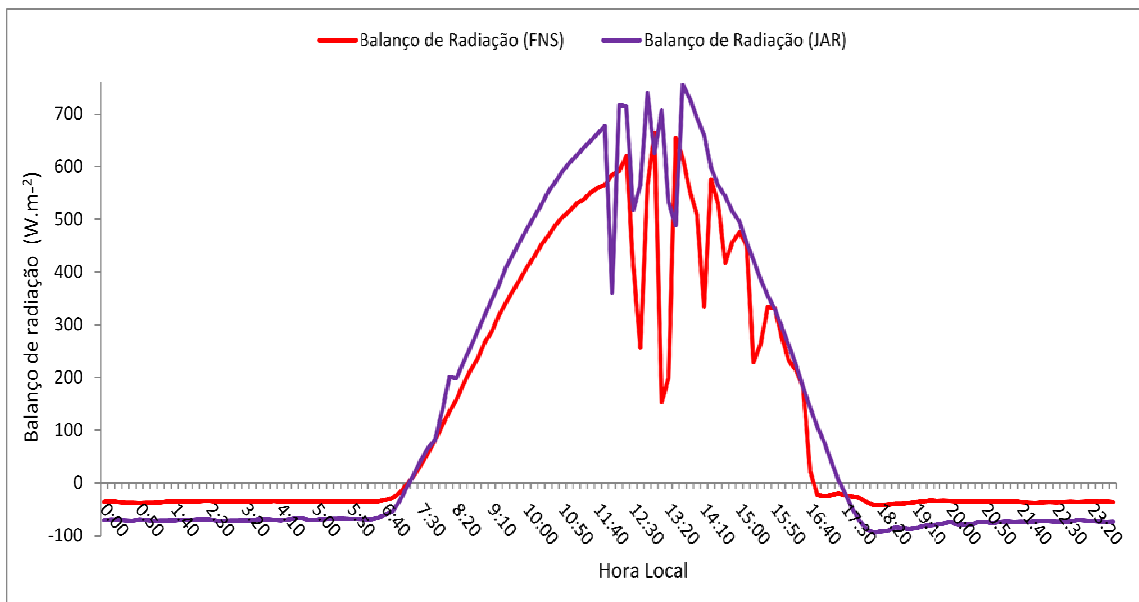


Figura 5.20. Variação do balanço de radiação à superfície para o dia 21/07/2008 nas localidades FNS e JAR.

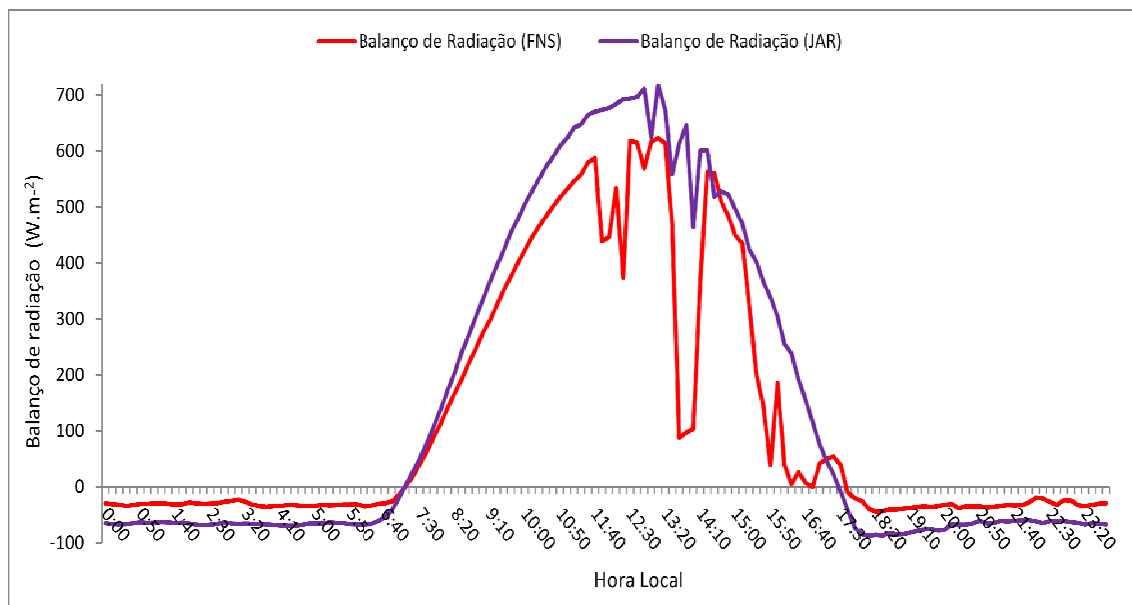


Figura 5.21. Variação do balanço de radiação à superfície para o dia 06/08/2008 nas localidades FNS e JAR.

5.2 ANÁLISES DOS DADOS ESTIMADOS A PARTIR DE IMAGEM ORBITAL TM/LANDSAT 5

Neste capítulo analisa-se as componentes do saldo de radiação à superfície obtidas através da aplicação do algoritmo SEBAL por meio de imagem de satélite TM/Landsat 5. Nesse sentido, os resultados são apresentados com a seguinte estrutura: primeiramente são apresentadas as estimativas na forma de imagens coloridas, com os valores divididos em classes para melhor análise visual e espacial dos dados, evidenciando os valores máximos e mínimos, e valores típicos para região de floresta e pastagem; também são apresentados gráficos e tabelas que mostram a comparação entre as estimativas e os dados medidos (“verdade terrestre”), para o pixel onde está localizado as torres, evidenciando os erros relativos; paralelamente são analisadas as parametrizações utilizadas na estimativa de cada componente, de maneira que fosse possível avaliar a aplicabilidade do algoritmo SEBAL para a região estudada.

Como citado no início do capítulo, os resultados para região de Rondônia, Fazenda Nossa Senhora e Reserva Biológica do Jarú, referem-se aos anos 2007, 2008 e 2009; para a Reserva Biológica de Cuieiras (ZF2-Km34) e a Estação Meteorológica Automática da EST/UEA, as estimativas correspondem a alguns dias referente aos anos de 2006 a 2010. Os dias foram selecionados de acordo com os critérios descritos capítulo 4.

Os itens a seguir são referentes a cada etapa do processamento do algoritmo SEBAL para obtenção do saldo de radiação à superfície.

5.2.1 Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)

A Figura 5.22a apresenta a variação do IVDN em 5 de julho de 2008, na qual observa-se que na floresta (JAR) o índice variou em média de 0,50 a 1,0 e na pastagem (FNS) a variação foi em média de 0,27 a 0,50. No dia 21/07/2008 (Figura 5.22b) o IVDN variou de 0,49 a 1,0 na floresta e 0,29 a 0,49 na pastagem. Já no dia 06/08/2008 (Figura 5.22c) o IVDN variou de 0,57 a 1,0 na floresta e de 0,39 a 0,57 na pastagem.

Observa-se que não houve diferenças significativas nos valores de IVDN para os dias analisados; isto porque as imagens analisadas compreendem a mesma época de sazonalidade na região, concordando com estudos realizados por Santos e Shimabukuro (1993).

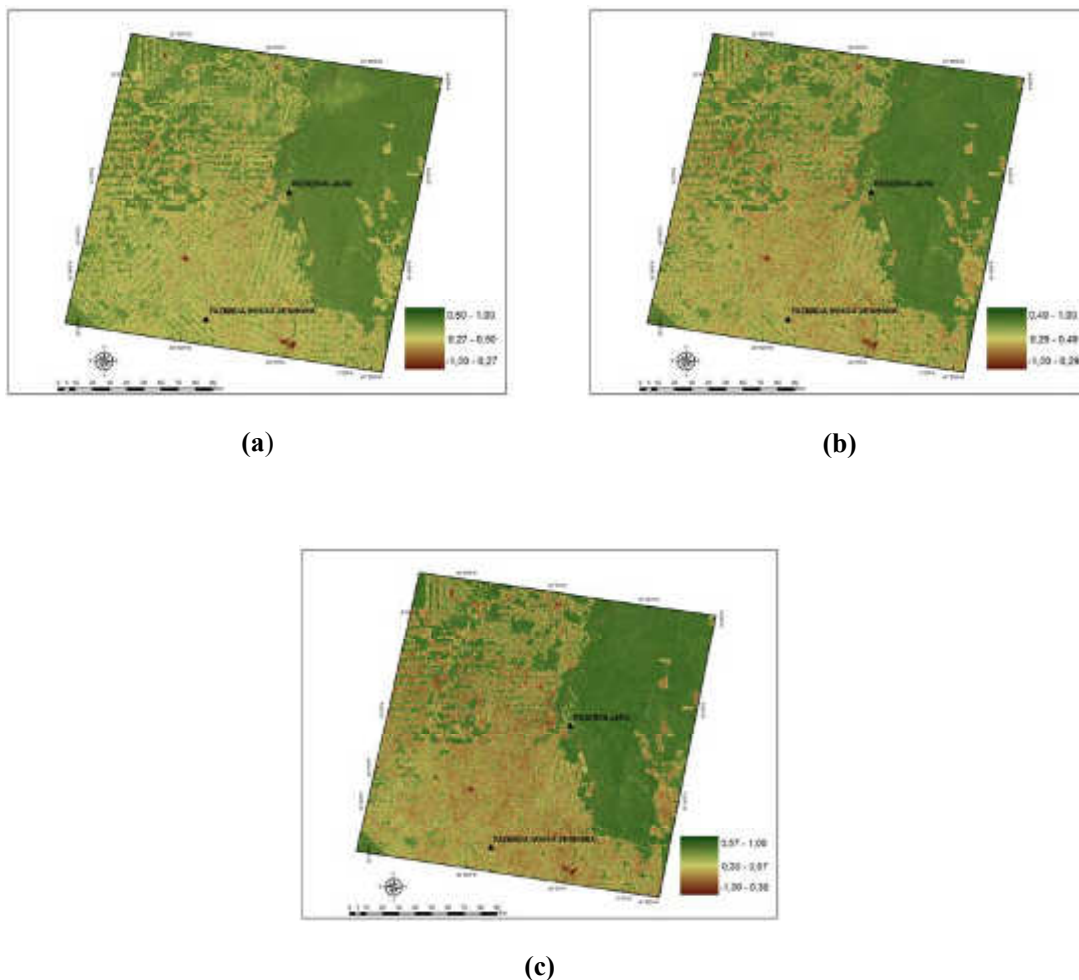


Figura 5.22. Estimativa do IVDN utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

Aplicando o algoritmo SEBAL para os anos de 2007 e 2009 (Figura 5.23a e 5.23b), observa-se que os valores obtidos de IVDN para o dia 04/08/2007 foram de 0,47 a 1,00 para a floresta e 0,30 a 0,47 para a pastagem; e para o dia 09/08/2009 os valores de IVDN para floresta variaram entre 0,60 a 1,0 e para a pastagem de 0,41 a 0,60. Se comparados aos valores obtidos no ano de 2008, não se observa muita diferença, pois todos correspondem a estação seca na região.

Assim, áreas com baixa cobertura vegetal e com menos umidade devido a estação seca como, por exemplo em região de pastagem (FNS) apresentaram valores baixos, isso devido ao estresse hídrico. Já áreas de floresta (JAR) apresentaram valores elevados devido à maior quantidade de umidade e biomassa vegetal. Estes resultados concordam com a literatura, a qual consta que o IVDN tem a propriedade de variar entre -1 a $+1$, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal; 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, isto é, representa superfícies não vegetadas, e valores abaixo de 0 representam água e nuvens (Epiphanyo *et al.*, 1996).

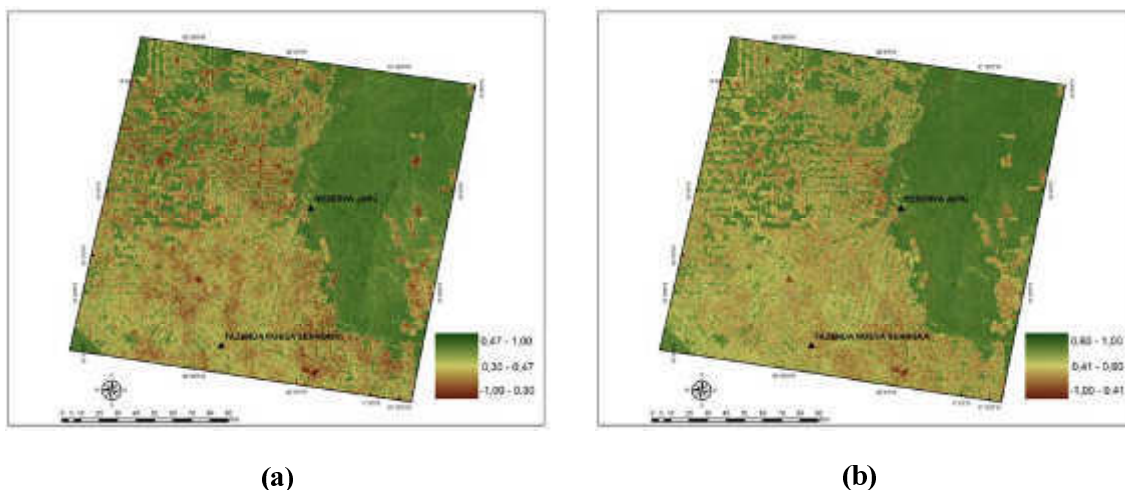


Figura 5.23. Estimativa do IVDN utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

Para obter a estimativa do IVDN por meio do algoritmo SEBAL utilizou-se a Equação 11, apresentada no capítulo 4. Observa-se que esta parametrização depende apenas das informações obtidas nas bandas 4 e 3 do sensor TM/Landsat 5; diante disto eventuais erros podem está associados a presença de nuvens finas, não perceptível em cores reais da imagens, ou a presença de nuvens de fumaça ou particulados que influencie no sinal recebido pelo satélite. Normalmente para uma melhor precisão na estimativa do IVDN são realizadas estimativas diárias, para pixels completamente livres de nuvens, ao final do mês é feita uma estimativa do IVDN médio mensal, desta forma minimiza os possíveis erros devido à presença de nebulosidade.

Para o referido estudo, a estimativa do IVDN serviu apenas como indicativo da vegetação da superfície, não sendo utilizado para o cálculo do balanço de radiação à superfície por meio do algoritmo SEBAL; para este cômputo o SEBAL utiliza o índice IVAS (Índice de Vegetação Ajustado do Solo), este índice depende de informações nas bandas 3 e 4, além de utilizar um fator de ajuste ao solo, podendo interferir nas estimativas do IAF e temperatura da superfície, como será mostrado no item 5.2.2.

5.2.2 Temperatura da superfície (T_s)

As Figuras 5.24a a 5.24c apresentam a variação da temperatura em região de floresta (JAR) e em região de pastagem (FNS). Pode-se observar que no dia 05/07/2008 a temperatura da superfície (T_s) variou em média de 24°C a 27°C na FNS e de 21°C a 24°C na JAR (Figura 5.24a). No dia 21/07/2008 a T_s variou de 23°C a 26°C na FNS e de 20°C a 23°C na JAR (Figura 5.24b), já no dia 06/08/2008 a T_s teve variação de 24°C a 27°C na FNS e de 21°C a 24°C na JAR (Figura 5.24c).

É possível observar que regiões de floresta apresentaram valores menores de temperaturas do que regiões de pastagem; isso porque a floresta tem maior capacidade de transpiração do que a pastagem. A floresta utiliza mais energia nesse processo, que envolve a mudança de fase da água de líquida para a gasosa, sobrando menos energia para aquecimento da superfície e, em consequência, do ar logo acima.

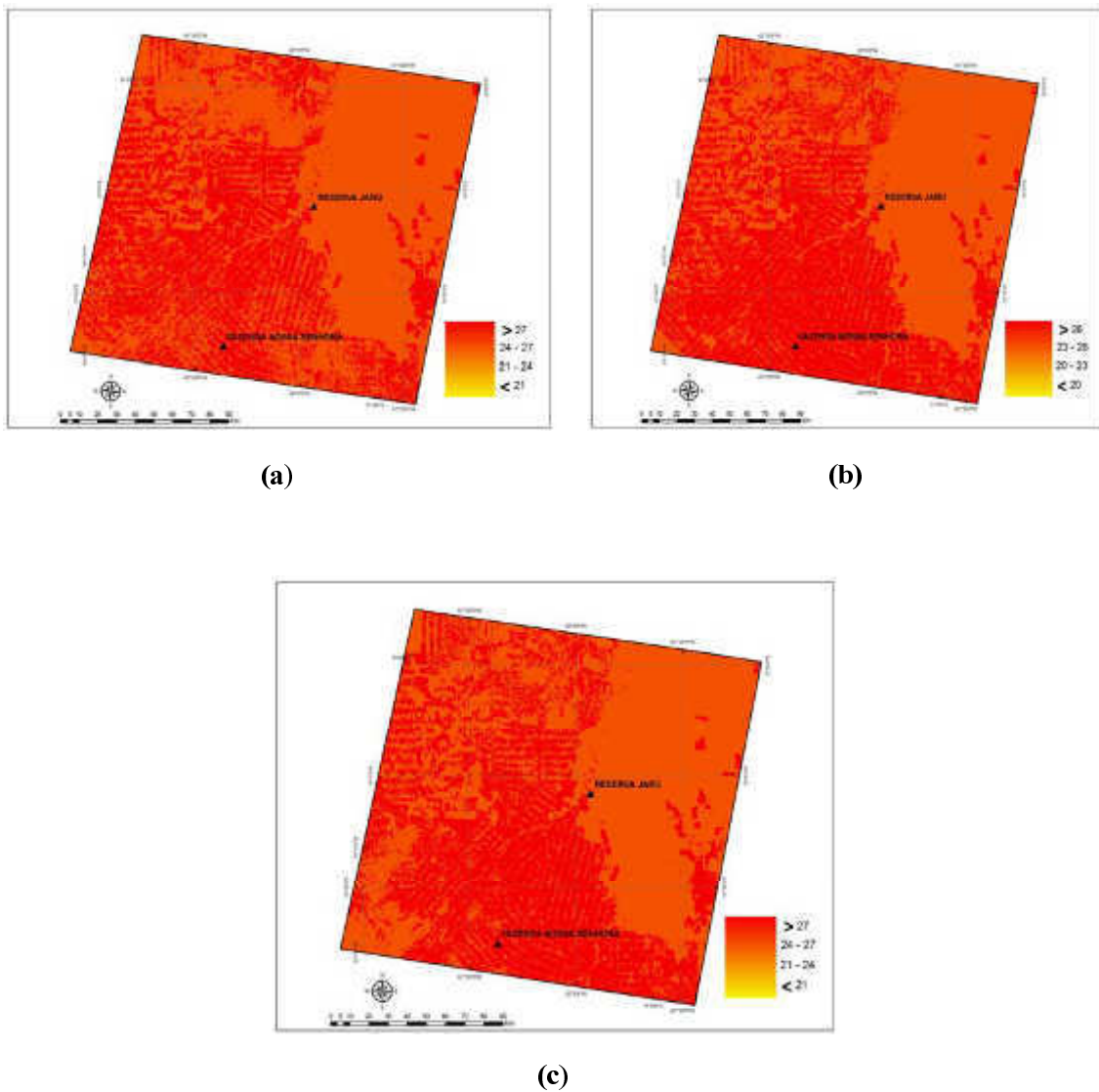


Figura 5.24. Estimativa da T_s (°C) utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

Utilizando imagens do ano de 2007 e 2009 obtiveram-se temperaturas de superfície com valores próximos aos do ano de 2008. Foram encontrados tanto para o dia 04/07/2007 quanto para o dia 09/08/2009 valores que variaram de 24°C a 27°C na JAR e de 27°C a 30°C na FNS (Figura 5.25a e 5.25b).

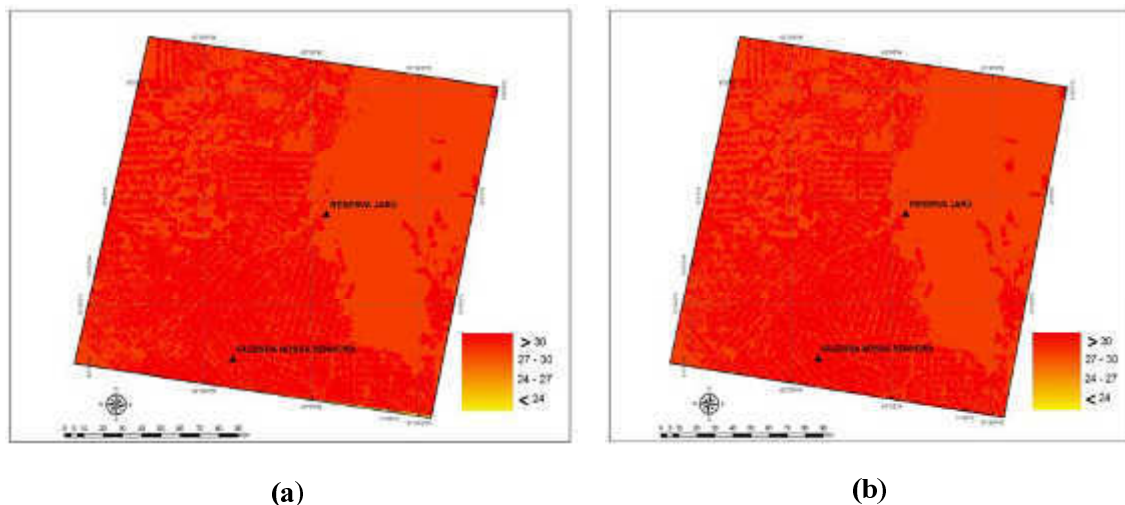


Figura 5.25. Estimativa da T_s (°C) utilizando imagens TM/ Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

Para a obtenção da temperatura de superfície pelo SEBAL utilizou-se a Equação 14, apresentada no capítulo 4, observa-se que a T_s depende das parametrizações da emissividade termal (ϵ_{NB}) e da radiância termal da superfície (R_c), esta última, calculada pela Equação (15), descrita no capítulo 4; contudo neste estudo utilizou-se as parametrizações propostas por Allen *et al.* (2002), sendo assim, R_c torna-se igual a $L_{\lambda,6}$ (radiância espectral da banda 6), calculada de acordo com a Equação 2, descrita no mesmo capítulo. Diante do exposto, tem-se que a parametrização para o cálculo da temperatura da superfície depende apenas da emissividade termal, que por sua vez é determinada em função do IAF.

As Tabelas 5.1 a 5.4 mostram as estimativas obtidas a partir do algoritmo SEBAL para os parâmetros de transmissividade atmosférica (τ_{sw}), emissividade radiativa (ϵ_o), emissividade termal (ϵ_{NB}) e IAF. Observa-se que os valores de IAF, estão muito inferior aos

valores encontrados por Filho *et al.*, (2005) para a região de floresta; entretanto esta subestimativa praticamente não influenciou nos cálculos dos parâmetros da emissividade termal e emissividade radiativa, devido a parametrização utilizada nas Equações 9 e 10, resultando em valores constantes para todas as áreas de estudo.

Tabela 5.1 - Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para FNS.

DATA	TRANSMISSIVIDADE	EMISSIVIDADE RADIATIVA (ϵ_0)	EMISSIVIDADE TERMAL (ϵ_{NB})	IAF
05/07/2008	0,75	0,95	0,97	0,42
21/07/2008	0,75	0,95	0,97	0,29
06/08/2008	0,75	0,95	0,97	0,23
04/08/2007	0,75	0,95	0,97	0,28
09/08/2009	0,75	0,95	0,97	0,43

Tabela 5.2 - Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para JAR.

DATA	TRANSMISSIVIDADE	EMISSIVIDADE RADIATIVA (ϵ_0)	EMISSIVIDADE TERMAL (ϵ_{NB})	IAF
05/07/2008	0,75	0,95	0,97	0,66
21/07/2008	0,75	0,95	0,97	0,52
06/08/2008	0,75	0,95	0,97	0,67
04/08/2007	0,75	0,95	0,97	0,42
09/08/2009	0,75	0,95	0,97	0,76

Tabela 5.3 - Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para ZF2-km34.

DATA	TRANSMISSIVIDADE	EMISSIVIDADE RADIATIVA (ϵ_0)	EMISSIVIDADE TERMAL (ϵ_{NB})	IAF
02/09/2006	0,75	0,96	0,97	0,81
04/07/2007	0,75	0,96	0,97	0,68
06/08/2008	0,75	0,96	0,97	0,80
10/09/2009	0,75	0,96	0,97	0,83
27/07/2010	0,75	0,96	0,97	0,65

Tabela 5.4 - Estimativas da Transmissividade, Emissividade Radiativa, Emissividade Termal e IAF para EST/UEA.

DATA	TRANSMISSIVIDADE	EMISSIVIDADE RADIATIVA (ϵ_0)	EMISSIVIDADE TERMAL (ϵ_{NB})	IAF
02/09/2006	0,75	0,95	0,97	0,01

04/07/2007	0,75	0,95	0,97	0,02
06/08/2008	0,75	0,95	0,97	0,02
10/09/2009	0,75	0,95	0,97	0,03
27/07/2010	0,75	0,95	0,97	0,02

5.2.3. Albedo (α)

A Figura 5.26a mostra a estimativa do albedo na FNS e na JAR para o dia 05/07/2008, observa-se que o valor do mesmo variou de 0,12 a 0,17 na floresta e de 0,17 a 0,22 na pastagem. Comparando-se as variações de albedo para os dias analisados no ano de 2008 pode-se verificar que praticamente não houve diferenças. No dia 21/07/2008 (Figura 5.26b) o albedo variou de 0,11 a 0,16 na floresta e de 0,16 a 0,21 na pastagem. No dia 06/08/2008 (Figura 5.26c) a variação do albedo foi de 0,13 a 0,18 na floresta e de 0,18 a 0,23 na pastagem. Os valores encontrados estão dentro da faixa esperada, uma vez que, sabe-se que em áreas com solo exposto ocorre maior reflexão da radiação incidente do que em solos cobertos por vegetação e sobre superfícies de água, este resultado concorda com estudos realizados por Braga (2009).

A Figura 5.27 mostra a comparação entre o albedo medido e a estimativa a partir do algoritmo SEBAL, para FNS e JAR, observou-se uma subestimativa do albedo em relação ao valor medido. Na tentativa de minimizar o erro ao compararmos a estimativa do pixel com o valor medido na estação micrometeorológica, utilizou-se o critério descrito na metodologia, item 4.3.3, que consiste em realizar uma média dos pixels em torno do pixel onde localiza-se a torre de medição (Tabela 5.5). Vale enfatizar que este critério foi utilizado para todas as componentes do saldo de radiação descritos nesta discussão. Desta forma, analisando a Tabela 5.5 observa-se que os pixels vizinhos apresentam mesmo valor de estimativa, apresentando erros em relação aos dados medidos em média de -19% para a FNS e de -9% para a JAR.

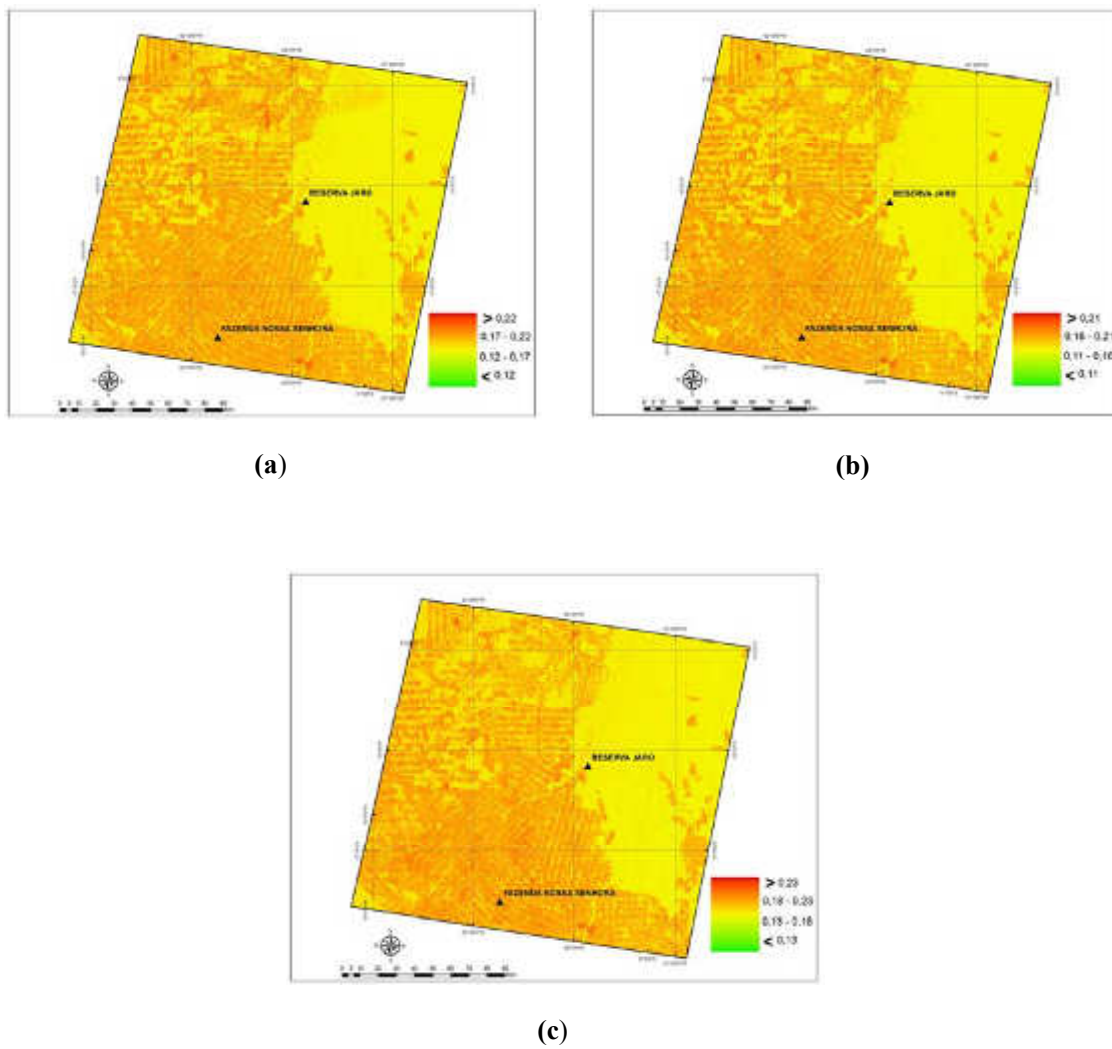


Figura 5.26. Estimativa do albedo da superfície utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

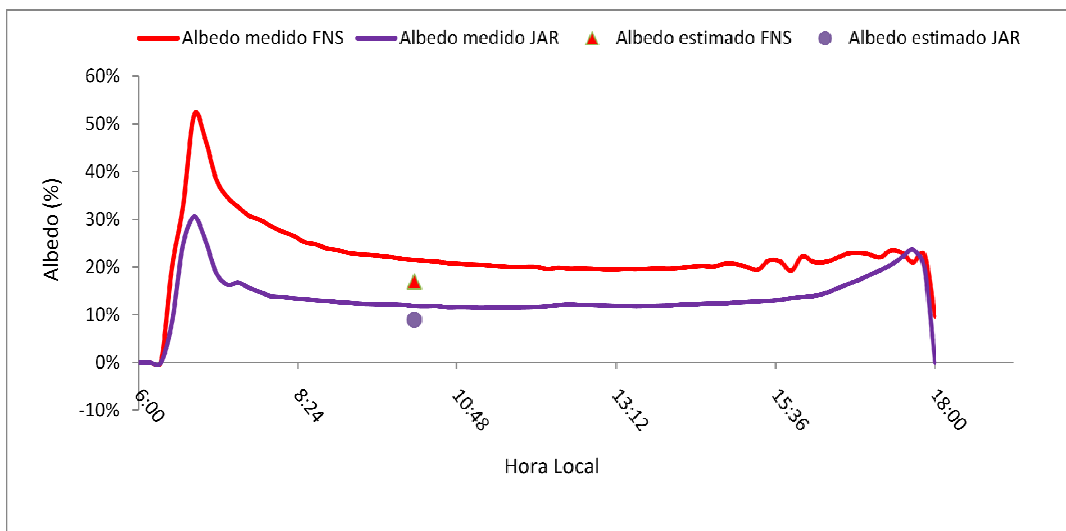


Figura 5.27. Comparação entre dado medido e estimado do albedo de superfície (α) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.5 - Comparação entre os valores medidos e estimados do α para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

ALBEDO				
DADO MEDIDO (FNS)	0,21			
DADO MEDIDO (JAR)	0,11			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXEL	0,17	-19 %	0,10	-9 %
5 PIXELS	0,17	-19 %	0,10	-9 %
9 PIXELS	0,17	-19 %	0,10	-9%
25 PIXELS	0,17	-19 %	0,10	-9 %

Aplicando o algoritmo para os anos de 2007 e 2009 observa-se que não houve muita diferença em relação às imagens de 2008. Os valores de albedo variaram de 0,16 a 0,21 na FNS e de 0,11 a 0,16 na JAR no dia 04/08/2007 (Figura 5.28a), e de 0,17 a 0,22 na FNS e de 0,12 a 0,17 na JAR no dia 09/08/2009 (Figura 5.28b).

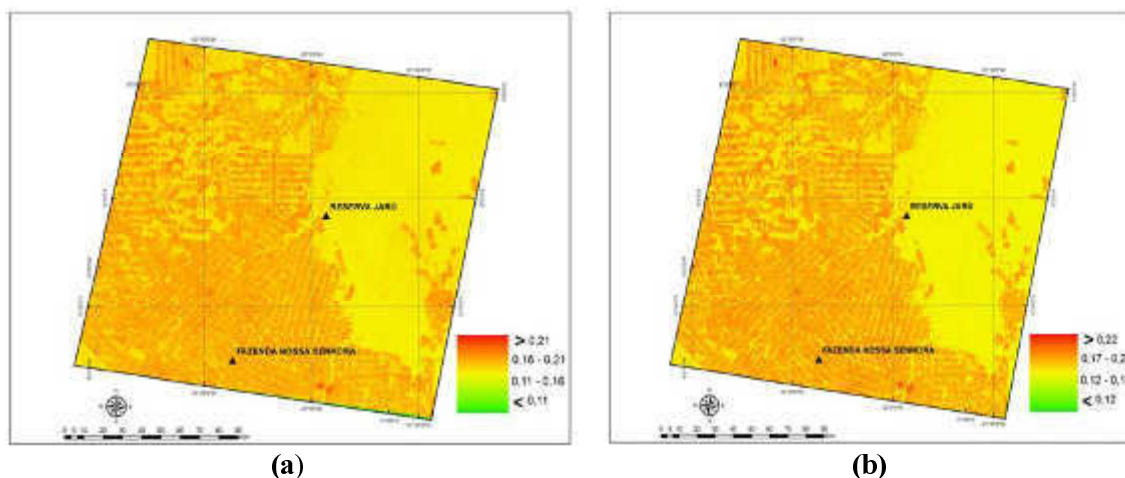


Figura 5.28. Estimativa do albedo da superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

De acordo com a parametrização utilizada para estimar o albedo da superfície (Equação 5, mostrada no capítulo 4) pode-se sugerir que a transmissividade atmosférica pode interferir mais significativa na parametrização, visto que o albedo planetário (α_{toa}) depende da refletividade de cada banda; e a radiação refletida pela atmosfera (α_p) normalmente é utilizado pela comunidade científica com um valor constante de 30%.

Para o cálculo da transmissividade atmosférica utilizou-se o Modelo Digital de Elevação, ou seja, uma parametrização que depende da altitude da região estudada; porém as áreas estudadas apresentam uma baixa variação de altitude, como pode ser observada na Figura 4.4, no capítulo 4, indicando assim, que o uso deste modelo não tem influência significativa no valor final da transmissividade atmosférica, e sim a equação parametrizada, na qual utiliza uma constante de 0,75 em sua formulação, valor este superior ao encontrado na literatura (Moura *et al.*, 1998).

As Tabelas 5.6 a 5.9 apresentam as comparações entre os valores de albedo estimados a partir do algoritmo SEBAL e os valores medidos em superfície, para as áreas de estudo. Observam-se erros maiores na região da FNS, em média -18%, e valores menores, em média 8%, para áreas de floresta (JAR e ZF2-Km34). Uma das hipóteses para áreas de

pastagem apresentarem erros maiores quando comparados a áreas de floresta pode ser a parametrização da transmissividade atmosférica, pois de acordo com a literatura espera-se valores de transmissividade atmosférica menor na pastagem, como utilizou-se o mesmo valor para FNS e JAR, isto sugere que erros maiores serão encontrados na pastagem.

É importante comentar dois valores encontrados nos resultados: o primeiro refere-se ao erro encontrado para JAR no dia 21/07/2008 pode ser comparado aos erros encontrados para área de pastagem, porém, é necessário uma análise mais detalhada sobre este resultado; o outro é o erro de 0% para a estação meteorológica automática da EST/UEA, este valor é um indicativo, que o algoritmo pode ser utilizado em áreas urbanas, porém não podem ser conclusivos devido ter sido utilizado apenas uma imagem, será necessário em trabalhos futuros analisar outros períodos.

Tabela 5.6 - Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a FNS.

DATA	ALBEDO (α) ESTIMADO	ALBEDO (α) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	0,17	0,21	- 19
21/07/2008	0,18	0,22	-18
06/08/2008	0,22	0,22	0
04/08/2007	0,19	SEM DADOS	SEM DADOS
09/08/2009	0,18	SEM DADOS	SEM DADOS

Tabela 5.7 - Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a JAR.

DATA	ALBEDO (α) ESTIMADO	ALBEDO (α) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	0,10	0,11	- 9
21/07/2008	0,10	0,12	- 17
06/08/2008	0,12	0,13	- 8
04/08/2007	0,12	SEM DADOS	SEM DADOS
09/08/2009	0,11	SEM DADOS	SEM DADOS

Tabela 5.8 - Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a ZF2-Km34.

DATA	ALBEDO (α) ESTIMADO	ALBEDO (α) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	0,12	0,12	0

04/07/2007	0,11	0,12	8
06/08/2008	0,11	0,12	8
10/09/2009	0,12	0,13	8
27/07/2010	0,11	SEM DADOS	-

Tabela 5.9 - Comparação entre os valores medidos e estimados do albedo de superfície para a UEA/EST.

DATA	ALBEDO (α) ESTIMADO	ALBEDO (α) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	0,19	SEM DADOS	-
04/07/2007	0,20	SEM DADOS	-
06/08/2008	0,20	SEM DADOS	-
10/09/2009	0,19	SEM DADOS	-
27/07/2010	0,19	0,19	0

Por fim, na ausência de instrumentos à superfície o algoritmo SEBAL pode ser utilizado para estimar o albedo da superfície, visto que apresenta erros próximos aos erros dos aparelhos de medição; entretanto são parametrizações desenvolvidas para uma atmosférica mais seca, mas que podem ser ajustadas posteriormente.

5.2.4 Componentes do balanço de radiação de ondas curtas

Os parâmetros que determinam o balanço de onda curta são: a radiação de onda curta incidente ($R_{c\downarrow}$) obtida pela Equação 19 descrita no capítulo 4; e a radiação de onda curta refletida ($R_{c\uparrow}$) obtida pela Equação 21 abaixo.

$$R_{c\uparrow} = R_{c\downarrow} * \alpha \quad (21)$$

5.2.4.1 Radiação de Onda Curta Incidente ($R_{c\downarrow}$)

A Figura 5.29a apresenta a variação da radiação de onda curta incidente para o dia 05/07/2008; observa-se pouca variação da mesma, sendo o menor valor 708 Wm^{-2} e o maior valor 715 Wm^{-2} . Nota-se um valor praticamente constante em toda a imagem, isto é explicado devido a parametrização utilizada pelo algoritmo SEBAL, e será discutido em seguida. Comparando-se os valores de $R_{c\downarrow}$ para os dias analisados em 2008, pode-se dizer houve pequena diferença entre os mesmos. A variação de onda curta incidente foi de 751 Wm^{-2} a 761 Wm^{-2} para o dia 21/07/2008 (Figura 5.29b) e de 746 Wm^{-2} a 756 Wm^{-2} para o dia 06/08/2008 (Figura 5.29c).

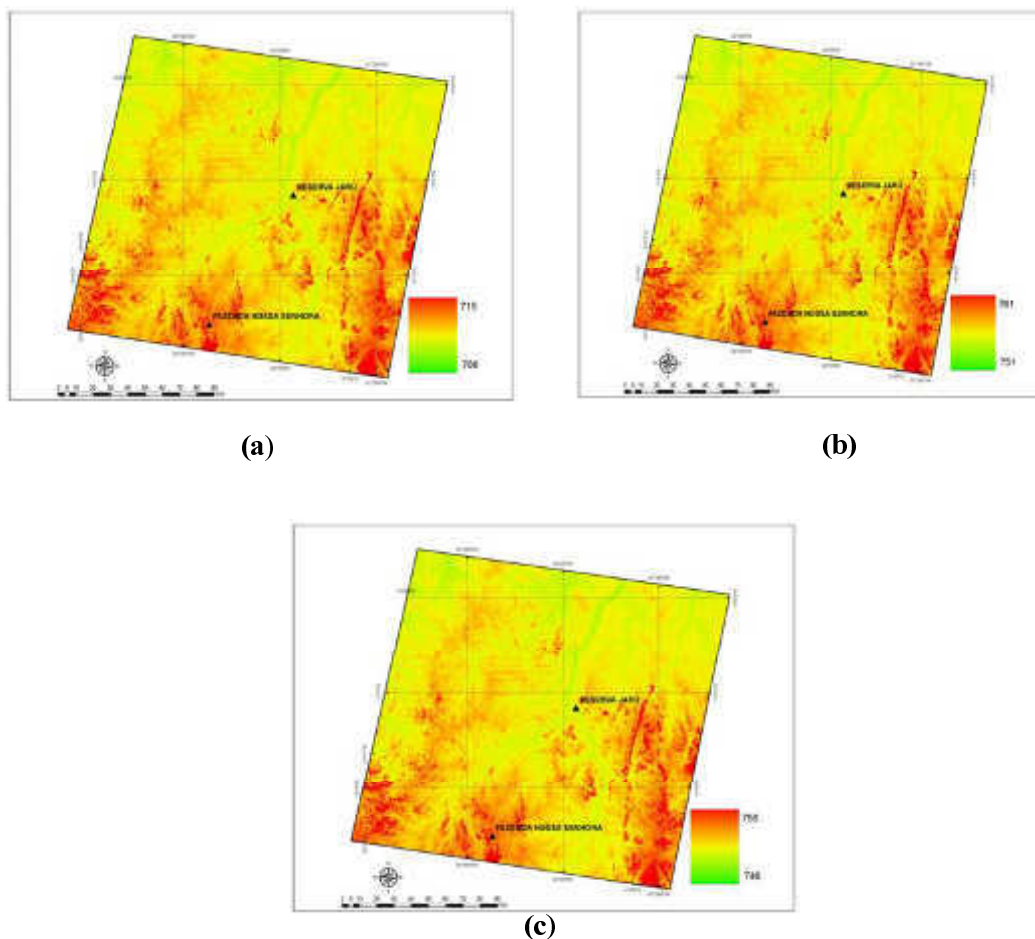


Figura 5.29. Estimativa de radiação de onda curta incidente utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

Pode-se observar na Figura 5.30 que o valor de $R_{c\downarrow}$ estimado na FNS foi maior que o valor medido, enquanto para JAR o valor de $R_{c\downarrow}$ foi menor do que o valor medido. Analisando-se a Tabela 5.10 pode-se observar que não houve diferenças nos valores das médias dos pixels de $R_{c\downarrow}$, sendo o erro médio para FNS e JAR de 6% e -1%, respectivamente.

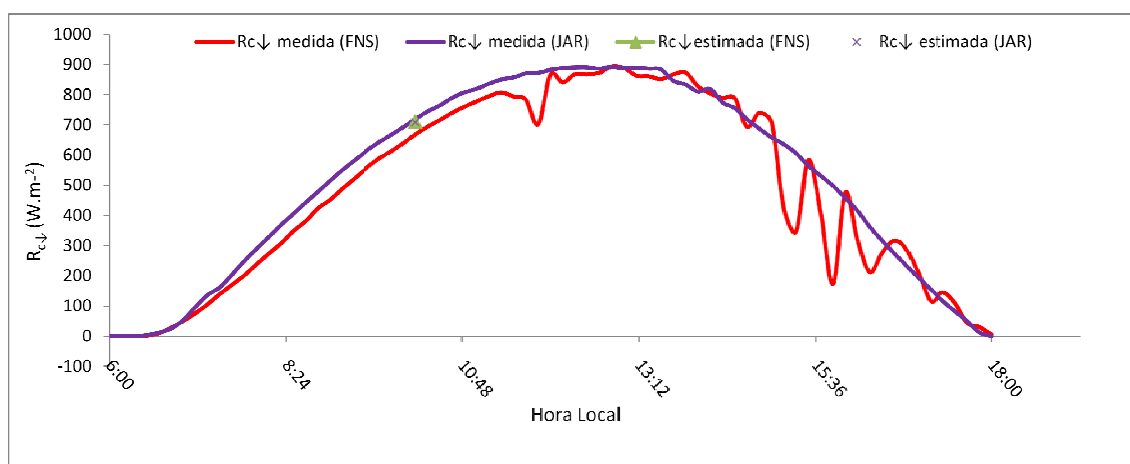


Figura 5.30. Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda curta incidente à superfície ($R_{c\downarrow}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.10 – Comparação entre os valores medidos e estimados de $R_{c\downarrow}$ para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

RADIÇÃO DE ONDA CURTA INCIDENTE (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	668			
DADO MEDIDO (JAR)	719			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXELS	711	6 %	709	-1 %
5 PIXELS	711	6 %	709	-1 %
9 PIXELS	711	6 %	709	-1 %
25 PIXELS	711	6 %	709	-1 %

Aplicou-se o algoritmo SEBAL também para as imagens do dia 04/08/2007 e 09/08/2009 e obtiveram-se os valores que variaram de $795 Wm^{-2}$ a $806 Wm^{-2}$ e $767 Wm^{-2}$ a $778 Wm^{-2}$, respectivamente (Figura 5.31a e 5.31b).

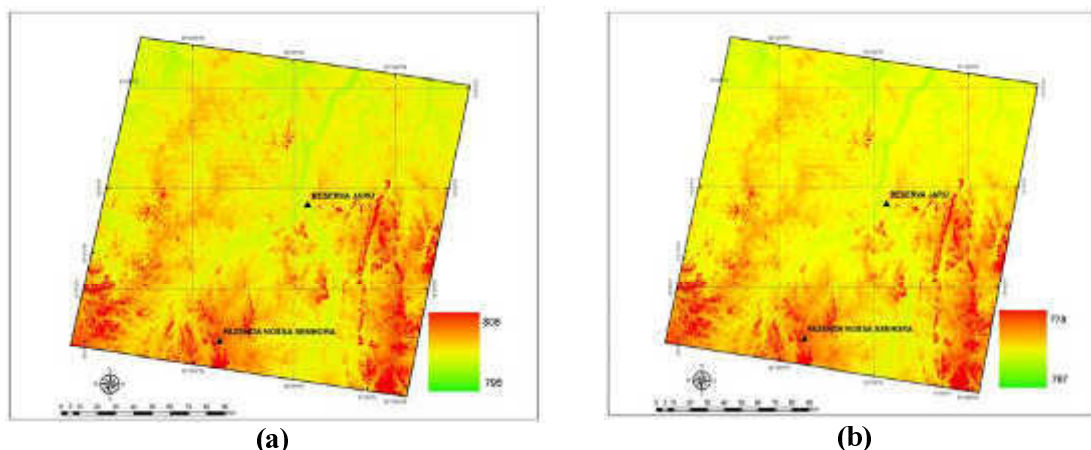


Figura 5.31. Estimativa de radiação de onda curta incidente utilizando imagens TM/ Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

A diferença entre o dado medido e estimado encontrada nos valores de radiação de onda curta incidente pode esta relacionada à parametrização da transmissividade utilizada no algoritmo SEBAL, pois, este parâmetro pode ter maior influência na obtenção do $R_{c\downarrow}$, já que os outros parâmetros utilizadas na parametrização são constante (ver Equação 19, no capítulo 4).

As Tabelas 5.11 a 5.14 mostram as comparações entre a radiação de onda curta incidente à superfície estimados pelo SEBAL e medidos pelas torres micrometeorológicas para as áreas estudadas, de modo geral os valores estimados foram maiores que os medidos.

Tabela 5.11 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para JAR.

DATA	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	709	719	-1
21/07/2008	754	695	8
06/08/2008	749	710	5
04/08/2007	799	SEM DADOS	-
09/08/2009	771	SEM DADOS	-

Tabela 5.12 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para FNS.

DATA	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	711	668	6
21/07/2008	757	682	11
06/08/2008	751	694	8
04/08/2007	802	SEM DADOS	-
09/08/2009	773	SEM DADOS	-

Tabela 5.13 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para ZF2-Km34.

DATA	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	861	762	13
04/07/2007	859	838	3
06/08/2008	805	829	3
10/09/2009	889	856	4
27/07/2010	802	SEM DADOS	-

Tabela 5.14 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta incidente à superfície para EST/UEA.

DATA	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	859	SEM DADOS	-
04/07/2007	857	SEM DADOS	-
06/08/2008	803	SEM DADOS	-
10/09/2009	887	SEM DADOS	-
27/07/2010	800	769	4

Analisando as parametrizações propostas para o cálculo do balanço de radiação à superfície por meio do algoritmo SEBAL, observa-se que a transmissividade atmosférica é um parâmetro que está presente em várias equações, e como discutido anteriormente, pode ser uma das hipóteses para os erros encontrados. De acordo com a literatura, o algoritmo SEBAL apresenta boas estimativas quando aplicados a regiões semi-áridas, com baixo índice de umidade atmosférica; no entanto este algoritmo tem sido amplamente utilizado pela comunidade científica em regiões com diferentes características atmosférica, como por

exemplo, o desenvolvimento deste trabalho, onde utilizamos o SEBAL para se obter estimativas para a região Amazônica, que apresenta um alto índice de umidade.

Como mencionado anteriormente a parametrização da transmissividade atmosférica, utilizada neste trabalho, não leva em conta informação da quantidade de umidade presente na região, podendo apresentar valores maiores do que o esperado. Essa hipótese pode ser reforçada por um estudo realizado por Allen *et al.* (2007), o qual propôs uma nova parametrização para a transmissividade atmosférica, considerando em sua parametrização dois parâmetros que são extremamente importantes para a região estudada, sejam eles a quantidade de água presente na atmosfera e o coeficiente de turbidez. Sendo assim, acredita-se que com uma parametrização mais adequada pode-se obter melhores estimativas.

5.2.4.2 Radiação de Onda Curta Refletida ($R_{c\uparrow}$)

A Figura 5.32a mostra a estimativa da radiação de onda curta refletida, pode-se verificar variações de 87 Wm^{-2} a 127 Wm^{-2} correspondente a regiões antropizadas e 67 Wm^{-2} a 87 Wm^{-2} correspondentes a regiões de floresta. Analisando as imagens do dia 21/07/2008 e 06/08/2008 pode-se dizer que os valores não diferem muito do dia 05/07/2008. Para o dia 21/07/2008 os valores foram de 86 Wm^{-2} a 126 Wm^{-2} na FNS e de 66 Wm^{-2} a 86 Wm^{-2} na JAR (Figura 5.32b), e para o dia 06/08/2008 variaram de 96 Wm^{-2} a 146 Wm^{-2} na FNS e de 76 Wm^{-2} a 96 Wm^{-2} na JAR (Figura 5.32c). A Figura 5.33 mostra a comparação entre os valores medidos e estimados para FNS e JAR. Ao realizar-se uma média dos pixels vizinhos não houve grande diferença, visto que os valores apresentam baixa variação em toda cena da imagem, Tabela 5.15, o erro médio para a FNS foi de -16% e o para a JAR foi de -20%.

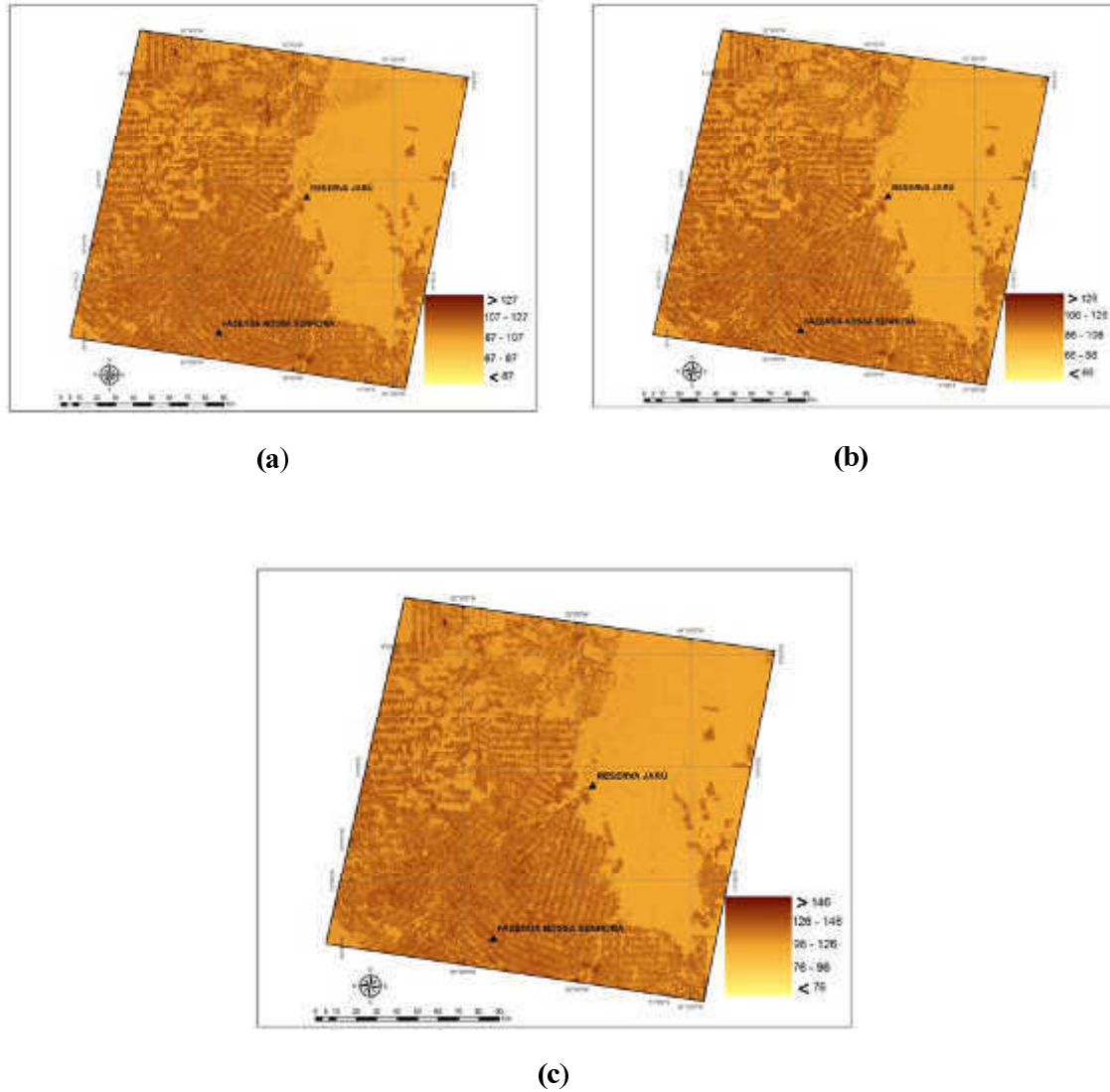


Figura 5.32. Estimativa de radiação de onda curta refletida utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

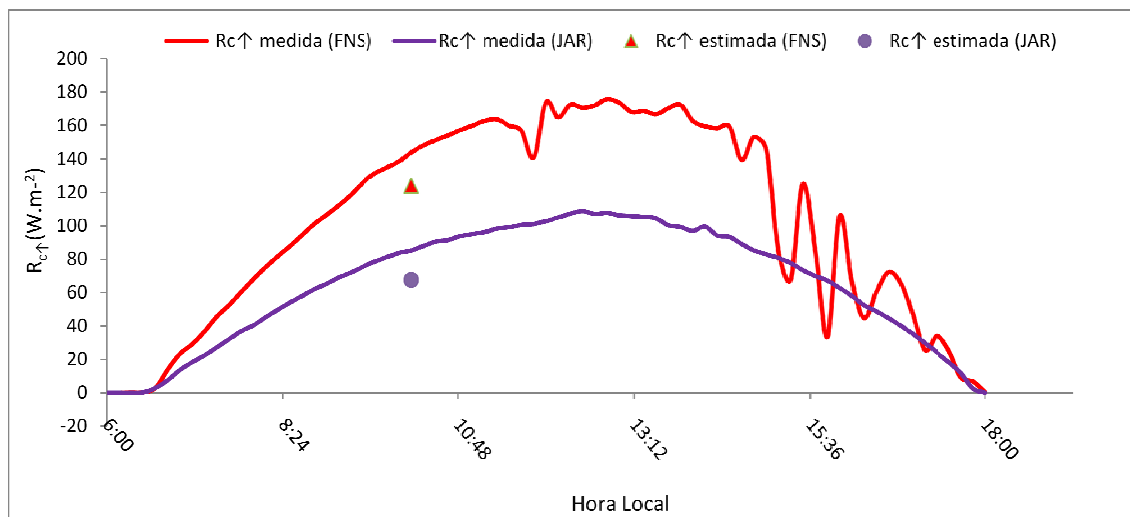


Figura 5.33. Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda curta refletida ($R_{c\uparrow}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.15 - Comparação entre os valores medidos e estimados de $R_{c\uparrow}$ para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

RADIÇÃO DE ONDA CURTA REFLETIDA (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	144			
DADO MEDIDO (JAR)	85			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXELS	124	-14 %	68	-20 %
5 PIXELS	121	-16 %	68	-20 %
9 PIXELS	123	-15 %	68	-20 %
25 PIXELS	120	-17 %	69	-19 %

Utilizando as imagens do dia 04/08/2007 e 09/08/2009 obtiveram-se valores que variaram de $106 Wm^{-2}$ a $146 Wm^{-2}$ na FNS e $86 Wm^{-2}$ a $106 Wm^{-2}$ na JAR (Figura 5.34a); e $97 Wm^{-2}$ a $137 Wm^{-2}$ na FNS e $77 Wm^{-2}$ a $97 Wm^{-2}$ na JAR (Figura 5.34b), respectivamente.

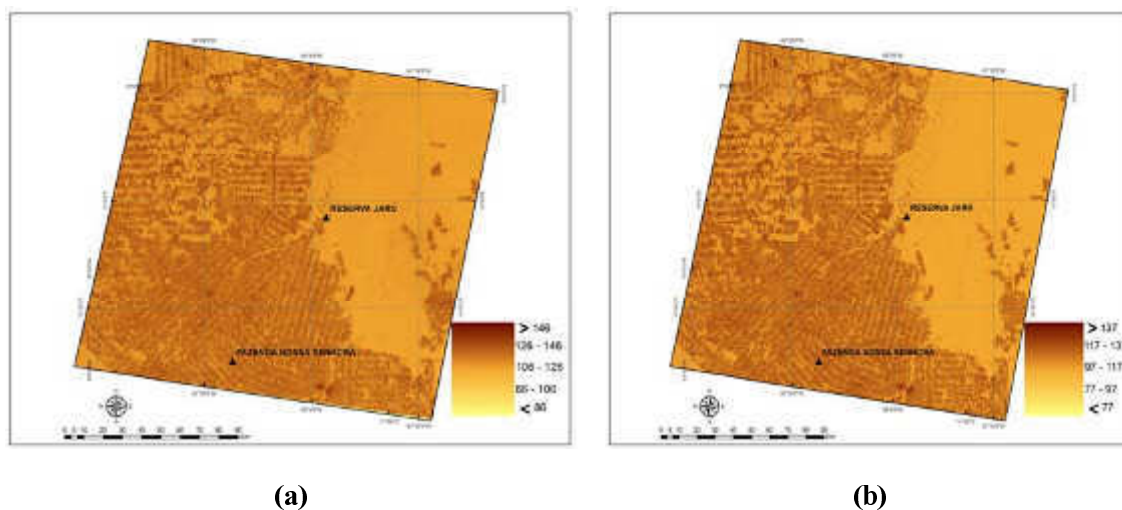


Figura 5.34. Estimativa de radiação de onda curta refletida utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

Comparando os valores medidos com os estimados para as regiões estudadas, Tabelas 5.16 a 5.19, observa-se de modo geral que os valores estimados foram menores que os medidos para todas as regiões estudadas, exceto para comparações com os dados da estação meteorológica automática da EST/UEA, que apresentou uma superestimativa de 11%.

A radiação de onda curta refletida a superfície depende do albedo e da radiação de onda curta incidente à superfície, logo erros associados a estas componentes geram erros na estimativa final.

Tabela 5.16 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a JAR.

DATA	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	68	85	-20
21/07/2008	69	84	-18
06/08/2008	90	91	-1
04/08/2007	94	SEM DADOS	-
09/08/2009	83	SEM DADOS	-

Tabela 5.17 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a FNS.

DATA	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	124	144	-14
21/07/2008	136	150	-9
06/08/2008	169	152	-11
04/08/2007	150	SEM DADOS	-
09/08/2009	142	SEM DADOS	-

Tabela 5.18 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a ZF2-Km34.

DATA	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	101	94	7
04/07/2007	89	99	-10
06/08/2008	90	102	-12
10/09/2009	109	110	-1
27/07/2010	87	SEM DADOS	-

Tabela 5.19 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda curta refletida pela superfície para a EST/UEA.

DATA	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{c\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	177	SEM DADOS	-
04/07/2007	168	SEM DADOS	-
06/08/2008	131	SEM DADOS	-
10/09/2009	186	SEM DADOS	-
27/07/2010	154	139	11

5.2.5 Saldo de radiação de ondas curtas (R_c)

A Figura 5.35a mostra a variação do saldo de radiação de ondas curtas para o dia 05/07/2008. Observam-se maiores valores do saldo de radiação de onda curta na JAR ($627 Wm^{-2}$ a $667 Wm^{-2}$), onde o albedo foi menor, e menores valores na pastagem ($587 Wm^{-2}$ a $627 Wm^{-2}$), onde o albedo foi maior. Observa-se na Figura 5.35b que o saldo de radiação de onda curta variou de $588 Wm^{-2}$ a $628 Wm^{-2}$ na FNS e de $628 Wm^{-2}$ a $668 Wm^{-2}$ na JAR. Na

Figura 5.35c observa-se que R_c variou de $590 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a $630 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ na FNS e de $630 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ a $670 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ na JAR.

Na Figura 5.36 observa-se que tanto o saldo de radiação de onda curta estimado para FNS, quanto o R_c estimado para a JAR foram maiores que o medido, estes erros estão associados a superestimativa da radiação de onda curta incidente, visto que esta componente é predominante no saldo de radiação de onda curta. Ao realizar-se a média dos pixels vizinhos observou-se que não houve mudança, o erro médio foi de 13% para a FNS e de 1% para a JAR (Tabela 5.20).

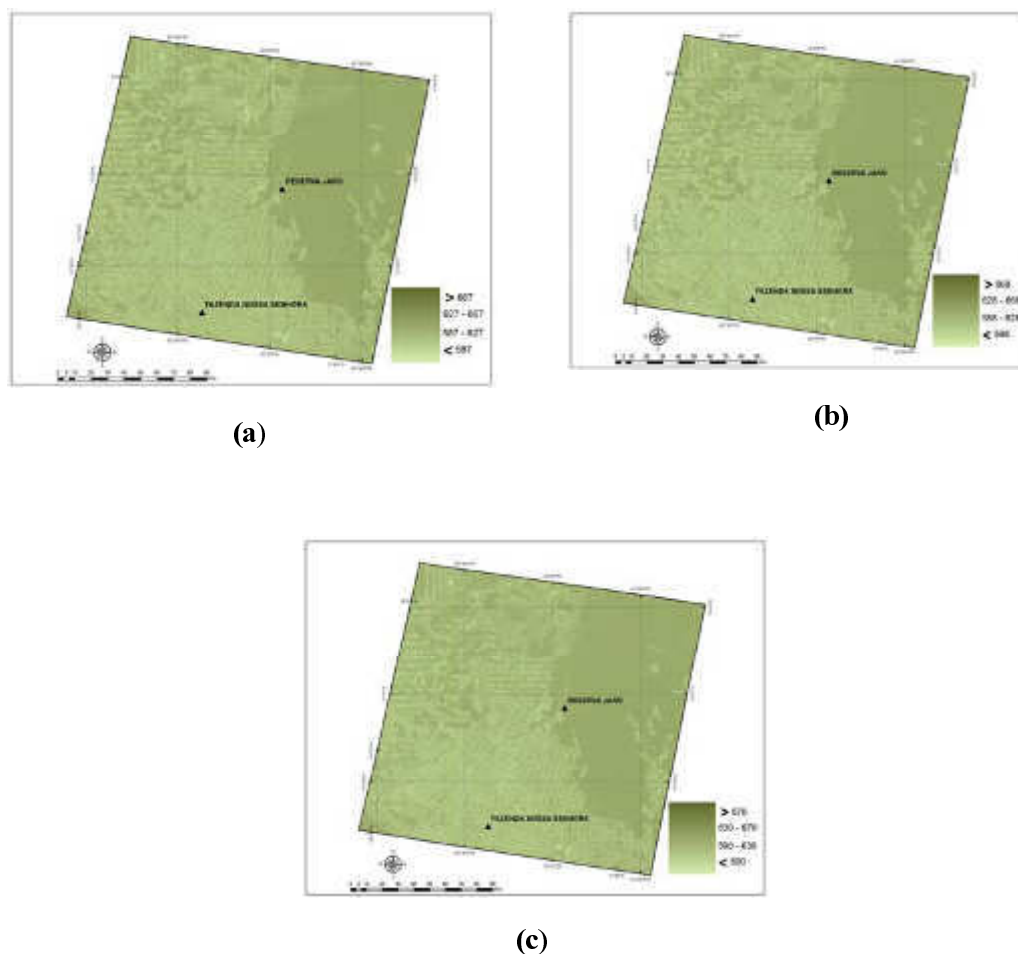


Figura 5.35. Estimativa do saldo de radiação de ondas curtas utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

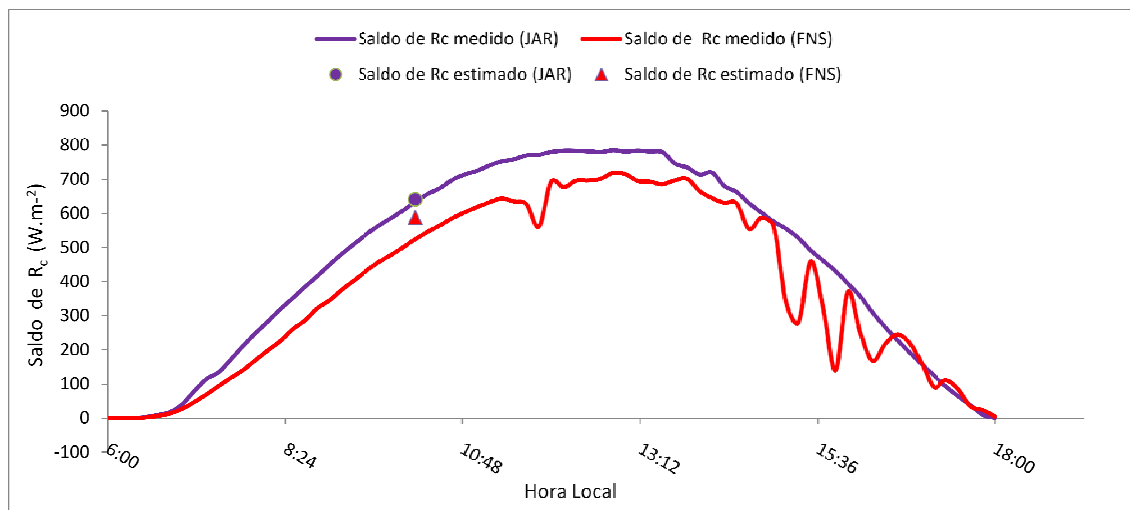


Figura 5.36. Comparação entre o dado medido e estimado do saldo de radiação de ondas curtas (R_c) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.20 – Comparação entre os valores medidos e estimados do R_c para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

SALDO DE RADIAÇÃO DE ONDAS CURTAS (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	524			
DADO MEDIDO (JAR)	634			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXEL	587	12 %	641	1 %
5 PIXELS	591	13 %	641	1 %
9 PIXELS	588	12 %	641	1 %
25 PIXELS	592	13 %	640	1 %

Aplicando-se o algoritmo para o dia 04/08/2007 obtiveram-se valores para a FNS entre $607 Wm^{-2}$ e $647 Wm^{-2}$ e para a JAR entre $647 Wm^{-2}$ e $687 Wm^{-2}$ (Figura 5.37a). Já para o dia 09/08/2009 os valores foram de $610 Wm^{-2}$ a $650 Wm^{-2}$ para a FNS e de $650 Wm^{-2}$ a $690 Wm^{-2}$ para a JAR (Figura 5.37b).



Figura 5.37. Estimativa do saldo de radiação de ondas curtas utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

5.2.6 Componentes do balanço de ondas longas

As componentes do balanço de radiação de ondas longas são a radiação de onda longa incidente ($R_{L\downarrow}$) e a radiação de onda longa emitida ($R_{L\uparrow}$), obtidas pela Equação 17 e Equação 16, respectivamente, as quais encontram-se descritas no capítulo 4.

5.2.6.1 Radiação de Onda Longa Incidente ($R_{L\downarrow}$)

Para a estimativa da radiação de onda longa incidente foi necessário utilizar a temperatura do ar (T_a) medida na superfície dos dois sítios experimentais (Equação 17). Foram obtidas duas estimativas, uma com a T_a medida na floresta (JAR) e outra com a T_a medida na pastagem (FNS).

Utilizou-se o método de derivação para saber o quanto muda a radiação de onda longa incidente variando-se a temperatura do ar de 2K em 2K (Tabela 5.21). Os resultados mostraram que aumentando 2K à temperatura do ar a radiação de onda longa incidente aumenta em média 4,6 Wm⁻², ou seja, um erro associado a T_a, não induz a um erro elevado na estimativa da R_{L↓}.

Tabela 5.21 - Análise da equação de radiação de onda longa incidente à superfície em relação a temperatura do ar (T_a).

DERIVADA	T _a =23 ^o C ou 296 K	T _a =25 ^o C ou 298 K	T _a =27 ^o C ou 300 K	T _a =29 ^o C ou 302 K	T _a =31 ^o C ou 304 K
$\Delta R_{L\downarrow} = 4 * \epsilon_a * \sigma * T_s^3 \Delta T$	4,47 Wm ⁻²	4,56 Wm ⁻²	4,65 Wm ⁻²	4,74 Wm ⁻²	4,84 Wm ⁻²

Observa-se que tanto na floresta (Figura 5.38a), quanto na pastagem (Figura 5.38b) praticamente não houve variação de radiação de onda longa incidente. Sendo encontrado o valor constante para toda a cena de 330 Wm⁻² utilizando a T_a da floresta e 358 Wm⁻² utilizando a T_a da pastagem, isso pode ser explicado porque utilizou-se um mesmo valor de temperatura do ar para estimativa de radiação de onda longa incidente, e o valor da ϵ_a é praticamente constante para toda a cena .

Observa-se que os valores de radiação de onda longa incidente tanto na floresta, quanto na pastagem estão abaixo dos valores medidos (Figura 5.39).

Assim como ocorrido nos itens anteriores não houve diferenças nas médias dos valores dos pixels para a radiação de onda longa incidente, e o erro médio para a FNS foi de -12% Wm⁻² e de -6% Wm⁻² para a JAR (Tabela 5.22).

Foi observado que para o dia 21/07/2008 (Figuras 5.40a e 5.40b) o comportamento da R_{L↓} utilizando a T_a da JAR foi em média de 338 Wm⁻² e utilizando a T_a da FNS foi de 365 Wm⁻². Já para o dia 06/08/2008 foi em média de 342 Wm⁻² utilizando a T_a da JAR (Figura 5.40c) e 356 Wm⁻² utilizando a T_a da FNS (Figura 5.40d). Pode-se observar que

houve pouca diferença comparando-se esses valores com os valores estimados para o dia 05/07/2008.

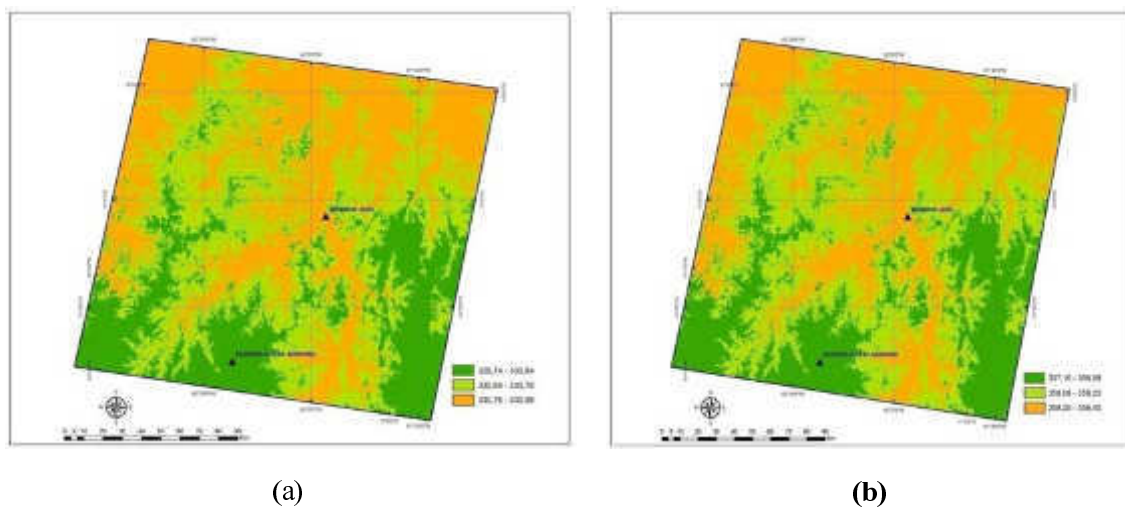


Figura 5.38. Estimativa de radiação de onda longa incidente utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente a passagem, (a) 05/07/2008 e T_a da Floresta; (b) 05/07/2008 e T_a da Pastagem.

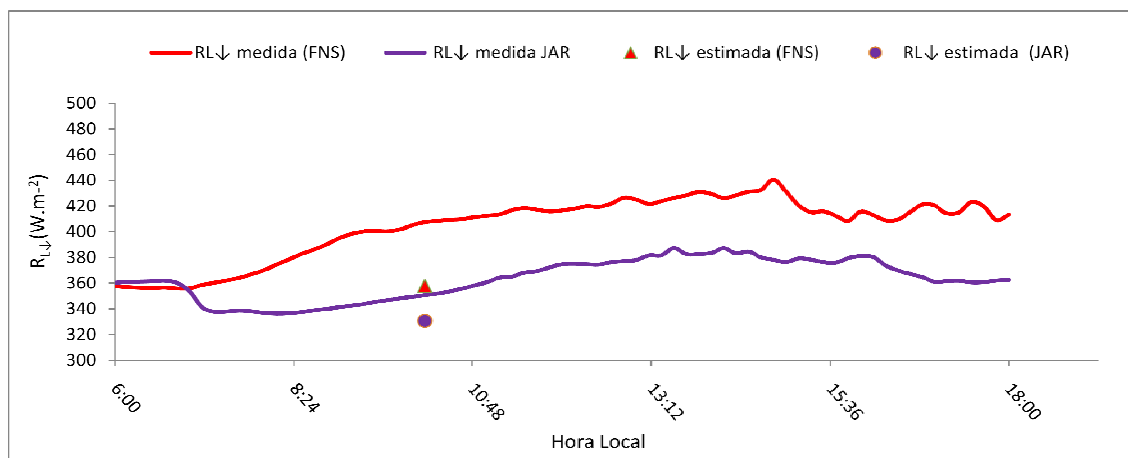


Figura 5.39. Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda longa incidente ($R_{L\downarrow}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.22 - Comparação entre os valores medidos e estimados de R_{L1} para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

RADIÇÃO DE ONDA LONGA INCIDENTE (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	408			
DADO MEDIDO (JAR)	351			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXEL	358	-12%	331	-6%
5 PIXELS	358	-12%	331	-6%
9 PIXELS	358	-12%	331	-6%
25 PIXELS	358	-12%	331	-6%

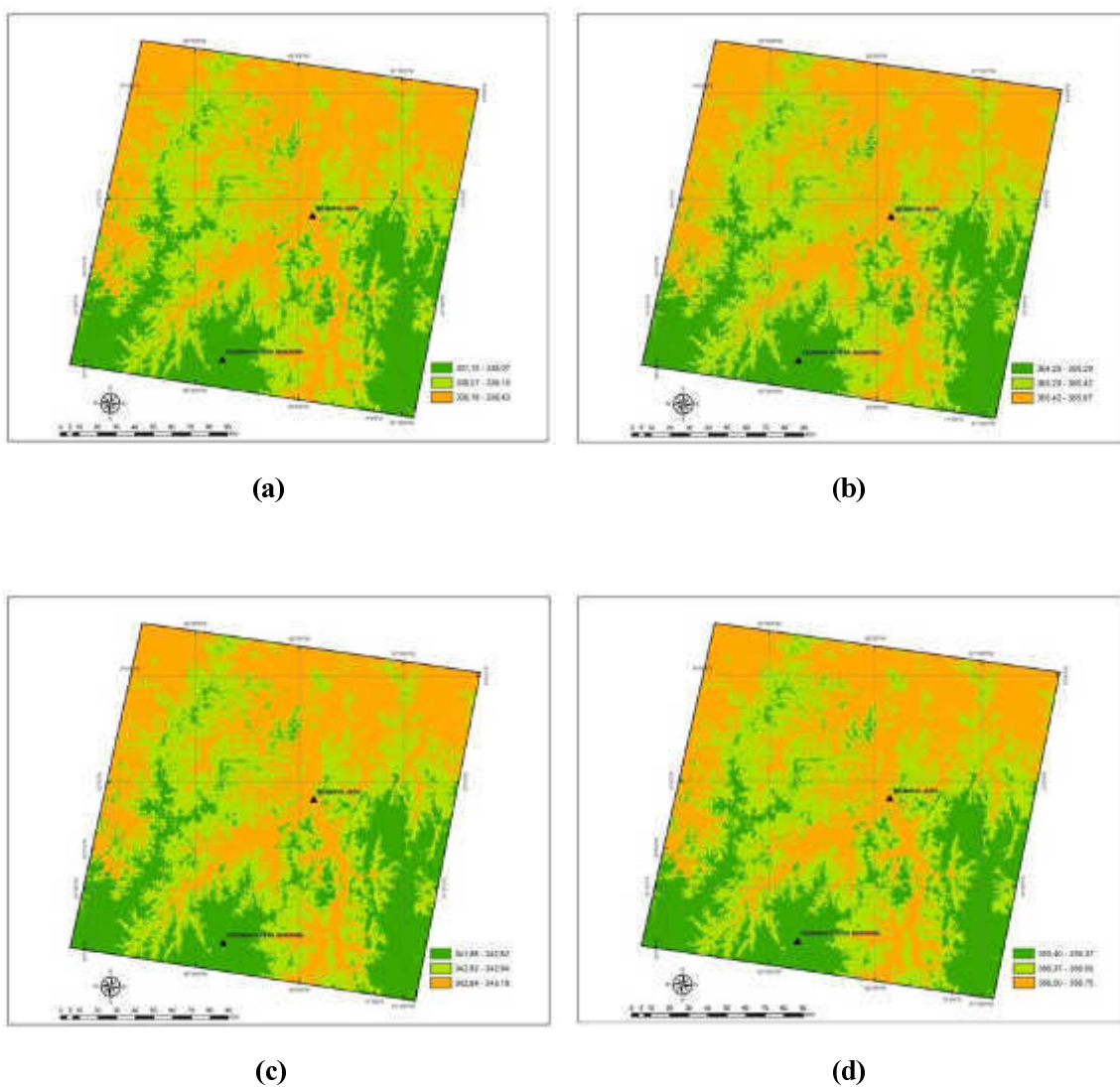


Figura 5.40. Estimativa radiação de onda longa incidente utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 21/07/2008 e T_a da Floresta; (b) 21/07/2008 e T_a da Pastagem; (c) 06/08/2008 e T_a da Floresta; (d) 06/08/2008 e T_a da Pastagem.

Observando-se os valores de radiação de onda longa incidente para os anos de 2007 e 2009 pode-se dizer que não apresentaram diferenças significativas em relação às análises do ano de 2008. Para o dia 04/08/2007 (Figura 5.41a) e 09/08/2009 (Figura 5.41b), os valores de $R_{L\downarrow}$ utilizando a T_a da FNS foram em média de 349 Wm^{-2} e de 369 Wm^{-2} para toda a cena, respectivamente.

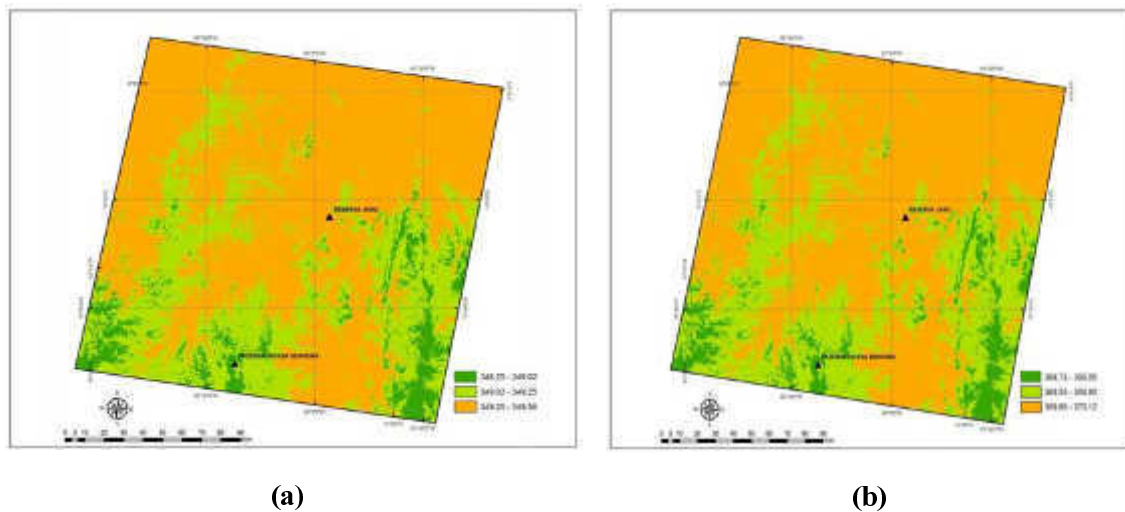


Figura 5.41. Estimativa radiação de onda longa incidente utilizando imagem TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007 e T_a da Pastagem; (b) 09/08/2009 e T_a da Pastagem.

Para o cálculo da $R_{L\downarrow}$ (Equação 17), tem-se a T_a que é um dado medido na superfície, a constante de *Stefan-Boltzman*, e a emissividade atmosférica (ϵ_a) que é calculada pela Equação 18, a qual necessita do valor da transmissividade atmosférica. Analisando-se a Equação 17 podemos inferir que o valor de radiação de onda longa incidente pode ser influenciado tanto pela T_a quanto pela emissividade do ar. Como a T_a é uma variável medida na superfície, logo dificilmente o erro estaria associado à mesma, desta forma, o erro pode está associado ao considerarmos a emissividade atmosférica constante para toda cena, não sendo representativo de toda a área estudada.

As Tabelas 5.23 a 5.26 mostram as comparações das estimativas com os valores medidos para FNS, JAR, ZF2-Km34, e estação da EST/UEA. De modo geral, as estimativas apresentam valores menores do que o medido, para todas as localidades.

Tabela 5.23 - Comparação entre os valores medidos e estimados de radiação de onda longa incidente à superfície para a JAR.

DATA	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	331	351	-6
21/07/2008	338	363	-7
06/08/2008	343	377	-9
04/08/2007	349	SEM DADOS	-
09/08/2009	370	SEM DADOS	-

Tabela 5.24 - Comparação entre os valores medidos e estimados de radiação de onda longa incidente à superfície para a FNS.

DATA	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	358	408	-12
21/07/2008	365	418	-13
06/08/2008	356	422	-16
04/08/2007	349	SEM DADOS	-
09/08/2009	370	SEM DADOS	-

Tabela 5.25 - Comparação entre os valores medidos e estimados de radiação de onda longa incidente à superfície para a ZF2-Km34.

DATA	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	382	468	-18
04/07/2007	372	444	-16
06/08/2008	376	454	-17
10/09/2009	385	447	-14
27/07/2010	368	447	-18

Tabela 5.26 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa incidente à superfície para a EST/UEA.

DATA	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\downarrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	381	SEM DADOS	-

04/07/2007	372	SEM DADOS	-
06/08/2008	377	SEM DADOS	-
10/09/2009	385	SEM DADOS	-
27/07/2010	382	493	-23

5.2.6.2 Radiação de Onda Longa Emitida pela Superfície ($R_{L\uparrow}$)

A Figura 5.42a mostra a variação de radiação de onda longa emitida pela superfície. Os menores valores foram obtidos em regiões de floresta (393 Wm^{-2} a 413 Wm^{-2}) e os maiores valores foram obtidos em regiões com baixa densidade de biomassa e solo exposto (413 Wm^{-2} a 433 Wm^{-2}). Essa diferença está relacionada com o valor de temperatura de superfície que apresentou-se maior na FNS e menor na JAR, já que o valor da emissividade radiativa foi praticamente constante para toda a cena.

Pode-se observar na Figura 5.43 que tanto os valores estimados de radiação de onda longa emitida para FNS, quanto para a JAR estão abaixo dos valores medidos. Assim como observado nas médias dos valores dos pixels dos parâmetros anteriores, o mesmo aconteceu com os valores de $R_{L\uparrow}$, os quais não apresentaram variações significativas. A radiação de onda longa emitida apresentou erro médio de -16 % para a FNS e -13% para a JAR (Tabela 5.27).

No dia 21/07/2008 a radiação de onda longa emitida variou de 414 Wm^{-2} a 434 Wm^{-2} na FNS, enquanto na JAR a variação foi de 394 Wm^{-2} a 414 Wm^{-2} (Figura 5.42b). No dia 06/08/2008 os valores foram de 413 Wm^{-2} a 433 Wm^{-2} na FNS e de 393 Wm^{-2} a 413 Wm^{-2} na JAR (Figura 5.42c).

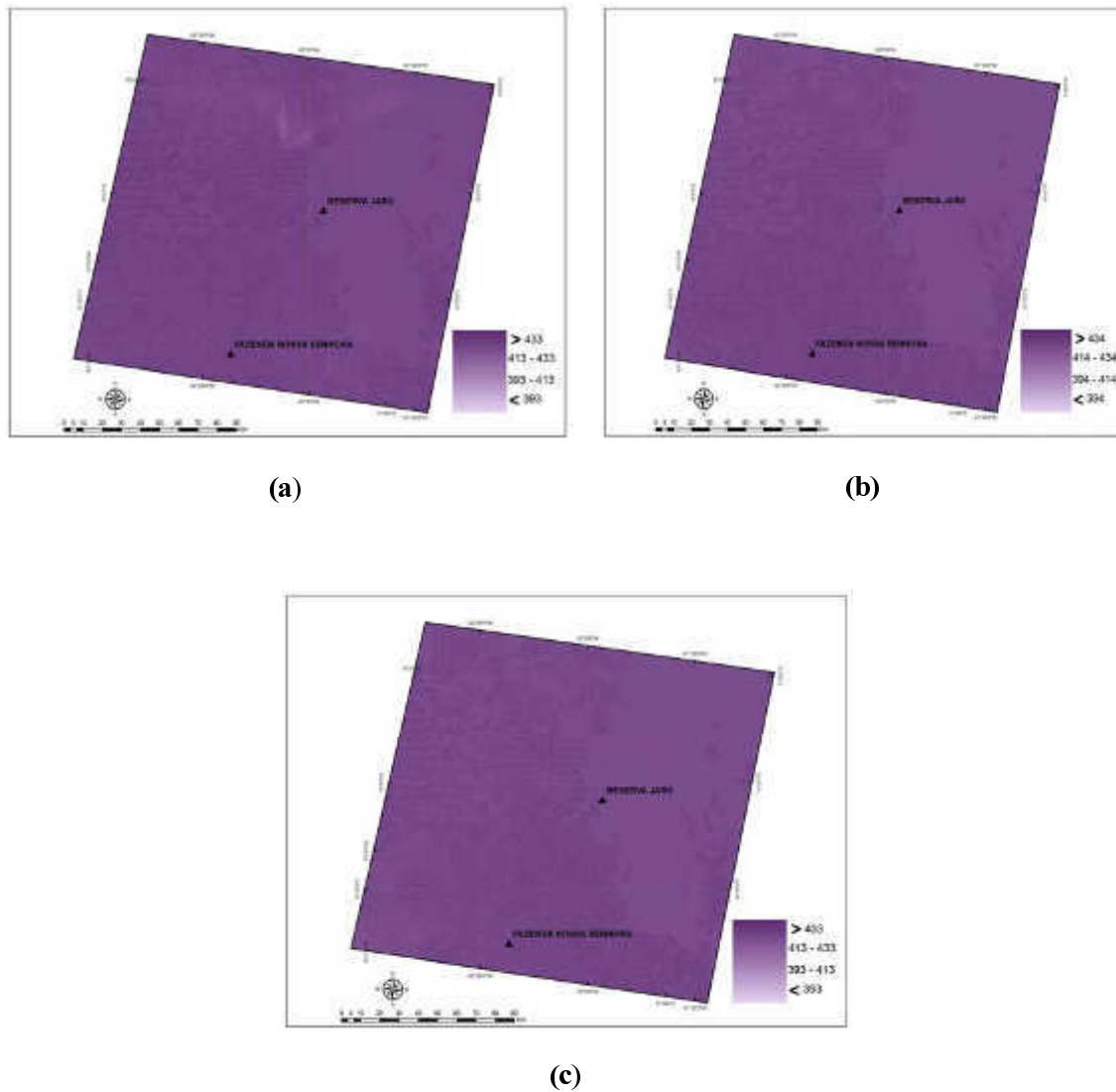


Figura 5.42. Estimativa de radiação de onda longa emitida utilizando imagem TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 05/07/2008; (b) 21/07/2008; (c) 06/08/2008.

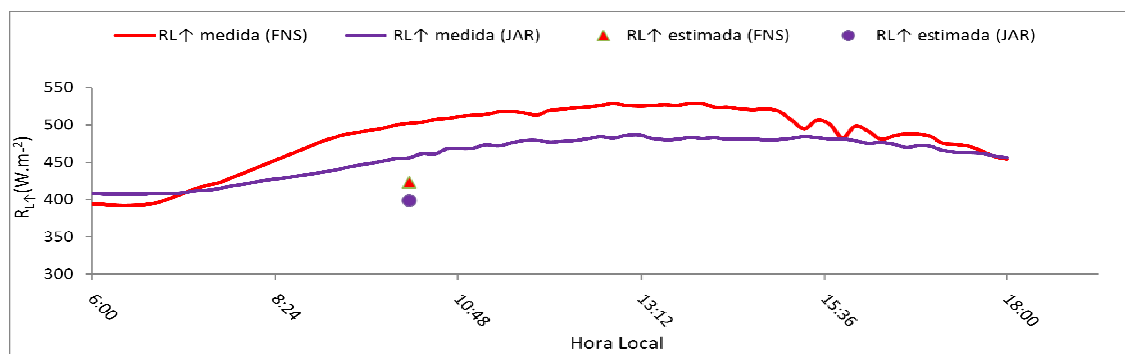


Figura 5.43. Comparação entre o dado medido e estimado de radiação de onda longa emitida ($R_{L\uparrow}$) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.27 - Comparação entre os valores medidos e estimados de R_{L1} para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

RADIÇÃO DE ONDA LONGA EMITIDA (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	502			
DADO MEDIDO (JAR)	456			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXEL	423	-16%	399	-13%
5 PIXELS	421	-16%	396	-13%
9 PIXELS	421	-16%	396	-13%
25 PIXELS	420	-16%	396	-13%

Aplicando-se o algoritmo SEBAL para os dias 04/08/2007 (Figura 5.44a) e 09/08/2009 (Figura 5.44b), os valores de radiação de onda longa emitida obtidos variaram de $440 Wm^{-2}$ a $460 Wm^{-2}$ para a FNS e $420 Wm^{-2}$ a $440 Wm^{-2}$ JAR; e de $441 Wm^{-2}$ a $461 Wm^{-2}$ para FNS e de $421 Wm^{-2}$ a $441 Wm^{-2}$ para a JAR, respectivamente.

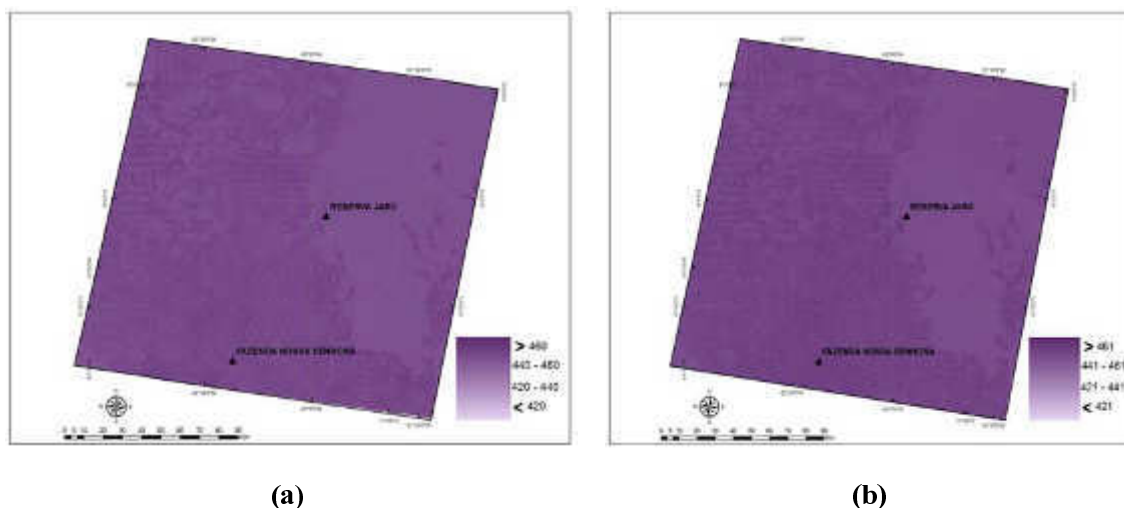


Figura 5.44. Estimativa de radiação de onda longa emitida utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007; (b) 09/08/2009.

A radiação de onda longa emitida pela superfície, determinada pela Equação 16, mostrada no capítulo 4, depende da emissividade radiativa e da temperatura da superfície. Como discutido na seção 5.2.2, estes parâmetros apresentam dependência da emissividade termal e do índice de área foliar (IAF), que por sua vez depende da transmissividade

atmosférica. As Tabelas 5.28 a 5.31 mostram a comparação entre as estimativas da radiação de onda longa emitida pela superfície e os valores medidos. Observa-se que as estimativas apresentaram valores menores do que o medido, com erros em média de -15%.

As parametrizações da emissividade termal e a emissividade radiativa utilizadas neste trabalho considera o valor de 0,97 e 0,95, respectivamente, valores estes menores que os sugeridos na literatura; diante disto estes valores podem reduzir as estimativas, gerando assim erros na componente de radiação de onda longa emitida pela superfície.

Tabela 5.28 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a JAR.

DATA	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	399	456	-13
21/07/2008	401	469	-14
06/08/2008	394	468	-16
04/08/2007	423	SEM DADOS	-
09/08/2009	429	SEM DADOS	-

Tabela 5.29 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a FNS.

DATA	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	423	502	-16
21/07/2008	440	519	-15
06/08/2008	425	518	-18
04/08/2007	458	SEM DADOS	-
09/08/2009	469	SEM DADOS	-

Tabela 5.30 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a ZF2-Km34.

DATA	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	432	506	-15
04/07/2007	421	497	-15
06/08/2008	391	523	-25
10/09/2009	460	SEM DADOS	-
27/07/2010	391	485	-19

Tabela 5.31 - Comparação entre os valores medidos e estimados da radiação de onda longa emitida pela superfície para a EST/UEA.

DATA	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) ESTIMADO	$R_{L\uparrow}$ (Wm^{-2}) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	465	SEM DADOS	-
04/07/2007	455	SEM DADOS	-
06/08/2008	414	SEM DADOS	-
10/09/2009	518	SEM DADOS	-
27/07/2010	419	594	-29

5.2.7 Saldo de radiação de ondas longas (R_L)

As Figuras 5.45a e 5.45b mostram o saldo de radiação de onda longa para FNS e JAR. Foram encontrados valores que variaram de $-100 Wm^{-2}$ a $-80 Wm^{-2}$ na FNS e $-80 Wm^{-2}$ a $-60 Wm^{-2}$ na JAR utilizando a T_a da floresta (Figura 5.45a), e de $-90 Wm^{-2}$ a $-70 Wm^{-2}$ na FNS e $-70 Wm^{-2}$ a $-50 Wm^{-2}$ na JAR utilizando a T_a da pastagem (Figura 5.45b).

Pode-se observar na Figura 5.51 que os valores estão superestimados tanto para a pastagem (FNS) quanto para a floresta (JAR); essa superestimativa decorre dos erros citados nos itens anteriores.

Observa-se na Tabela 5.32 que praticamente não houve diferenças entre os valores das médias dos pixels, e que o erro médio para a FNS foi de 34% e de 36% para a JAR.

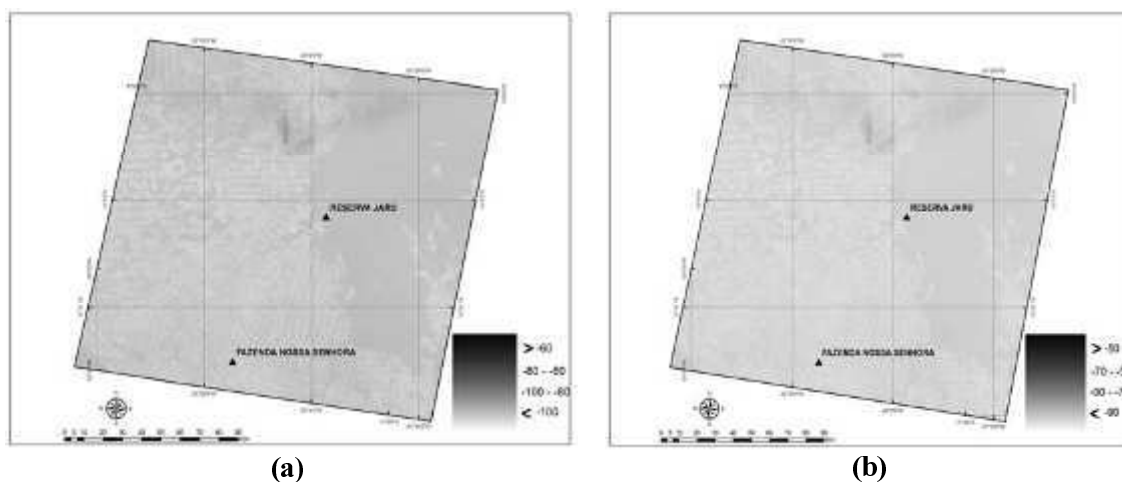


Figura 5.45. Estimativa do saldo de radiação de ondas longas utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente a passagem, (a) 05/07/2008 e T_a da Floresta; (b) 05/07/2008 e T_a da Pastagem.

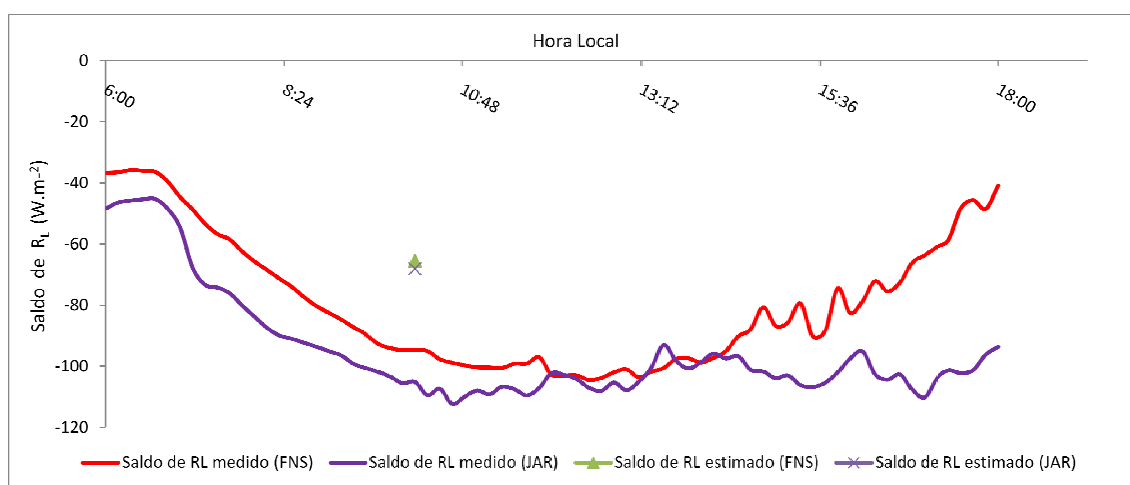


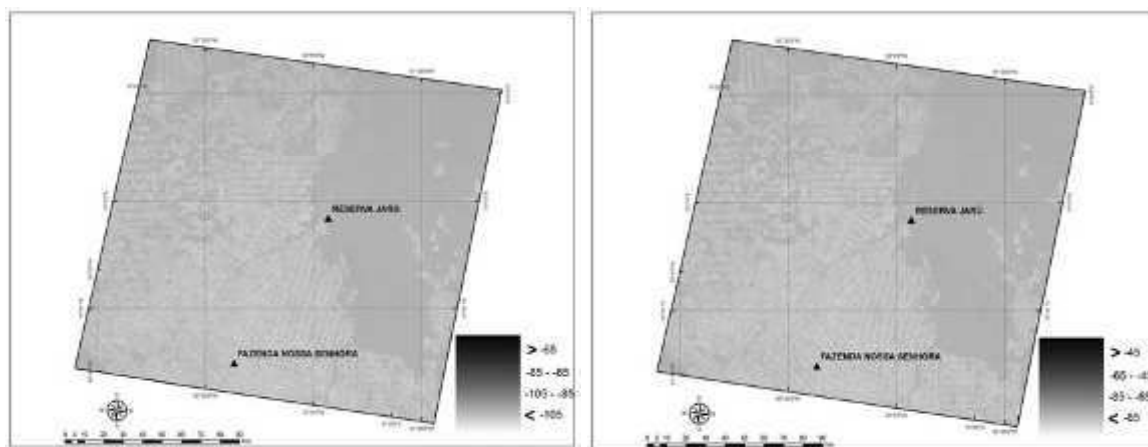
Figura 5.46. Comparação entre dado medido e estimado do saldo de radiação de ondas longas (R_L) em 05/07/2008.

Tabela 5.32 - Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação de ondas longas para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

SALDO DE RADIAÇÃO DE ONDAS LONGAS (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	-95			
DADO MEDIDO (JAR)	-105			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXEL	-65	31%	-68	35%
5 PIXELS	-63	34%	-68	35%
9 PIXELS	-63	34%	-66	37%
25 PIXELS	-62	35%	-66	37%

Aplicando-se o algoritmo SEBAL para os dias 21/07/2008 e 06/08/2008 obtiveram-se valores que não apresentaram grandes diferenças comparados aos valores encontrados para o dia 05/07/2008. Para o dia 21/07/2008 os valores ficaram entre -105 Wm^{-2} e -85 Wm^{-2} na FNS e -85 Wm^{-2} a -65 Wm^{-2} na JAR, utilizando a T_a da floresta (Figura 5.47a), e entre -85 Wm^{-2} e -65 Wm^{-2} na FNS e -65 Wm^{-2} e -45 Wm^{-2} na JAR utilizando a T_a da pastagem (Figura 5.47b). Para o dia 06/08/2008 foram encontrados valores que variaram de -95 Wm^{-2} a -75 Wm^{-2} na FNS e -75 Wm^{-2} a -55 Wm^{-2} na JAR, utilizando a T_a da floresta (Figura 5.47c), e de -85 a -65 na FNS e -65 a -45 na JAR utilizando a T_a da pastagem (Figura 5.47d).

Verifica-se que todas as imagens analisadas apresentaram valores de seus pixels negativos, que é explicado pela ocorrência de perda de radiação na forma de ondas longas pela superfície, ou seja, esses valores negativos devem-se ao predomínio da radiação de onda longa emitida pela superfície sobre a radiação de onda longa atmosférica. Pode-se observar que na pastagem (FNS) há maior perda de radiação para atmosfera do que na floresta (JAR), isso devido à ocorrência de maiores temperaturas em regiões de pastagem.



(a)

(b)

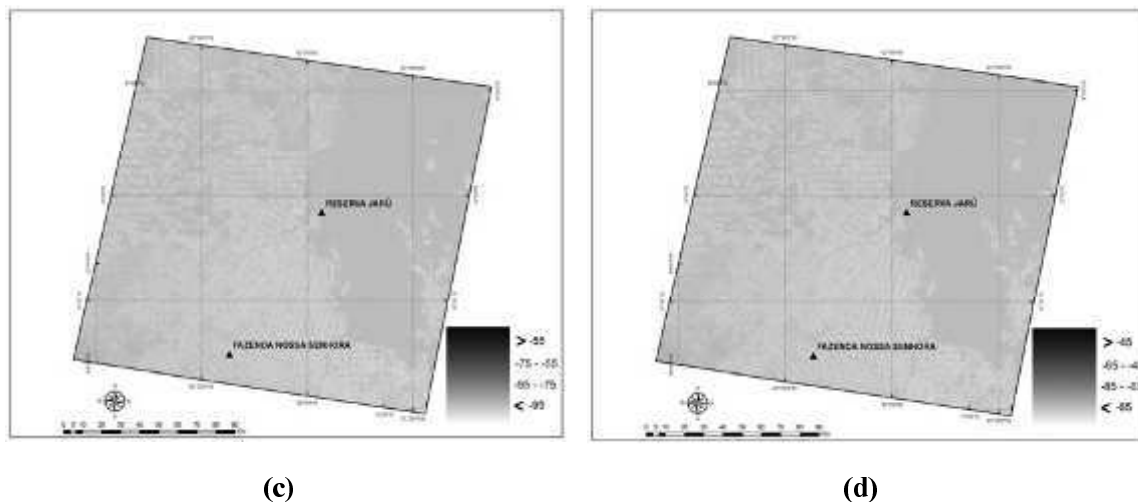


Figura 5.47. Estimativa do saldo de radiação de ondas longas utilizando imagens TM/ Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 21/07/2008 e T_a da Floresta; (b) 21/07/2008 e T_a da Pastagem; (c) 06/08/2008 e T_a da Floresta; (d) 06/08/2008 e T_a da Pastagem.

Utilizando as imagens do dia 04/08/2007 e 09/08/2009 obtiveram-se valores que variaram de -115 Wm^{-2} a -95 Wm^{-2} na FNS e -95 Wm^{-2} a -75 Wm^{-2} na JAR (Figura 5.48a); e -100 Wm^{-2} a -80 Wm^{-2} na FNS e -80 Wm^{-2} a -60 Wm^{-2} na JAR (Figura 5.48b), respectivamente.

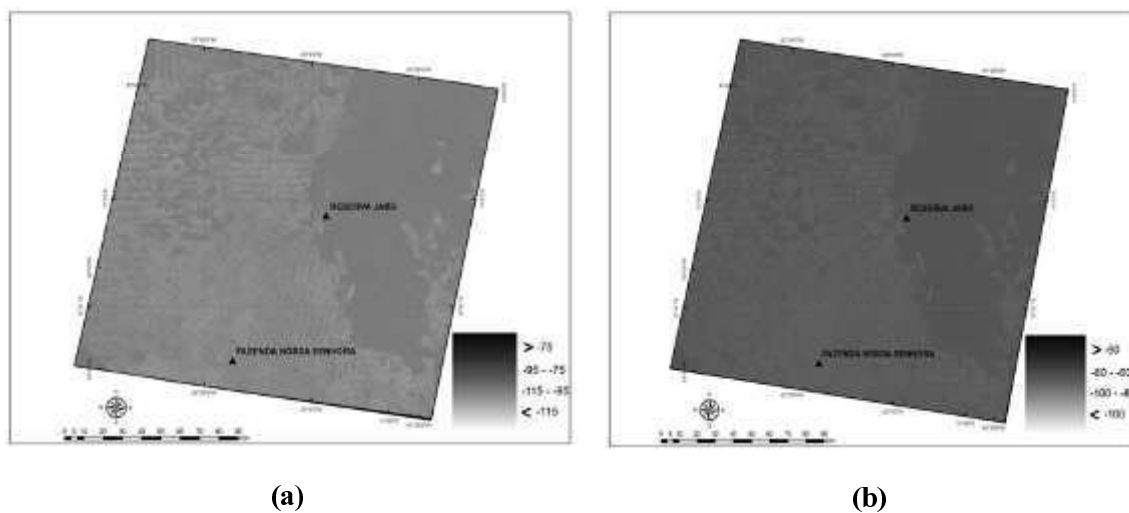


Figura 5.48. Estimativa do saldo de radiação de ondas longas utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007 e T_a da Pastagem; (b) 09/08/2009 e T_a da Pastagem.

5.2.8 Saldo de radiação à superfície (Rn)

O balanço de radiação de uma determinada superfície é o cômputo entre toda energia radiante recebida e perdida pela superfície na forma de ondas longas e ondas curtas. Segundo Allen *et al.* (2002), o saldo de radiação à superfície normalmente assume valores positivos durante o período diurno e valores negativos durante a noite. Concordando com os valores obtidos nesta pesquisa.

As Figuras 5.49a e 5.49b mostram a variação do saldo de radiação à superfície. Observa-se menores valores de Rn entre 430 e 521 Wm^{-2} (Figura 5.49a), e 443 Wm^{-2} e 549 Wm^{-2} (Figura 5.49b) em regiões de pastagem; e maiores valores de Rn entre 521 Wm^{-2} e 569 Wm^{-2} (Figura 5.49a), e 549 Wm^{-2} a 591 Wm^{-2} (Figura 5.49b) em áreas vegetadas.

Observa-se na Figura 5.50 que os valores estimados foram maiores que os valores medidos tanto na FNS, quanto na JAR. Ao realizar-se uma média dos pixels próximos a torres, o erro médio para a FNS foi de 18% e de 6% para a JAR (Tabela 5.33).

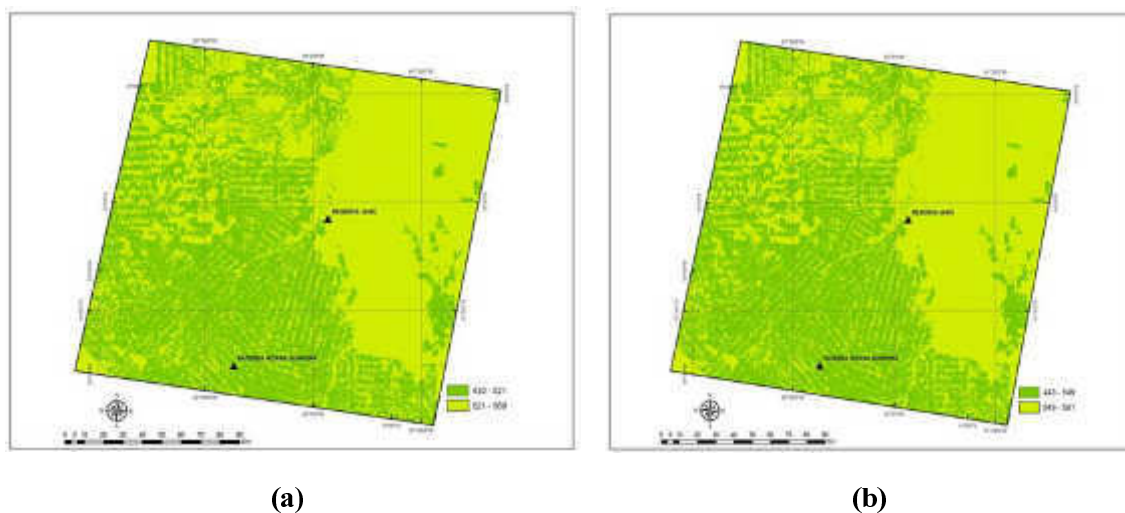


Figura 5.49. Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente a passagem, (a) 05/07/2008 e T_a da Floresta; (b) 05/07/2008 e T_a da Pastagem.

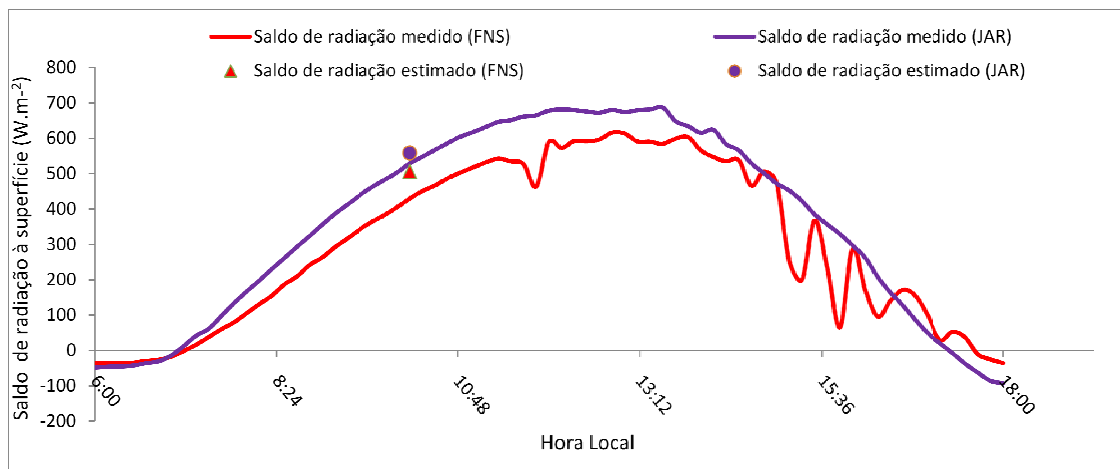


Figura 5.50. Comparação entre o dado medido e estimado do saldo de radiação à superfície (R_n) para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008.

Tabela 5.33 - Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para FNS e JAR, referente ao dia 05/07/2008, 10:10 (hora local).

SALDO DE RADIAÇÃO À SUPERFÍCIE (Wm^{-2})				
DADO MEDIDO (FNS)	429			
DADO MEDIDO (JAR)	529			
AMOSTRAGEM	ESTIMATIVA (FNS)	ERRO (FNS)	ESTIMATIVA (JAR)	ERRO (JAR)
1 PIXEL	506	18%	559	6%
5 PIXELS	510	19%	559	6%
9 PIXELS	506	18%	558	6%
25 PIXELS	507	18%	559	5%

Os valores do saldo de radiação variaram no dia 21/07/2008 de $445 Wm^{-2}$ a $512 Wm^{-2}$ na FNS e de $512 Wm^{-2}$ a $580 Wm^{-2}$ na JAR (Figura 5.51a), e de $462 Wm^{-2}$ a $511 Wm^{-2}$ na FNS e de $511 Wm^{-2}$ a $604 Wm^{-2}$ na JAR (Figura 5.51b). Já no dia 06/08/2008 o saldo de radiação variou de $426 Wm^{-2}$ a $521 Wm^{-2}$ na FNS e de $521 Wm^{-2}$ a $567 Wm^{-2}$ na JAR (Figura 5.51c), e de $433 Wm^{-2}$ a $533 Wm^{-2}$ na FNS e de $533 Wm^{-2}$ a $588 Wm^{-2}$ na JAR (Figura 5.51d).

Pode-se observar que o saldo de radiação tanto na floresta (JAR) quanto na pastagem (FNS) acompanha as oscilações da radiação de onda curta que representa o componente de maior influencia no saldo de radiação, como também o saldo de radiação na pastagem foi menor que na floresta; isso porque houve uma menor quantidade de radiação armazenada na superfície de pastagem do que em superfície de floresta.

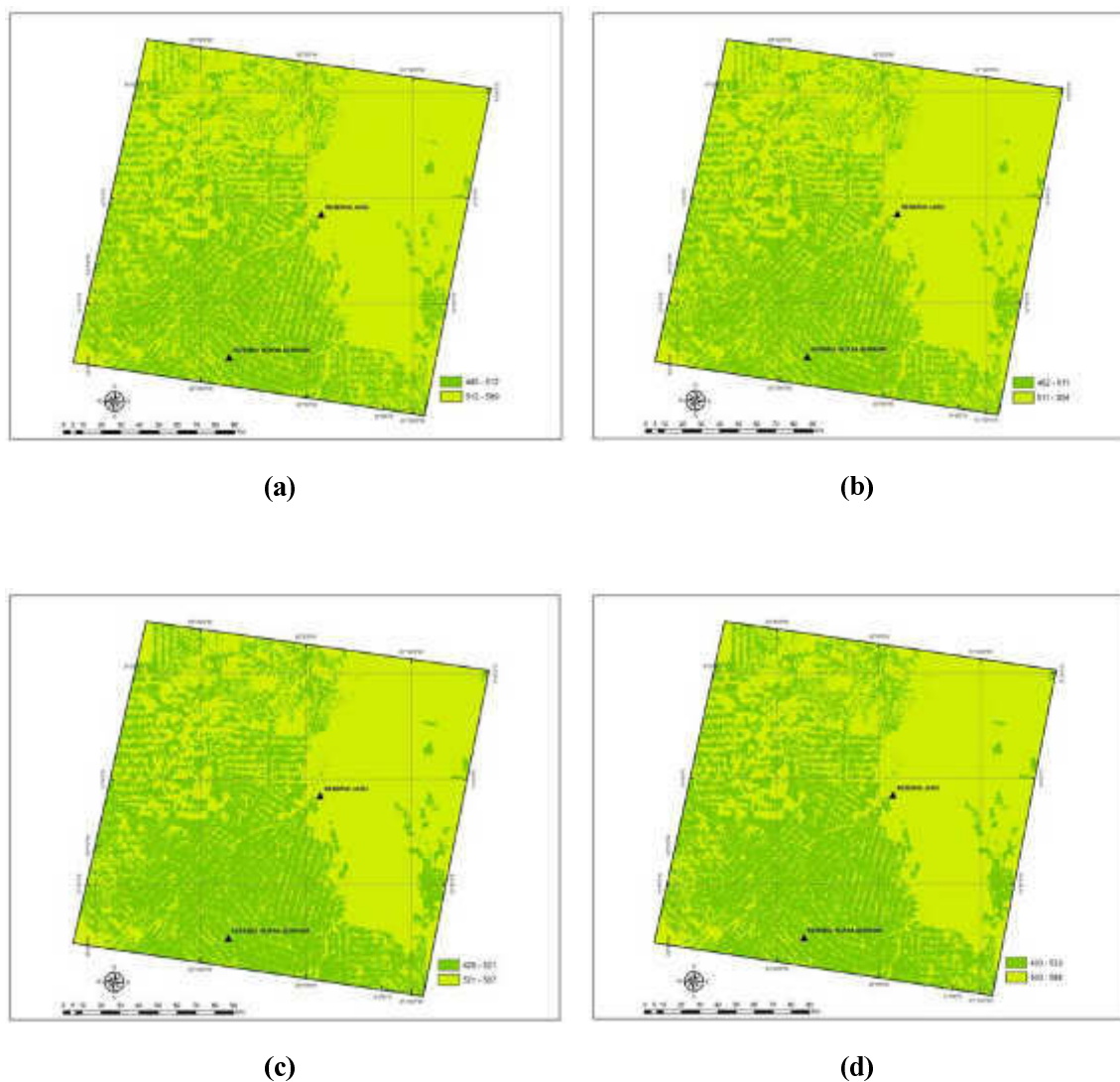


Figura 5.51. Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 do ano 2008, referente as passagens, (a) 21/07/2008 e T_a da Floresta; (b) 21/07/2008 e T_a da Pastagem; (c) 06/08/2008 e T_a da Floresta; (d) 06/08/2008 e T_a da Pastagem.

Aplicando o algoritmo SEBAL para os anos de 2007 e 2009, observa-se que os valores obtidos de R_n para o dia 04/08/2007 variaram de 562 Wm^{-2} a 615 Wm^{-2} para a JAR e 440 Wm^{-2} a 562 Wm^{-2} para FNS (Figura 5.52a). Para o dia 09/08/2009 os valores de R_n para floresta variou entre 571 Wm^{-2} a 620 Wm^{-2} e para a pastagem de 438 Wm^{-2} a 571 Wm^{-2}

(Figura 5.52b). Se comparados aos valores obtidos no ano de 2008, não se observa diferenças significativas.

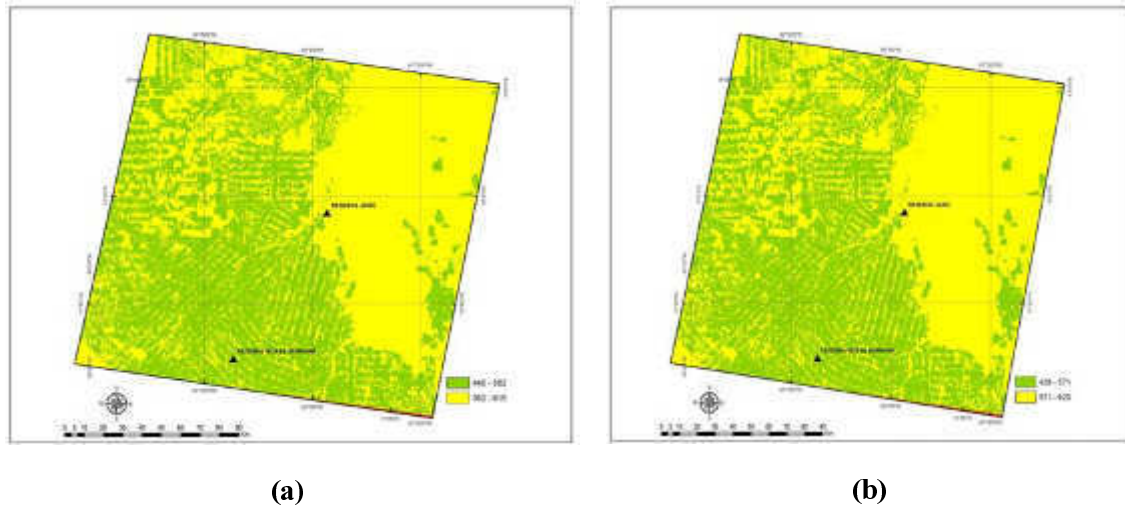


Figura 5.52. Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2007 e 2009, referente as passagens, (a) 04/08/2007 e T_a da Pastagem; (b) 09/08/2009 e T_a da Pastagem.

As figuras 5.53, 5.54 e 5.55 referem-se às estimativas do saldo de radiação à superfície para o estado do Amazonas. Pode-se observar que o R_n apresentou-se maior em regiões de rios (cor vermelho) e floresta (cor laranja) e menor em região de pastagem e em área urbanizada (cor verde).

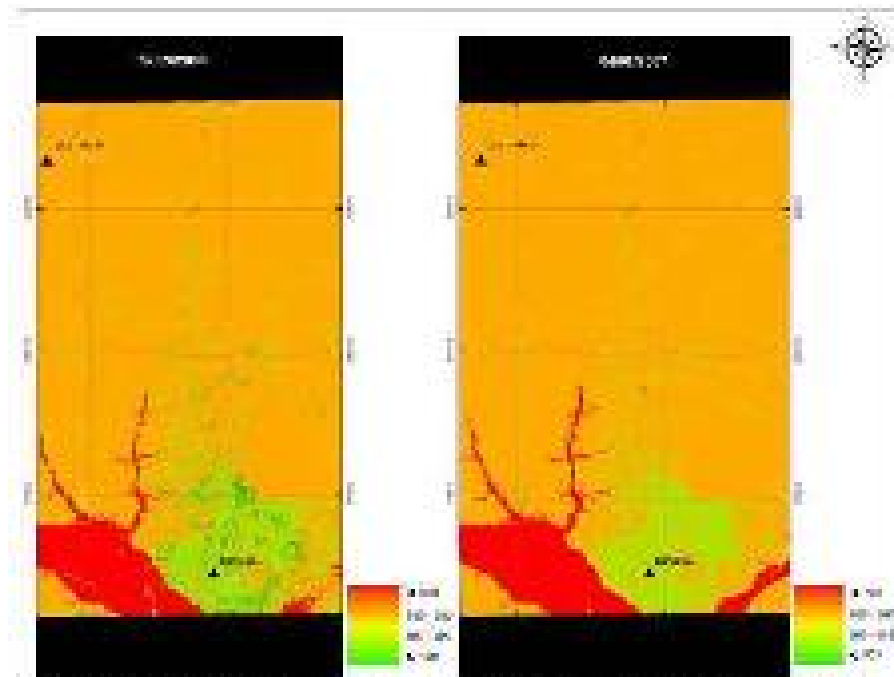


Figura 5.33. Distribuição espacial dos tipos de floresta: Floresta Ombriflora Densa Equatorial e Floresta Ombriflora Abundante Equatorial. Fonte: Galvão e Miki (2007) do Atlas do Amazonas.

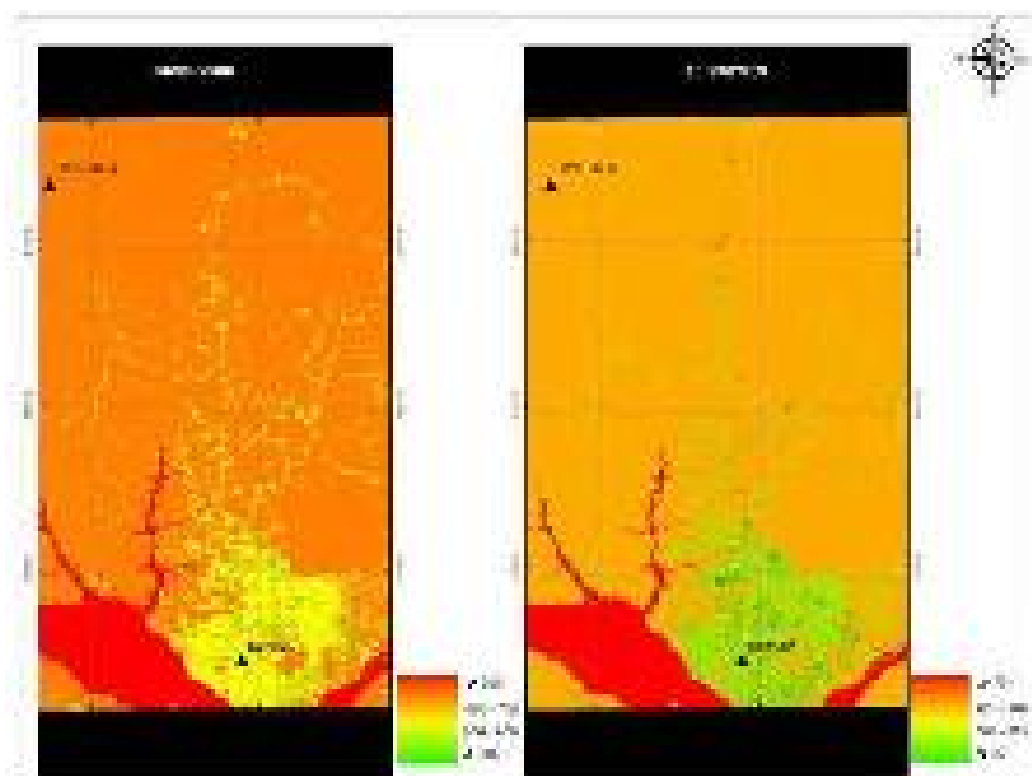


Figura 5.34. Distribuição espacial dos tipos de floresta: Floresta Ombriflora Abundante Equatorial e Floresta Ombriflora Densa Equatorial. Fonte: Galvão e Miki (2007) do Atlas do Amazonas.

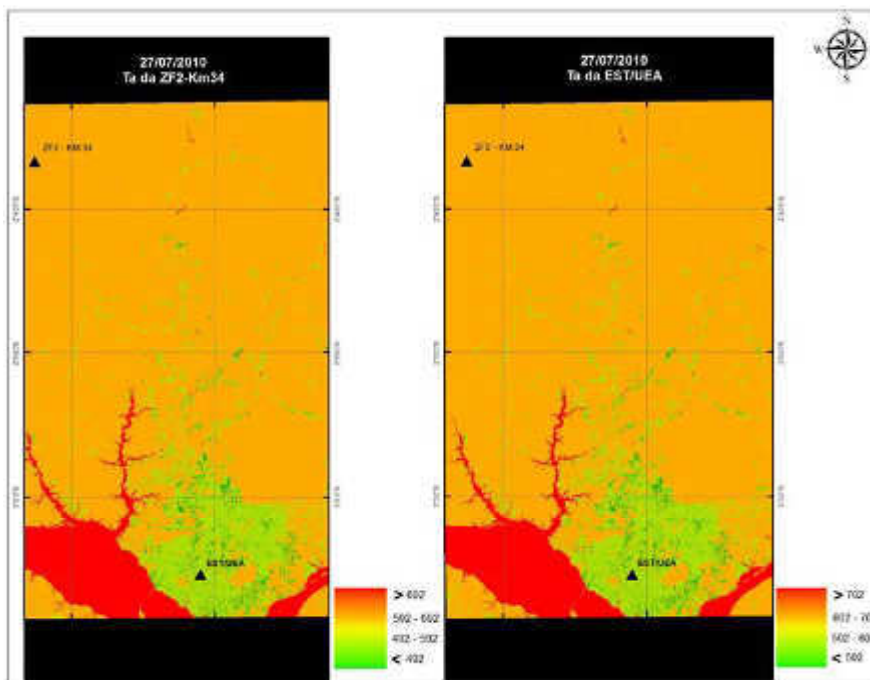


Figura 5.55. Estimativa do saldo de radiação à superfície utilizando imagens TM/Landsat 5 dos anos 2010-Ta ZF2-Km34 e 2010-Ta EST/UEA.

O saldo de radiação foi calculado pela Equação 1, descrita no capítulo 4, analisando os resultados pode-se inferir que as diferenças entre os valores medidos e as estimativas são devido aos erros gerados em cada fase do processamento. A componente do saldo de radiação de onda curta apresenta magnitude maior quando comparado ao saldo de radiação de onda longa, diante disto o saldo de radiação à superfície, durante o dia, é predominado pelo saldo de radiação de onda curta. Devido a estimativa desta componente apresentar valores maiores do que os medidos à superfície, conseqüentemente o saldo de radiação à superfície estimado apresentou também valores maiores do que os dados medidos, como mostrados nas Tabelas 5.34 a 5.37.

É importante comentar que os erros gerados em cada fase do processamento não implica em erros elevados no cálculo final do balanço de radiação à superfície, visto que alguns parâmetros apresentam valores maiores do que os medidos, e outros apresentam valores menores, ocorrendo assim uma compensação entre os erros.

Tabela 5.34 - Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a JAR.

DATA	Rn (Wm ⁻²) ESTIMADO	Rn (Wm ⁻²) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	559	529	7
21/07/2008	566	505	12
06/08/2008	557	528	5
04/08/2007	613	SEM DADOS	-
09/08/2009	616	SEM DADOS	-

Tabela 5.35 - Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a FNS.

DATA	Rn (Wm ⁻²) ESTIMADO	Rn (Wm ⁻²) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
05/07/2008	506	430	18
21/07/2008	491	430	14
06/08/2008	471	446	6
04/08/2007	524	SEM DADOS	-
09/08/2009	489	SEM DADOS	-

Tabela 5.36 - Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a ZF2-Km34.

DATA	Rn (Wm ⁻²) ESTIMADO	Rn (Wm ⁻²) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	693	630	10
04/07/2007	704	686	3
06/08/2008	692	658	5
10/09/2009	689	SEM DADOS	-
27/07/2010	675	SEM DADOS	-

Tabela 5.37 - Comparação entre os valores medidos e estimados do saldo de radiação à superfície para a EST/UEA.

DATA	Rn (Wm ⁻²) ESTIMADO	Rn (Wm ⁻²) MEDIDO	ERRO RELATIVO (%)
02/09/2006	561	SEM DADOS	-
04/07/2007	592	SEM DADOS	-
06/08/2008	595	SEM DADOS	-
10/09/2009	560	SEM DADOS	-
27/07/2010	576	530	9

6 CONCLUSÕES

Diante das análises e discussões dos resultados obtidos referentes às áreas de abrangência do estudo, tem-se as seguintes conclusões:

- Em relação ao comportamento do R_n medido e estimado em floresta e pastagem, os resultados mostraram que o mesmo foi maior na JAR e menor na FNS. Sendo que o erro dos valores estimados foi em média de 12% para a FNS e de 7% para a JAR, erros estes próximos aos erros dos aparelhos de medição.
- Comparando-se os dados medidos com os dados estimados houve uma subestimativa na radiação de onda curta refletida e radiação de onda longa incidente, e superestimativa na radiação de onda curta incidente, estes comportamentos possivelmente foram devidos a parametrização da transmissividade; e subestimativa nos valores da radiação de onda longa emitida, provavelmente devido às parametrizações das emissividades.
- Uma das possíveis hipóteses para os erros encontrados em cada etapa de processamento do algoritmo SEBAL, é que estas parametrizações não consideram a quantidade de água presente na atmosfera e o coeficiente de turbidez, parâmetros estes extremamente importantes para a região estudada.
- Os erros em cada parâmetro estimado não contribuí em erros elevados no cálculo final do balanço de radiação à superfície, visto que alguns parâmetros apresentam valores maiores do que os medidos, e outros apresentam valores menores, ocorrendo assim uma compensação entre os erros.

- Pode-se concluir que a aplicabilidade do algoritmo SEBAL para a região amazônica é viável; entretanto é recomendável ajustar as parametrizações para o cálculo da transmissividade e das emissividades, levando em conta o alto índice de umidade atmosférica.
- Por fim, é importante comentar que o uso do algoritmo SEBAL a partir de imagens TM Landsat 5 para estimar o balanço de radiação à superfície é justificável, visto que este satélite apresenta alta resolução espacial, pixel de 30m x 30m, permitindo assim uma análise mais precisa ao compararmos as estimativas com dados medidos em torres micrometeorológicas; por outro lado, ao utilizar-se o TM Landsat 5 não é possível analisar o comportamento diário do balanço de radiação à superfície, visto que temos apenas uma medida no intervalo de 16 dias; entretanto o balanço de radiação à superfície é fundamental para obtenção do balanço de energia e evapotranspiração; desta forma uma análise detalhada e parametrizações precisas em cada fase do processamento, resultará em estimativas mais realísticas e com menores erros, diante deste fato utilizar imagens de satélites com alta resolução espacial para avaliar as parametrizações propostas, resulta em contribuições significativas no produto final do algoritmo SEBAL.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Testar a parametrização proposta por Allen *et al.* (2007) para o cálculo da transmissividade atmosférica, uma vez que, a mesma considera a quantidade de água e o coeficiente de turbidez da atmosfera.
- Para imagens que possuem nebulosidade, testar filtros de nuvens para avaliar a aplicação do algoritmo em outras épocas do ano.
- Estimar as componentes das variáveis meteorológicas para todas as imagens disponíveis e fazer uma análise estatística comparando com os dados observados.
- Aplicar o algoritmo SEBAL utilizando imagens do MODIS, de modo que possamos ter maior resolução temporal.
- Testar novas parametrizações para estimar o IAF, variando o fator de ajuste do solo (L) do IVAS, de modo que possamos encontrar valores mais realísticos para a região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration -Guidelines for computing crop water requirements – FAO. Irrigation and drainage, paper 56. Rome, Italy, 318p. 1998.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- 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, July/August 2007.
- ANDRADE, R. G.; SEDIYAMA, G. C.; DELGADO, R. C.; LIMA, E. P.; MENEZES, S. J. M. C. Saldo de radiação e fluxo de calor no solo na região do município de Juiz de Fora, MG. Anais I Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: o Eucalipto e o Ciclo Hidrológico, Taubaté, Brasil, 07-09 novembro 2007, IPABHi, p. 371-373.
- ANDRÉ, R.G. B., SILVA FILHO, V. P., MOLION, L.C.B., NOBRE, C.A. Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (Estações seca e úmida). Rev. Bras. Meteor.,S.Paulo. v.3, n.2, p.269-274, 1988.
- AZEVEDO, P. V.; LOPES, G. M.; SILVA, B. B. Determinação de albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia v.13, n.2, p. 201-211, 2005.
- BASTABLE, H.G.; SHUTTLEWORTH, W.J.; DALLAROSA, R.L.G. et al. Observation o climate, albedo and surface radiation over cleared undisturbed Amazonian forest. Int. J. Climatol., Chicester, v. 13, p. 783-96, 1993.
- BASTIAANSEN, 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.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MENENTI, M.; FEDDES, R. A.; HOLTSLAG, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. Journal of Hydrology, v. 212–213, p.198–212. 1998a.
- BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. Journal of Hidrology, v. 229, p. 87-100, 2000.
- BASTIAANSEN, 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.
- BEZERRA, M. V. C. Balanço de energia em áreas irrigada utilizando técnicas de sensoriamento remoto. 108f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Departamento de

Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2004.

BEZERRA, B. G. Balanço de energia e evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no cariri cearense através do algoritmo SEBAL. Campina Grande, 2006.127p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, UFCG, 2006.

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

BISHT, G.; VENTURI, V.; ISLAM, S.; JIANG, L. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderation Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. Remote Sensing of Environment, New York, n.97, p. 52-67, 2005.

BRAGA, C. C.; SOARES, F. R.; DANTAS, F. R. C.; BARBIERI, L. F. P. Determinação do albedo e índice de área foliar usando o sensor TM / LANDSAT 5. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 935-942.

BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. Q. J. R. Meteorol. Soc., v. 58, p. 389-418, 1932.

BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. Water Resour. Res., v. 11, n. 5, p. 742-744, Oct. 1975.

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

CHAGNON, F. J. F., BRAS, R. L., WANG, J. Climatic shift in patterns of shallow clouds over the Amazon. Geophysical Research Letters, VOL. 31, L24212, doi:10.1029/2004GL021188, 2004.

CULF, A. D.; ESTEVES, J.L.; MARQUES FILHO, A. O.; ROCHA, H. R. Radiation, temperature and humidity over Forest and pasture in Amazonia. In: Amazonia deforestation and climate (eds. J. H. C. Gash, C. A. Nobre, J. M. Roberts, R. L. Victoria). Chichester: John Wiley, p. 175-191, 1996.

CUTRIM, E., MARTIN, D. W., RABIN, R. Enhancement of cumulus clouds over deforested lands in Amazonia, Bull. Am. Meteorology. Soc., 76, 1801– 1805, 1995.

DIAS, M. A. F. S. Meteorologia, desmatamento e queimadas na Amazônia: uma síntese de resultados do LBA. Revista Brasileira de Meteorologia, v.21, n.3a, 190-199, 2006.

DI PACE, F. T. Estimativa do balanço de radiação à superfície terrestre utilizando imagens TM - Landsat 5 e Modelo de Elevação Digital. 120f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB. 2004.

DI PACE, E. L.; DI PACE, F. T.; SANTOS, F. B.; BEZERRA, K. L. T. Estimativa do saldo de radiação instantânea à superfície terrestre, através de imagens TM-Landsat 5 e o modelo de elevação digital. Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Brasil, 13-17 setembro 2010.

DURIEUX, L., MACHADO, L. A., LAURENT, T. H. The impact of deforestation on cloud cover over the Amazon arc of deforestation, *Remote Sens. Environ.*, 86, 132–140, (2003).

EPIPHANIO, J.C.N.; ALMEIDA JÚNIOR, A.C.; FORMAGGIO, A.R. Desenvolvimento do trigo avaliado com dois índices de vegetação. [CD-ROM] In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, 1996, Anais Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, São Paulo: Imagem Multimídia.

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. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, v.6, p. 1-7, 1998.

FEITOSA, J. R. P. Uso de técnica de sensoriamento remoto e imagens Landsat - TM e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de radiação à superfície. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa Institucional de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

FILHO, A. O. M.; DALLAROSA, R. G.; PACHÊCO, V. B. Radiação solar e distribuição vertical de área foliar em floresta Reserva Biológica do Cuieiras ZF2, Manaus. *Acta Amaz.* Vol.34, nº 4, Manaus Oct./Dec. 2005.

FILHO, J. D. C. S. Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação e energia sobre a Floresta de Caxiuanã. 84f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

FILHO, J. D. C. S.; RIBEIRO, Aristides; COSTA, M. H.; COHEN, C. P.; ROCHA, E. J. P. Variação sazonal do balanço de radiação em uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, 318-330, 2006.

FOLHES, M. T.; SOARES, J. V.; RENNÓ, C. D.; CORREIA, A. H. Estimativa de fluxos de energia por meio do modelo METRIC em região semi-árida. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 3349-3356.

GALVÃO, J. A. C.; FISCH, G. Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. v. 8, n. 1, p. 1-10, 2000.

HAFEEZ M. M.; CHEMIM Y. VAN DE GIESEN N. BOUMAN B. A. M Field Evapotranspiration in Central Luzon, Philippines, using Different Sensors: Landsat 7 ETM+, Terra Modis and Aster. In: Symposium on Geospatial theory, Processing and Applications, 2002, Ottawa, Canadá.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index – SAVI. *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 295–309, 1988.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Perfil dos Municípios Brasileiros – Meio Ambiente, 2000. IBGE. Rio de Janeiro: IBGE, 2000, 394p.

IDSO, S. B., JACKSON R. D. Thermal Radiation from the Atmosphere. *Journal of Geophysical Research*. 74 (23):5397-5403, 1969.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://www.inpe.br>. Acesso: 20/10/09.

KLEIDON, A.; HEIMANN, M. Assessing the role of deep rooted vegetation in the climate system with model simulations: mechanism, comparison to observations and implications for Amazonian deforestation. *Climate dynamics*, v.16, p. 183-199, 2000.

LANDSBERG, H. E.: *The Urban Climate*, Academic Press, New York-NY, 271 p. 1981.

LBA – Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. Disponível em: <http://www.lba.com.br/>. Acesso: 10/11/10.

LEITÃO, M.M.V.B.R. Balanço de radiação em três ecossistemas da Floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa. São José dos Campos: INPE, 1994. 135p. Tese Doutorado.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. Anais... São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 255-262.

LIBERATO, A. M. Saldo de radiação usando imagens landsat 5 – TM na Amazônia. Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Brasil, 13-17 setembro 2010.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; GLERIANI, J. M. do; SOARES, V. P.; DELGADO, R. C.; ANDRADE, R. G. Estimativa do balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagem do Landsat 5 – TM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 255-262.

LOPES, G. M. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. Dissertação de Mestrado, Campina Grande-PB: DCA/CCT/UFCG, 2003.

MANZI, A. O.; VISWANADHAM, Y.; SÁ, L. D. A.; ANDRÉ, R. G. B., 1986. Um estudo sobre o balanço de radiação da Floresta Amazônica. (INPE-3956-PRE/974), São José dos Campos.

MANZI, A.O.; PLANTON, S. A simulation of Amazonian deforestation using a GCM calibrated with ABRACOS and ARME data. In: Amazonian deforestation and climate (eds. J.H.C. Gash, C. A., J. M. Roberts, R. L. Victoria). Chichester: John Wiley, p. 505-529, 1996.

MARKHAM, B. L. & BARKER, J. L. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n. 3, p. 517-523, 1987.

MOREIRA, L. C. J. Estimativa da evapotranspiração horária usando o algoritmo SEBAL e imagens Landsat 5- TM. Fortaleza: UFC, 2007. 90 f. Monografia (Graduação em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará/UFC, 2007.

MORSE, A.; TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; KRAMBER, W. J. Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing – Final Report. Idaho Department of Water Resources – University of Idaho, 2000.

MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; BENINCASA, M.; SOUSA, J.L.; NASCIMENTO FILHO, M.F. Variação do albedo em áreas de florestas e pastagem na Amazônia. Rev. Bras. Agrometeorologia., v.7, n.2, p 163 - 168, 1999.

MOURA, M.A.L.; LYRA, R.F.F.; BENINCASA, M. Transmissividade atmosférica na floresta amazônica. Congresso Brasileiro de Meteorologia. Anais X – Brasília – 1998.

NASA. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível no site: <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>. Acesso: 15/08/09.

NOBRE, C. A.; SELLERES, P. J.; SHUCLA, J. Amazonia deforestation and regional climate change. Journal of Climate. v. 4, n.10, p. 957-988, 1991.

OKE, T.R.: The energetic basis of the urban heat island. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 108, 1-24, 1982.

OLIVEIRA, S. D.; SANTOS, F. A. C.; SANTOS, A. N. C.; SILVA, B. B. Estimativa do saldo de radiação à superfície no município de Itaituba – PA a partir de imagens TM – Landsat 5 com e sem Modelo de Elevação Digital. Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Brasil, 13-17 setembro 2010.

OLIVEIRA, M. C. F. de; PEREIRA, M. G. P.; SOUZA, P. F. S.; COSTA, J. P. R.; COSTA, A. C. L.; COSTA, M. C. Balanço de radiação e energia da Floresta Nacional de Caxiuanã no período de 1999-2001. CCTE_001 - Estação Científica Ferreira Penna - Dez anos de pesquisa na Amazônia.

PAIVA, C. M. Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA- AVHRR. 2005. 218p. Tese (Doutorado em Física), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

POMPEU, R. C. F. F.; TEXEIRA, A. S.; MOREIRA, L. C. J.; DURAND, B. J. Caracterização temporal e balanço de radiação do município de Pentecoste-CE utilizando dados SRTM e imagens do Landsat 5-TM. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 6093-6100.

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

RESCHKE, G. A. A influência no desmatamento no balanço de radiação e nos fluxos de calor sensível e calor latente em Ji-Paraná, Rondônia. Viçosa. 51 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1996.

ROERINK, G. J.; SU, Z.; MENENTI, M. A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, v. 25, p. 147-157, 2000.

SALATI, E.; NOBRE, C. A. A possible climatic impacts of tropical deforestation. *Climatic Change*, v. 19, n. 1-2, p. 177-196, Set. 1990. SANTOS, J. R.; SHIMABUKURO, Y. D. O sensoriamento remoto como indicador das fenofases dos cerrados brasileiros: estudo de caso com dados AVHRR/NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, maio 10-14, 1993. Anais. São José dos Campos: INPE, 1993. v. 2, p.249-257.

SANTOS, C. A. C. 2009. Estimativa da evapotranspiração real diária através de análises micrometeorológicas e de sensoriamento remoto. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba. 134pp.

SELLERS, P. J.; RASOOL, S. I.; BOLLE, H. –J. A Review of Satellite Data Algorithms for Studies of the Land Surface. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v.71, n. 10, p. 1429-1447, Oct. 1990.

SENOGRAFIA – SENSORIAMENTO REMOTO LTDA. Disponível em: <http://www.senografia.com.br>. Acesso: 11/10/10.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C; LLOYD, C.R.; ROBERTS, J.M.; MARQUES, A. de O.; FISCH, G.; SILVA, P. de; RIBEIRO, M.N.G.; 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. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, v. 110, p. 1163-1169, 1991.

SHUTTLEWORTH, W.J.; GASH, J.H.C; LLOYD, C.R.; MOORE, C. J.; ROBERTS, J.M.; MARQUES, A. de O.; FISCH, G.; SILVA, V. P. de; RIBEIRO, M.N.G.; 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. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, v. 110, p. 1163-1169, 1984b.

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

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

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM - Landsat 5. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 14, p. 1-10, 2006.

SILVA, M. T.; MARIANO, E. B.; PAULA, R. K. O.; SILVA, P. K. O. Balanço de radiação à superfície na região de Gilbués-PI, utilizando imagens do TM/Landsat 5. Anais XIV

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1031-1038.

SILVA, A. P. N.; VILLAR, A. C.; GUSMÃO, L.; GOMES, N. V.; SILVA, B. B.; MOURA, G. B. A. Anais XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém, Brasil, 13-17 setembro 2010.

SOUZA, J. M. 2004. Estimativas das componentes do Balanço Radiativo à Superfície mediante satélites meteorológicos. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo. 193pp.

SWINBANK, W. C. Long-wave radiation from clear skies. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, London, v. 89, p. 339-348, 1963.

TASUMI, M. Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery. PhD thesis, Dept. Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho. Idaho, 2003.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, p. 462-476, 2009a.

TEIXEIRA, A. H. C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; AHMAD, M. D.; BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part B: Application to the regional scale. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 149, p. 477-490, 2009b.

TIMMERMANS, W. J.; MEIJERINK, A. M. J. Remotely sensed actual evapotranspiration: implications for groundwater in Botswana. *JAG*. v. 1. issue ¾. 1999.

VOLDOIRE, A.; ROYER, J. F. Tropical deforestation and climate variability. *Climate Dynamics*, v. 22, p. 857-874, 2004.

VON RANDOW, C.; MANZI, A. O.; KRUIJT, B.; OLIVEIRA, P. J.; ZANCHI, F. V.; 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*. p. 1-22, 2004.

WANG, J.; SAMMIS, T. W.; GUTSCHICK, V. P.; MILLER, D. R. Sensitivity analysis of the surface energy balance algorithm for land (SEBAL). *American Society of Agricultural and Biological Engineers* ISSN 0001-2351. Vol. 52(3): 801-811, 2009.

WANG, J.; SAMMIS, C. A.; MEIER, L.; SIMMONS, D. R.; SAMANI, Z. A Modified Sebal Model for Spatially Estimating Pecan Consumptive Water Use for Las Cruces, New Mexico. Disponível em: <http://ams.cofex.com/ams/pdfpapers/92012.pdf>. Acesso em: 12 de Outubro de 2010.

WUKELIC, G. E.; GIBBONS, D. E.; MARTUCCI, L. M. AND FOOTE, H. P. Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Thermal Band. Department of Energy by Battelle Memorial Institute. 1989.