

RICARDO GUIMARÃES ANDRADE

APLICAÇÃO DO ALGORITMO SEBAL NA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DA BIOMASSA ACUMULADA DA CANA-DE-
AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade Federal
de Viçosa, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Meteorologia
Agrícola, para obtenção do título de “Doctor
Scientiae”

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

A553a
2008

Andrade, Ricardo Guimarães, 1976-
Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da
evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-
de-açúcar / Ricardo Guimarães Andrade. – Viçosa, MG,
2008.

xxvii, 135f.: il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 115-124.

1. Meteorologia agrícola. 2. Evapotranspiração.
3. Recursos hídricos - Desenvolvimento - Aspectos
ambientais. 4. Cana-de-açúcar. 5. Biomassa vegetal.
6. Sensoriamento remoto. 7. Sistemas de informação
geográfica. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

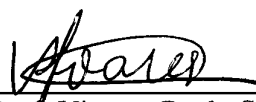
CDD 22.ed. 630.2515

RICARDO GUIMARÃES ANDRADE

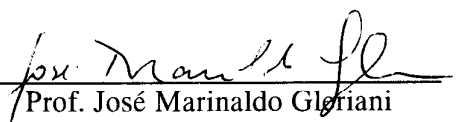
APLICAÇÃO DO ALGORITMO SEBAL NA ESTIMATIVA DA
EVAPOTRANSPIRAÇÃO E DA BIOMASSA ACUMULADA
DA CANA-DE-AÇÚCAR

Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Programa de Pós-
Graduação em Meteorologia
Agrícola, para obtenção do título de
Doctor Scientiae.

APROVADA: 27 de junho de 2008.



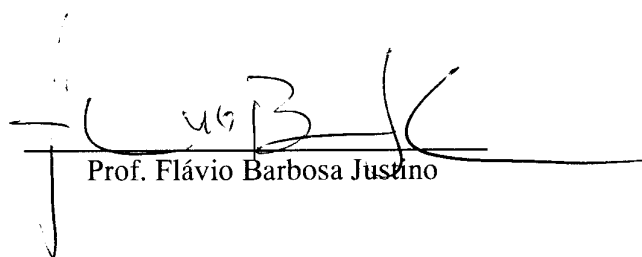
Prof. Vicente Paulo Soares
(Co-Orientador)



Prof. José Marinaldo Gloriani
(Co-Orientador)



Prof. Edvaldo Fialho dos Reis



Prof. Flávio Barbosa Justino



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Orientador)

À minha esposa, Cristiana,

Aos meus pais, Benedito (*in memoriam*) e Marly,

Aos meus irmãos,

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que está sobre todas as coisas.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

À Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais, FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela concessão da bolsa de doutorado nos dois primeiros anos de realização da pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, CNPq, pela concessão de bolsa de doutorado nos dois últimos anos da pesquisa.

À minha família, principalmente aos meus pais, pelo amor e pelo apoio e estímulo constantes.

Ao Grupo Ma Shou Tao, pela atenção e pelas informações concedidas.

Ao professor Gilberto C. Sedyama, pela valiosa orientação e pela amizade.

Ao professor Bernardo Barbosa da Silva, pelos constantes esclarecimentos relacionados a utilização do SEBAL.

Aos professores Vicente Paulo Soares, José Marinaldo Gleriani, Francisco de Assis Carvalho Pinto, pelas sugestões e ensinamentos.

Aos demais professores e funcionários do programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola.

Ao Evaldo, Rafael, André, Sady, Alexandro, Jonathas e demais colegas, pela ajuda e convivência amigável.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

RICARDO GUIMARÃES ANDRADE, filho de Benedito de Oliveira Andrade e Marly Guimarães Andrade, nasceu em 18 de fevereiro de 1976, em Belo Horizonte, Estado de Minas Gerais.

Em maio de 2002, concluiu o Curso de Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - MG.

Em abril de 2004, concluiu o Curso de Pós-Graduação, a nível de Mestrado, em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

Em agosto de 2004, iniciou o Curso de Pós-Graduação, a nível de Doutorado, em Meteorologia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em junho de 2008.

CONTEÚDO

| | |
|---|-------------|
| LISTA DE QUADROS..... | viii |
| LISTA DE FIGURAS..... | xii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | xx |
| RESUMO..... | xxiv |
| ABSTRACT | xxvi |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| <i>1.2 Objetivos</i> | <i>3</i> |
| <i>1.3 Hipótese</i> | <i>4</i> |
| 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 5 |
| <i>2.1 A cultura da cana-de-açúcar e sua importância para o agronegócio brasileiro .5</i> | |
| 2.1.1 Complexo sucroalcooleiro | 7 |
| 2.2. <i>Sensoriamento Remoto</i> | 8 |
| 2.2.1 Interação da radiação eletromagnética com os alvos | 9 |
| 2.2.1.2 Fatores intrínsecos à vegetação | 13 |
| 2.2.1.2.1 Interação da REM com a folha | 13 |
| 2.2.1.2.2 Interação da REM com o dossel | 17 |
| 2.2.1.3 Fatores intrínsecos ao solo | 17 |
| 2.2.1.4 Interação da REM com a água | 20 |

| | |
|---|------------|
| 2.2.2 Aplicações do sensoriamento remoto | 22 |
| 2.2.2.1 Algoritmo SEBAL..... | 23 |
| 2.2.3 Sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat 5 | 28 |
| 2.2.4 Sensor MODIS | 31 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 34 |
| 3.1 <i>Área de estudo</i> | 34 |
| 3.1 <i>Dados Meteorológicos</i> | 36 |
| 3.2 <i>Informações da cultura da cana-de-açúcar</i> | 37 |
| 3.2.1 Tratos culturais..... | 40 |
| 3.3 <i>Imagens de satélite</i> | 41 |
| 3.4 <i>Algoritmo SEBAL</i> | 42 |
| 3.4.1 Aplicação do SEBAL com imagens TM-Landsat 5 | 43 |
| 3.4.2 Aplicação do SEBAL com imagens MODIS - Terra..... | 58 |
| 3.5 <i>Obtenção da evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c)</i> | 60 |
| 3.6 <i>Análises estatísticas</i> | 60 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 62 |
| 4.1 <i>Imagens TM-Landsat 5</i> | 62 |
| 4.1.1 Albedo | 68 |
| 4.1.2 Temperatura da Superfície | 73 |
| 4.1.3 Saldo de Radiação | 79 |
| 4.1.4 Fluxo de Calor no Solo | 84 |
| 4.1.5 Fluxo de Calor Sensível | 88 |
| 4.1.6 Fluxo de Calor Latente..... | 92 |
| 4.1.7 Evapotranspiração | 96 |
| 4.1.8 Biomassa | 104 |
| 4.2 <i>Imagens MODIS-Terra</i> | 107 |
| 5. RESUMOS E CONCLUSÕES | 112 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 115 |
| Apêndice | 125 |

LISTA DE QUADROS

| | | Pág. |
|----------|--|------|
| Quadro 1 | Características orbitais do satélite Landsat 5..... | 29 |
| Quadro 2 | Apresentação das bandas do sensor TM do Landsat 5 com seus respectivos intervalos espectrais e suas principais características e aplicações..... | 30 |
| Quadro 3 | Características gerais do sensor MODIS..... | 32 |
| Quadro 4 | Apresentação das bandas espectrais juntamente com informações de uso primário, resolução espectral, espacial, temporal e faixa imageada pelo sensor MODIS..... | 33 |
| Quadro 5 | Dados do ciclo, variedade e área de cada talhão das glebas A1, A2, A4, A5, E1 e Pivô..... | 39 |
| Quadro 6 | Datas de aquisição das imagens do sensor TM do Landsat 5, base/ponto, formato dos arquivos e mídia de gravação dos dados processados pelo INPE..... | 41 |
| Quadro 7 | Datas de aquisição dos produtos do sensor MODIS com o respectivo formato de arquivo..... | 42 |
| Quadro 8 | Descrição das bandas do TM - Landsat 5, apresentando os coeficientes de calibração (Lmin e Lmax) após 5 de maio de 2003..... | 44 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Quadro 9 | Valores de albedo (α), índices de vegetação (NDVI e SAVI), emissividades (ϵ_o), parâmetro de rugosidade (z_{om}), velocidade de fricção (u_*) e resistência aerodinâmica (r_{ah}) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem TM Landsat 5, em determinadas datas, na área da fazenda Boa Fé, Conquista, MG..... | 63 |
| Quadro 10 | Valores de temperatura da superfície (T_s), radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$), saldo de radiação (R_n), fluxos de calor no solo (G), sensível (H) e latente (LE) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem TM Landsat 5, em determinadas datas, na área da fazenda Boa Fé, Conquista, MG..... | 64 |
| Quadro 11 | Análises estatísticas de concordância de Willmott (d), erro absoluto médio (EAM), erro padrão de estimativa (EPE) e raiz do erro quadrático médio (REQM) para os dados de produção de biomassa da cana-de-açúcar da fazenda Boa Fé nas glebas A1, A4, A5, E1, Pivô e para todos os dados juntos..... | 107 |
| Quadro 12 | Valores de albedo (α), índices de vegetação (NDVI e SAVI), emissividades (ϵ_o), parâmetro de rugosidade (z_{om}), velocidade de fricção (u_*) e resistência aerodinâmica (r_{ah}) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem MODIS-Terra, nos meses de fevereiro a dezembro de 2005..... | 108 |
| Quadro 13 | Valores de temperatura da superfície (T_s), radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$), saldo de radiação (R_n), fluxos de calor no solo (G), sensível (H) e latente (LE) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem MODIS-Terra, nos meses de fevereiro a dezembro de 2005..... | 109 |
| Quadro 14 | Processo iterativo do dia 14/08/2004 (Imagem TM-Landsat 5)... | 126 |
| Quadro 15 | Processo iterativo do dia 30/08/2004 (Imagem TM-Landsat 5)... | 126 |
| Quadro 16 | Processo iterativo do dia 22/02/2005 (Imagem TM-Landsat 5)... | 126 |
| Quadro 17 | Processo iterativo do dia 11/04/2005 (Imagem TM-Landsat 5)... | 126 |
| Quadro 18 | Processo iterativo do dia 14/06/2005 (Imagem TM-Landsat 5)... | 127 |
| Quadro 19 | Processo iterativo do dia 01/08/2005 (Imagem TM-Landsat 5)... | 127 |
| Quadro 20 | Processo iterativo do dia 24/01/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 127 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Quadro 21 | Processo iterativo do dia 14/04/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 127 |
| Quadro 22 | Processo iterativo do dia 30/04/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 128 |
| Quadro 23 | Processo iterativo do dia 16/05/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 128 |
| Quadro 24 | Processo iterativo do dia 01/06/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 128 |
| Quadro 25 | Processo iterativo do dia 17/06/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 128 |
| Quadro 26 | Processo iterativo do dia 03/07/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 129 |
| Quadro 27 | Processo iterativo do dia 19/07/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 129 |
| Quadro 28 | Processo iterativo do dia 04/08/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 129 |
| Quadro 29 | Processo iterativo do dia 05/09/2006 (Imagem TM-Landsat 5)... | 129 |
| Quadro 30 | Processo iterativo do dia 17/04/2007 (Imagem TM-Landsat 5)... | 130 |
| Quadro 31 | Processo iterativo do dia 03/05/2007 (Imagem TM-Landsat 5)... | 130 |
| Quadro 32 | Processo iterativo do dia 04/06/2007 (Imagem TM-Landsat 5)... | 130 |
| Quadro 33 | Processo iterativo do dia 20/06/2007 (Imagem TM-Landsat 5)... | 131 |
| Quadro 34 | Processo iterativo do dia 06/07/2007 (Imagem TM-Landsat 5)... | 131 |
| Quadro 35 | Processo iterativo do dia 07/08/2007 (Imagem TM-Landsat 5)... | 131 |
| Quadro 36 | Processo iterativo do dia 09/02/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 131 |
| Quadro 37 | Processo iterativo do dia 23/02/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 131 |
| Quadro 38 | Processo iterativo do dia 06/03/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 132 |
| Quadro 39 | Processo iterativo do dia 05/04/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 132 |
| Quadro 40 | Processo iterativo do dia 12/04/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 132 |
| Quadro 41 | Processo iterativo do dia 05/05/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 132 |
| Quadro 42 | Processo iterativo do dia 16/05/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 133 |
| Quadro 43 | Processo iterativo do dia 08/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 133 |
| Quadro 44 | Processo iterativo do dia 10/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 133 |
| Quadro 45 | Processo iterativo do dia 17/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 133 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Quadro 46 | Processo iterativo do dia 25/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 133 |
| Quadro 47 | Processo iterativo do dia 13/07/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 134 |
| Quadro 48 | Processo iterativo do dia 02/08/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 134 |
| Quadro 49 | Processo iterativo do dia 14/08/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 134 |
| Quadro 50 | Processo iterativo do dia 08/09/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 134 |
| Quadro 51 | Processo iterativo do dia 21/09/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 135 |
| Quadro 52 | Processo iterativo do dia 08/10/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 135 |
| Quadro 53 | Processo iterativo do dia 24/12/2005 (Imagem MODIS-Terra)... | 135 |

LISTA DE FIGURAS

| | | Pág. |
|----------|---|------|
| Figura 1 | Produção mundial de etanol. Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni, http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/etanol.htm , acesso em 27 de março de 2008..... | 7 |
| Figura 2 | Espectro de radiação eletromagnética. Fonte: LEB (2008)..... | 9 |
| Figura 3 | Interações básicas entre a radiação eletromagnética (energia) e a superfície de um corpo d'água. Adaptado de Lillesand e Kiefer (1987)..... | 10 |
| Figura 4 | Curvas de Reflectância Espectral de alguns materiais. Fonte: LEB (2008)..... | 11 |
| Figura 5 | Fatores que influenciam a resposta espectral dos dosséis. Fonte: Moreira (2000)..... | 12 |
| Figura 6 | Curva de reflectância típica de uma folha verde. Fonte: Fonte: Adaptado de Novo (1992)..... | 13 |
| Figura 7 | (a) Efeito na reflectância do infravermelho próximo devido a substituição de ar por líquido no interior das folhas de algodão, (b) Corte transversal da folha apresentando os possíveis caminhos da radiação na faixa do infravermelho próximo. Fonte: Adaptado de Gausman (1974) e NAS (1970)..... | 14 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 8 | (a) Reflectância de folhas de citrus jovens e maduras, (b) Curvas da reflectância espectral, obtidas em folhas de milho com diferentes conteúdos de água. Fonte: Adaptado de Gausman (1974) e Moreira (2005)..... | 15 |
| Figura 9 | Efeito da deficiência de nitrogênio na reflectância das folhas de “sweet pepper”(pimentão doce). Fonte: Adaptado de NAS (1970)..... | 16 |
| Figura 10 | Comportamento de quatro dosséis vegetais com diferentes quantidades de folhas verdes. Fonte: Kuntschik (2004)..... | 17 |
| Figura 11 | Curva de reflectância espectral do solo exposto e seco. Adaptado de Lillesand e Kiefer (2004)..... | 18 |
| Figura 12 | Relação entre o conteúdo de matéria orgânica e a reflectância. Adaptado de Hoffer (1978)..... | 20 |
| Figura 13 | Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos. (Adaptado de Novo, 1992)..... | 21 |
| Figura 14 | Localização e visualização da sede da fazenda Boa Fé, pertencente ao Grupo Ma Shou Tao. Fonte: Adaptado de Grupo Ma Shou Tao (2008)..... | 35 |
| Figura 15 | Precipitação média mensal (mm), temperatura média mensal (oC) e nebulosidade do município de Uberaba-MG, obtida de normais climatológicas (1961 a 1990) do Departamento Nacional de Meteorologia..... | 36 |
| Figura 16 | Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do município de Miguelópolis-SP. Fonte: CPTEC..... | 37 |
| Figura 17 | Imagem mostrando, especialmente, a localização dos municípios de Miguelópolis-SP, Uberaba-MG e da fazenda Boa Fé. Fonte: Google Earth..... | 37 |
| Figura 18 | Localização das glebas de plantio da cana-de-açúcar na fazenda Boa Fé, com os respectivos números de cada talhão..... | 38 |
| Figura 19 | (a) Cana-planta da gleba A1 (plantio em 25/10/2006, Variedade RB 86-7515), (b) Cana-planta da gleba A1 (plantio em 05/03/2007, Variedade RB 85-5453), (c) Cana-planta da gleba pivô (plantio em 10/08/2006, Variedade RB 86-7515), (d) Cana-planta da Gleba A2 (plantio 31/03/2007, Variedade RB 81-3250), (e) Cana-planta da Gleba A5 (plantio 24/04/2007, Variedade RB 85-5536), (f) Palhada da cana na Gleba A6..... | 40 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 20 | Fluxograma para estimativa do saldo de radiação. Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002)..... | 45 |
| Figura 21 | Fluxograma do processo iterativo para o cálculo do fluxo de calor sensível (H). Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002)..... | 55 |
| Figura 22 | Vizualização dos “Tiles” selecionados (a) e da janela principal do software MRT - Modis Reprojection Tool..... | 59 |
| Figura 23 | Valores de NDVI máximos, mínimos e médios obtidos de imagens do sensor TM do Landsat 5, para a área da fazenda Boa Fé em determinadas datas dos anos de 2004, 2005, 2006 e 2007.. | 65 |
| Figura 24 | Ilustração das glebas de plantio na fazenda Boa Fé, Conquista, MG..... | 66 |
| Figura 25 | Imagens do sensor TM do Landsat 5, na composição RGB das bandas 3,2,1, mostrando a delimitação da área da fazenda Boa Fé nos dias 14/08/2004 (a), 30/08/2004 (b), 22/02/2005 (c), 11/04/2005 (d), 14/06/2005 (e), 01/08/2005 (f), 24/01/2006 (g), 14/04/2006 (h), 30/04/2006 (i), 16/05/2006 (j), 01/06/2006 (l), 17/06/2006 (m), 03/07/2006 (n), 19/07/2006 (o), 04/08/2006 (p), 05/09/2006 (q)..... | 67 |
| Figura 26 | Imagens do sensor TM do Landsat 5, na composição RGB das bandas 3,2,1, mostrando a delimitação da área da fazenda Boa Fé nos dias 17/04/2007 (a), 03/05/2007 (b), 04/06/2007 (c), 20/06/2007 (d), 06/07/2007 (e), 07/08/2007 (f)..... | 68 |
| Figura 27 | Albedo máximo mínimo e médio da área da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007..... | 69 |
| Figura 28 | Albedo da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 71 |
| Figura 29 | Albedo da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 72 |
| Figura 30 | Albedo da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 73 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Figura 31 | Temperatura máxima, mínima e média da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007..... | 75 |
| Figura 32 | Temperatura (kelvin) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 76 |
| Figura 33 | Temperatura (kelvin) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 77 |
| Figura 34 | Temperatura (kelvin) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 78 |
| Figura 35 | Regressão linear entre a temperatura da superfície (T_s) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), levando em consideração 2792 pixels TM-Landsat 5 nos limites territoriais da fazenda Boa Fé..... | 79 |
| Figura 36 | Saldo de radiação máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007..... | 80 |
| Figura 37 | Saldo de radiação ($W\ m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 82 |
| Figura 38 | Saldo de radiação ($W\ m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 83 |
| Figura 39 | Saldo de radiação ($W\ m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 84 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Figura 40 | Fluxo de calor no solo máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007..... | 85 |
| Figura 41 | Fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 86 |
| Figura 42 | Fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 87 |
| Figura 43 | Fluxo de calor no solo ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 88 |
| Figura 44 | Fluxo de calor sensível máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007..... | 89 |
| Figura 45 | Fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 90 |
| Figura 46 | Fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 91 |
| Figura 47 | Fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 92 |
| Figura 48 | Fluxo de calor latente máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007..... | 93 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 49 | Fluxo de calor latente ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 94 |
| Figura 50 | Fluxo de calor latente ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 95 |
| Figura 51 | Fluxo de calor latente ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 96 |
| Figura 52 | Evapotranspiração diária ($mm d^{-1}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006..... | 98 |
| Figura 53 | Evapotranspiração diária ($mm d^{-1}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007..... | 99 |
| Figura 54 | Evapotranspiração diária ($mm d^{-1}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007..... | 100 |
| Figura 55 | Evapotranspiração de referência (ET _o) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba E1 (talhões 1, 2, 3, 4 e 7)..... | 101 |
| Figura 56 | Evapotranspiração de referência (ET _o) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba Pivô (talhões P1, P2 e P3)..... | 101 |

| | | |
|-----------|---|-----|
| Figura 57 | Evapotranspiração de referência (ET _o) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A1 (talhões 1 a 10)..... | 102 |
| Figura 58 | Evapotranspiração de referência (ET _o) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A2 (talhões 1 e 2)..... | 102 |
| Figura 59 | Evapotranspiração de referência (ET _o) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A4 (talhões 1 a 4)..... | 103 |
| Figura 60 | Evapotranspiração de referência (ET _o) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ET _c) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A5 (talhões 22, 23 e 24)..... | 103 |
| Figura 61 | Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba A1..... | 104 |
| Figura 62 | Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba A4..... | 105 |
| Figura 63 | Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba A5..... | 105 |
| Figura 64 | Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba E1..... | 106 |
| Figura 65 | Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba pivô..... | 106 |
| Figura 66 | Evapotranspiração diária (mm d ⁻¹) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor MODIS-Terra para as datas: (a) 09/02/2005, (b) 23/02/2005, (c) 06/03/2005, (d) 05/04/2005, (e) 12/04/2005, (f) 05/05/2005, (g) 16/05/2005, (h) 08/06/2005, (i) 10/06/2005..... | 110 |

| | | |
|-----------|--|-----|
| Figura 67 | Evapotranspiração diária (mm d^{-1}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor MODIS-Terra para as datas: (a) 17/06/2005, (b) 25/06/2005, (c) 13/07/2005, (d) 02/08/2005, (e) 14/08/2005, (f) 08/09/2005, (g) 21/09/2005, (h) 08/10/2005, (i) 24/12/2005..... | 111 |
|-----------|--|-----|

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-----------------------|--|
| LE | Fluxo de calor latente (W m^{-2}); |
| G | Fluxo de calor no solo (W m^{-2}); |
| H | Fluxo de calor sensível (W m^{-2}); |
| Rn | Saldo de radiação (W m^{-2}); |
| $R_{s\downarrow}$ | Radiação de onda curta incidente (Wm^{-2}); |
| $R_{L\downarrow}$ | Radiação de onda longa incidente (Wm^{-2}); |
| $R_{L\uparrow}$ | Radiação de onda longa emitida pela superfície (Wm^{-2}); |
| ND | Número digital; |
| $L_{\lambda i}$ | Radiância espectral ($\text{W m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$); |
| θ_z | Ângulo zenital solar (rad); |
| $E_{\lambda i}$ | Irradiância solar espectral no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$); |
| d_r | Distância relativa terra-sol (UA); |
| α_{TOA} | Albedo planetário ou albedo no topo da atmosfera (adimensional); |
| α | Albedo de superfície ou albedo corrigido (adimensional); |

| | |
|--------------------|---|
| L_{max} | Radiâncias espectrais máximas ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); |
| L_{min} | Radiâncias espectrais mínimas ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$); |
| $\rho_{\lambda i}$ | Reflectância espectral (adimensional); |
| α_p | Radiação solar refletida pela atmosfera (adimensional); |
| τ_{sw} | Transmissividade atmosférica (adimensional); |
| z_a | Altitude (m); |
| NDVI | <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> , índice de vegetação da diferença normalizada; |
| SAVI | <i>Soil Adjusted Vegetation Index</i> , índice de Vegetação Ajustado para o Solo; |
| IAF | Índice de Área Foliar (m^2 de folha/ m^2 de solo); |
| K_1 e K_2 | Constantes de calibração da banda termal do TM-Landsat 5; |
| ϵ_{NB} | Emissividade da superfície (adimensional) no domínio espectral da banda termal do TM-Landsat 5; |
| ϵ_0 | Emissividade da superfície (adimensional) na faixa do comprimento de onda de 6 μm a 14 μm ; |
| ϵ_a | Emissividade atmosférica (adimensional); |
| T_s | Temperatura da superfície (kelvin); |
| σ | Constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$); |
| G_{SC} | Constante solar ($1367 W m^{-2}$); |
| z_{om} inicial | Parâmetro de rugosidade inicial (m); |
| z_{om} | Parâmetro de rugosidade (m); |
| h | Altura média da vegetação (m); |
| u^* | Velocidade de fricção ($m s^{-1}$); |
| z_1 e z_2 | Alturas de 0,1 m e 2,0 m; |
| k | Constante de von Karman (0,41); |
| u_2 | Velocidade do vento ($m s^{-1}$) na altura (z_2) de 2,0 m; |

| | |
|----------------------------------|---|
| u_{100} | Velocidade do vento (m s^{-1}) na altura (z_{100}) de 100 m; |
| ρ | Densidade absoluta do ar ($1,15 \text{ kg m}^{-3}$); |
| c_p | Calor específico do ar ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$); |
| a, b | Coefficientes de correlação para obtenção de dT em cada pixel; |
| dT | Diferença de temperatura próxima à superfície ($^{\circ}\text{C}$); |
| g | Constante gravitacional ($9,81 \text{ m s}^{-2}$); |
| r_{ah} | Resistência aerodinâmica ao transporte de calor (s m^{-1}); |
| L | Comprimento de Monin-Obukov (m); |
| ψ_h | Transporte de calor (adimensional); |
| ψ_m | Transporte de momentum (adimensional); |
| λ | Fração evaporativa (adimensional); |
| $ET_{\text{diário}}$ | Evapotranspiração diária (mm h^{-1}); |
| $K_{\text{diário}}^{\downarrow}$ | Radiação solar global integrada para um período 24 h (W m^{-2}); |
| $L_{\text{diário}}^{\downarrow}$ | Balanço diário de radiação de onda longa (W m^{-2}); |
| e_a | Pressão parcial de vapor (mm bar); |
| T_a | Temperatura do ar (kelvin); |
| PAR | Radiação fotossinteticamente ativa (W m^{-2}); |
| APAR | Radiação PAR absorvida pelo dossel vegetal (W m^{-2}); |
| FPAR | Fração da radiação PAR absorvida pelo dossel das plantas (W m^{-2}); |
| T_1 | Fator que descreve os efeitos que surgem devido ao ar frio (adimensional); |
| T_2 | Fator de redução da eficiência do uso da radiação devido ao ar quente (adimensional); |
| T_{opt} | Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$); |
| T_{mon} | Temperatura do ar média mensal ($^{\circ}\text{C}$); |
| W | Disponibilidade hídrica (adimensional); |

| | |
|-----------------|--|
| ε | Eficiência do uso da radiação (g MJ^{-1}); |
| ε^* | Máxima eficiência do uso da radiação (g MJ^{-1}); |
| ET_c | Evapotranspiração da cultura (mm d^{-1}); |
| ET (Sebal) | Evapotranspiração real da cultura obtida por meio do Sebal (mm d^{-1}); |
| ET_0 | Evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); |
| Bio_{total} | Biomassa total acumulada (kg m^{-2}); |
| I_c | Índice de colheita (adimensional); |
| Y_c | Produtividade da cultura (kg m^{-2}); |
| d | Coefficiente de concordância de Willmott; |
| EAM | Erro absoluto médio; |
| EPE | Erro padrão de estimativa; |
| REQM | Raiz do erro quadrático médio; |
| P_i | Iésimo valor estimado; |
| O_i | Iésimo valor observado; |
| O | Valor médio observado; |
| N | Número de dados analisados; |
| GMT | “Greenwich Mean Time”, Tempo Médio de Greenwich. |

RESUMO

ANDRADE, Ricardo Guimarães, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2008. **Aplicação do algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada da cana-de-açúcar.** Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Co-orientadores: Vicente Paulo Soares, José Marinaldo Gleriani e Francisco de Assis Carvalho Pinto.

A crescente pressão sobre os recursos hídricos requer cada vez mais o conhecimento de onde, quando e como a água está sendo utilizada. É fundamental, portanto, conhecer a demanda evapotranspirométrica regional, uma vez que, a evapotranspiração (ET) representa, aproximadamente, 75% do total da precipitação que ocorre sobre superfícies continentais. Entretanto, a ET é altamente variável no tempo e no espaço. Essas informações geralmente revelam aspectos indispensáveis no planejamento e manejo de recursos hídricos, principalmente em locais onde a produção agrícola irrigada representa uma grande porcentagem da economia regional. Nesse sentido, metodologias que utilizam técnicas de sensoriamento remoto se destacam pela capacidade de cobertura em áreas extensas. Nesse estudo, imagens orbitais dos sensores MODIS-Terra e TM-Landsat 5 foram utilizadas para aplicação do *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) na obtenção dos fluxos de energia à superfície, e por conseguinte, na determinação da ET e da produção de

biomassa da cana-de-açúcar na fazenda Boa Fé, localizada no Triângulo Mineiro, mais especificamente no município de Conquista, Minas Gerais. Os resultados obtidos demonstraram que o algoritmo SEBAL teve bom desempenho em escala regional na estimativa dos fluxos de energia e produção de biomassa da cultura da cana-de-açúcar, com potenciais para ser aplicado em áreas onde a disponibilidade de dados meteorológicos são limitantes.

ABSTRACT

ANDRADE, Ricardo Guimarães, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2008.
Application of SEBAL to estimate evapotranspiration rate and biomass accumulation for sugarcane. Adviser: Gilberto C. Sedyama. Co-Advisers: Vicente Paulo Soares, José Marinaldo Gleriani and Francisco de Assis Carvalho Pinto.

The growing demand for water resources requires the knowledge of where, when and how water is being utilized. It is, therefore, fundamental to understand and determine the regional water evapotranspirometric demand, since evapotranspiration (ET) accounts for, approximately, 75% of the total rainfall occurring on the continental surfaces. ET is highly dependent on and variable in time and space. Such information generally reveals important aspects for water resources planning and management, mainly in places where irrigated agricultural production accounts for a large percentage of the regional economy. Thus, methodologies using remote sensing stand out for their capabilities to cover extensive areas. This study utilized orbital images of MODIS-Terra and TM-Landsat 5 sensors to apply the *Surface Energy Balance Algorithm for Land* (SEBAL) for obtaining the energy fluxes on the surface and consequently to determine the ET rates and sugarcane biomass production at *Boa Fé Farm*, located at the *Triângulo Mineiro* municipality of *Conquista, Minas Gerais*. The

results obtained showed that SEBAL has shown a good performance at regional scale in estimating the energy fluxes and biomass production of sugarcane plantation, with potential to be applied in areas with limiting availability of meteorological data.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia e Austrália. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra 2006/2007 foi de 474,8 milhões de toneladas. E, estima-se que a safra 2007/2008 terá aumento de 11,2 %. No ano de 2007 foram plantados 6,6 milhões de hectares de cana-de-açúcar e a tendência nos próximos anos é de expansão das fronteiras de plantios, devido aos incentivos do governo para a produção de combustíveis renováveis e menos poluentes.

No entanto, o aumento da demanda hídrica em uma mesma bacia, não apenas pela maior área ocupada pelos canaviais, mas também por outras culturas e consumos diversos (residencial, industrial, comercial, etc.) pode ser fonte de conflitos no futuro, proporcionando limitações na produção. Assim, torna-se fundamental a otimização do consumo d'água, favorecendo o aumento da produção da cultura por unidade de água consumida, o que contribui para uma gestão equilibrada, observando os preceitos da sustentabilidade.

Uma vez que a evapotranspiração (ET) representa, aproximadamente, 75% do total precipitado sobre superfícies continentais (Costa, 1997), o seu monitoramento e mapeamento em escala regional permitem aos técnicos decidirem: (i) onde, quando e

quanto de água passou à atmosfera por ET; (ii) avaliar o comportamento e os efeitos do estresse hídrico das culturas; (iii) acompanhar melhor o desempenho de sistemas de irrigação; e (iv) auxiliar nas previsões climáticas. Porém, a ET é uma função complexa das propriedades do solo, das condições atmosféricas, do uso do solo, da vegetação e da topografia, sendo influenciada por estes parâmetros no espaço e no tempo. Assim, torna-se difícil estimá-la ou medi-la, representativamente, em escala regional (Compaoré et al. 2008).

Nesse sentido, tem crescido o número de pesquisas que empregam técnicas de sensoriamento remoto na identificação de áreas de cultivo, bem como, na estimativa de parâmetros biofísicos a serem utilizados em modelos de crescimento, produtividade, balanço hídrico, etc.

O algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) foi formulado por Bastiaanssen et al. (1998a) e possibilita a estimativa do fluxo de calor latente (LE) como um resíduo da equação clássica do balanço de energia. Ele é constituído, quase que totalmente, por parametrizações físicas bem estabelecidas e pouco complexas, sendo que do total de passos existentes, poucos são aqueles que envolvem parametrizações empíricas.

As características do SEBAL fazem dele uma opção promissora para a estimativa dos componentes do balanço de energia por sensoriamento remoto, possuindo a flexibilidade para que sejam acoplados outros modelos como o que foi desenvolvido por Monteith em 1972 para a estimativa da produção de biomassa das culturas.

Visto que a produção ou rendimento das culturas é um elemento fundamental do desenvolvimento rural e um indicador para segurança alimentar de um país, o monitoramento do crescimento da cultura e a avaliação das relações entre o acúmulo de biomassa e processos hidrológicos são essenciais no sentido de se obter um manejo otimizado dos recursos hídricos. Além disso, a previsão da produção agrícola alguns meses antes da colheita, pode ter importância relevante quando se trata do comércio e escoamento da produção, auxiliando na tomada de decisão e diminuindo os impactos negativos na economia.

A aplicação do SEBAL tem sido realizada extensivamente em regiões da Ásia, África, América do Norte e Europa, que possuem diferentes características climáticas, com resultados animadores. Entretanto, na América do Sul, existem relatos da utilização do SEBAL na Argentina, Venezuela e no Brasil. Contudo a aplicação desse algoritmo na América do Sul deve ser mais bem estudada, visto que ainda são poucos os resultados conclusivos na estimativa da evapotranspiração e da biomassa acumulada.

1.2 Objetivos

- Estimar os componentes do balanço de energia, e então, determinar a evapotranspiração diária e o acúmulo de biomassa da cana-de-açúcar por meio do algoritmo SEBAL e imagens do sensor TM - Landsat 5.
- Estimar a evapotranspiração diária por meio do algoritmo SEBAL e imagens do sensor MODIS;
- Comparar a evapotranspiração diária estimada por meio do algoritmo SEBAL e imagens do sensor TM - Landsat 5 com a evapotranspiração diária estimada por meio do modelo de Penman-Monteith.

1.3 Hipótese

- É possível obter a evapotranspiração e a biomassa em escala regional com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e o algoritmo SEBAL, de forma a contribuir significativamente para a gestão dos recursos hídricos e estimativa da produtividade da cana-de-açúcar em locais onde a disponibilidade de dados meteorológicos são limitantes.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A cultura da cana-de-açúcar e sua importância para o agronegócio brasileiro

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) é uma gramínea semi-perene pertencente à família *Poaceae* e que tem suas origens na Ásia, provavelmente na Nova Guiné. A maior parte da cana-de-açúcar comercial é produzida entre as latitudes 35°N e 30°S. A cultura desenvolve-se bem sob estação quente e longa com incidência de radiação alta e umidade relativa adequada, seguida de período seco, ensolarado e medianamente frio, porém sem geadas, durante a maturação e a colheita. A temperatura ótima ($T_{ótima}$) para a brotação (germinação) das gemas é de 32°C a 38°C. A $T_{ótima}$ para o crescimento otimizado está entre 22°C e 30°C. A temperatura mínima é de aproximadamente 20°C. Entretanto, para a maturação, são desejáveis temperaturas relativamente baixas, na faixa de 10°C a 20°C (Doorenbos & Kassan, 1979). Em temperaturas acima de 38°C a planta não cresce (Santos, 2001).

O ciclo evolutivo da cultura pode ser de 12 meses (cana de ano - CA) e 18 meses (cana de ano e meio - CAM) em cana-planta. Após o primeiro corte o ciclo passa a ser de 12 meses para todas as variedades. Podem ser feitos cinco ou mais

cortes, porém a cada ciclo deve-se investir significativamente em insumos e tratos culturais para manter a produtividade (Fortes, 2003).

A cana-de-açúcar desenvolve bem em solos arejados com mais de 1,0 m de profundidade, sendo que o enraizamento profundo pode chegar até 5,0 m. O lençol freático deve estar de 1,5 a 2,0 m da superfície e o pH ótimo do solo é em torno de 6,5, com possibilidades de desenvolvimento em solos com pH entre 5 e 8,5. Ela é uma cultura moderadamente sensível à salidade e possui grandes exigências de nitrogênio e potássio com baixa necessidade de fósforo. No amadurecimento, o teor de nitrogênio no solo deve ser menor para possibilitar boa recuperação de açúcar, principalmente quando o período de maturação é de clima úmido e quente (Doorenbos & Kassan, 1979).

Por ser uma planta com metabolismo C₄, o ponto de saturação de luz é elevado e varia dependendo da cultivar. A radiação solar afeta todos os estádios de desenvolvimento da cultura. Com isso, quando a cana-de-açúcar está submetida a baixas luminosidades os colmos apresentam-se finos e alongados e as plantas acumulam menos matéria seca (Lucchesi, 1995). Santos (2001) cita que a radiação solar, tanto em intensidade como em duração (fotoperíodo), é muito importante na fase de perfilhamento, por favorecer a produção de substâncias reguladoras do crescimento, e na fase de maturação, para enriquecer os colmos com sacarose. Fortes (2003) cita que a disposição vertical das folhas em relação ao colmo, e o alto índice de área foliar (área de folhas por área de solo), no qual pode chegar a 7, favorece o aumento da capacidade fotossintética, pois proporciona maior incidência da luz no dossel da cultura, que geralmente possui alta densidade populacional.

A disponibilidade de água no solo governa a produção vegetal, assim sua falta ou excesso afetam de maneira decisiva o desenvolvimento das plantas, pois alteram a absorção dos nutrientes e da própria água. Segundo Maule et al. (2001) a cana-de-açúcar apresenta elevado consumo de água, necessitando de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca na planta. Além disso, Delgado-Rojas e Barbieri (1999) citam que o valor da água prontamente disponível (APD) para cana-de-açúcar é de 68% da capacidade de água disponível (CAD).

2.1.1 Complexo sucroalcooleiro

O Brasil é o principal produtor e exportador mundial de cana-de-açúcar, seguido por Índia e Austrália. Segundo informações do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), o agronegócio brasileiro representou aproximadamente 34% do produto interno bruto (PIB), em 2007 as exportações deste setor totalizaram US\$ 58,415 bilhões, dos quais 11,3% são pertencentes ao complexo sucroalcooleiro. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra da cana-de-açúcar 2006/2007 foi de 474,8 milhões de toneladas, dos quais foram produzidos aproximadamente 30,2 milhões de toneladas de açúcar e 17,5 bilhões de litros de álcool. No ano de 2007 foram exportados aproximadamente 19,4 milhões de toneladas de açúcar e 3,6 bilhões de litros de álcool. Na Figura 1 tem-se a evolução da produção de etanol do ano de 1975 a 2005.

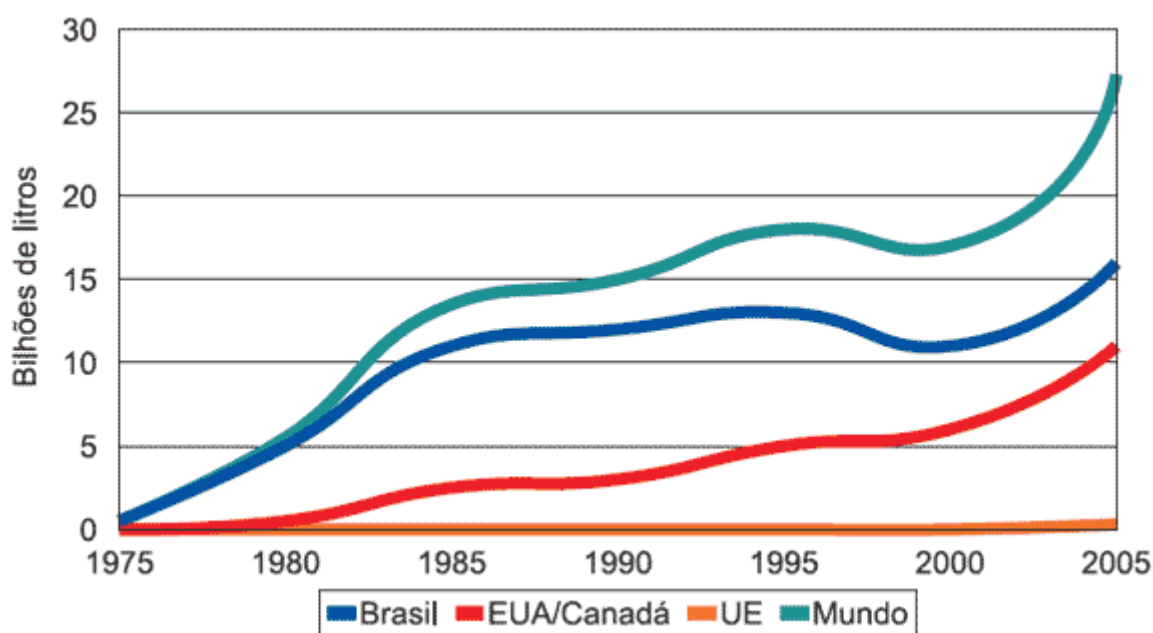


Figura 1 - Produção mundial de etanol. Fonte: Elaboração D. L. Gazzoni, <http://www.biodieselbr.com/energia/alcool/etanol.htm>, acesso em 27 de março de 2008.

A primeira estimativa da produção nacional da cana-de-açúcar realizada pela CONAB para a safra 2007/2008 é de 527,98 milhões de toneladas, superior à safra passada em 11,20% (53,18 milhões de toneladas). Desse total, 87,43% (461,63

milhões de toneladas) são produzidas na região Centro-Sul e 12,57% (66,34 milhões de toneladas) nas regiões Norte e Nordeste. A área atual ocupada com essa cultura é de 6,6 milhões de hectares, superior em 7,40% (456,9 mil hectares) à safra anterior. Desse total, 82,49% (5,46 milhões de hectares) são cultivados na região Centro-Sul e os 17,51% (1,16 milhões de hectares) restantes, nas regiões Norte e Nordeste.

O Estado de São Paulo é disparado o maior produtor de cana-de-açúcar, tendo produzido 59% da produção nacional (284,8 milhões de toneladas) na safra 2006/2007. No entanto, Estados como: Paraná, Minas Gerais, Alagoas, Pernambuco, entre outros, também merecem destaque.

Em Minas Gerais, o setor do agronegócio no ano de 2007 representou cerca de 31 % do PIB total do Estado. Nos últimos seis anos, a produção de cana-de-açúcar cresceu 90% e já representa 7% do PIB agrícola mineiro. Dados da CONAB revelam que na safra 2006/2007 foram produzidos 33,558 milhões de toneladas de cana-de-açúcar e estima-se que para a safra 2007/2008 sejam produzidos 40,962 milhões de toneladas, sendo 36,748 milhões de toneladas destinadas à indústria sucroalcooleira.

2.2. Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é definido como a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através da análise de dados obtidos por um aparelho que não esteja em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (Lillesand et al., 2004). As informações podem ser obtidas a nível terrestre, suborbital (aéreo) e orbital, de acordo com a distância entre o objeto de interesse e o sensor (Araújo, 2004).

A energia ou radiação eletromagnética (REM) é o elo de ligação entre os objetos da superfície terrestre e os sensores remotos. Moreira (2005) cita que existem diversas denominações para as REM, nas quais receberam nomes de natureza histórica ou decorrentes dos processos utilizados na sua produção ou determinação. O conjunto das frequências das REM conhecidas forma o espectro eletromagnético, o qual é ordenado em função do comprimento de onda e da frequência (Figura 2).

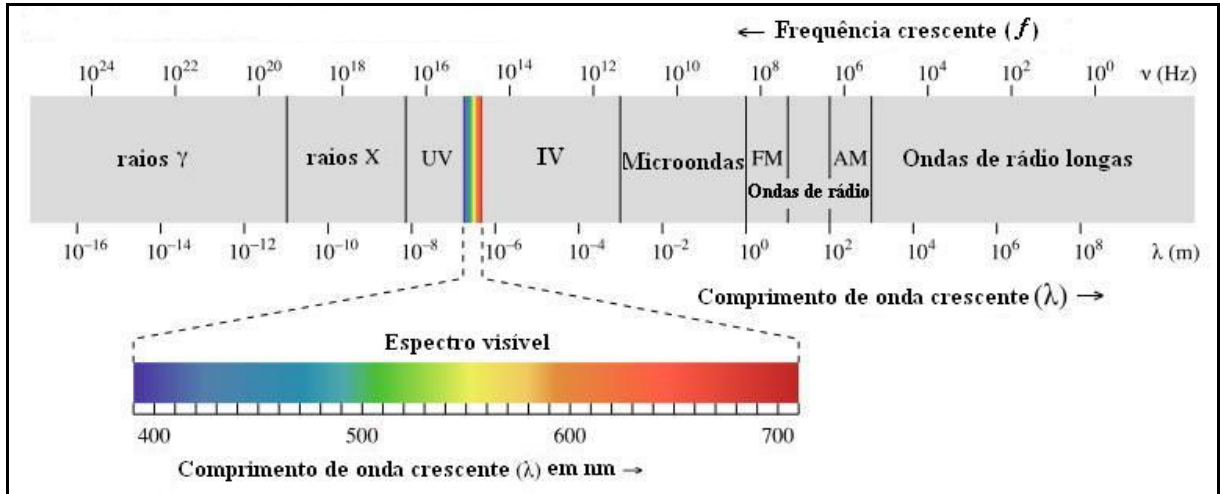


Figura 2 - Espectro de radiação eletromagnética. Fonte: LEB (2008).

2.2.1 Interação da radiação eletromagnética com os alvos

O entendimento de como se processa as interações entre a REM e os diversos alvos (vegetação, água, solos, etc.) constitui-se em requisito chave para a interpretação dos dados coletados pelos diferentes sensores (Alvarenga et al., 2003).

Quando a energia ou REM incide sobre uma dada feição na superfície da terra, três interações fundamentais da energia com a feição são possíveis. Isto pode ser ilustrado na Figura 3 por um elemento do volume de um corpo d'água. Frações variáveis da energia incidente no elemento são refletidas, absorvidas e, ou, transmitidas (Lillesand et al., 2004). Aplicando o princípio da conservação da energia, pode-se descrever a inter-relação entre estas três interações de energia como:

$$E_I(\lambda) = E_R(\lambda) + E_A(\lambda) + E_T(\lambda) \quad (3)$$

Em que, E_I é a energia incidente; E_R é a energia refletida; E_A é a energia absorvida; e E_T é a energia transmitida, sendo todos os componentes de energia, uma função do comprimento de onda (λ).

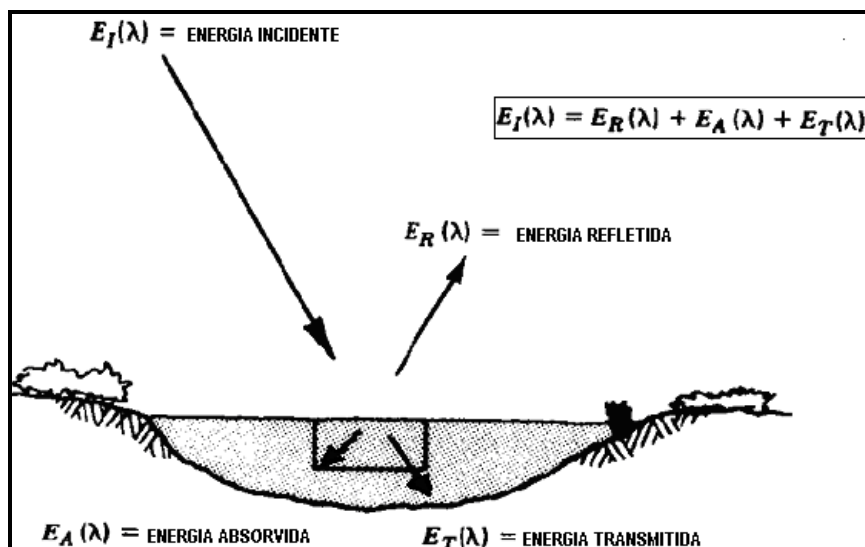


Figura 3 - Interações básicas entre a radiação eletromagnética (energia) e a superfície de um corpo d'água. Fonte: Adaptado de Lillesand et al. (2004).

Na maior parte dos trabalhos de sensoriamento remoto interessa apenas a resposta da interação da REM com o corpo na forma de reflexão, principalmente para os sensores que atuam nas regiões espectrais do visível, infravermelho próximo e médio (Lillesand et al., 2004). Daí, para se estudar um corpo, utiliza-se a equação anterior expressa da seguinte forma:

$$E_R(\lambda) = E_I(\lambda) - [E_A(\lambda) + E_T(\lambda)] \quad (4)$$

Para um dado comprimento de onda (λ) a razão entre a energia total refletida ($E_R(\lambda)$) e a incidente ($E_I(\lambda)$), expressa em porcentagem, é denominada “reflectância do corpo” ($r\lambda(\%)$), matematicamente:

$$r\lambda(\%) = \frac{E_R(\lambda)}{E_I(\lambda)} 100 \quad (5)$$

Para um mesmo corpo X e nas mesmas condições, a reflexão de cada comprimento de onda ocorre de forma quase constante. Daí, ser comum expressar as reflexões de diversos comprimentos de onda na forma de gráfico. Este tipo de gráfico é denominado de “gráfico de reflectância espectral de X” (Lillesand et al., 2004).

Neste tipo de gráfico o eixo das abscissas representa os comprimentos de onda (λ), geralmente em micrômetros (μm) e o eixo das ordenadas representa a reflectância percentual ($r\lambda \%$, definida anteriormente).

Como a curva de resposta espectral é muitas vezes função das características físicas e químicas de um corpo ou feição, permitindo sua identificação, alguns autores lhe dão também a denominação de “assinatura espectral” (Lillesand et al., 2004). Para comprimentos de onda maiores que $3,0 \mu\text{m}$ tais curvas são às vezes chamadas de curvas de emitância espectral de X, em virtude de estar representando a energia emitida pelo corpo, em lugar da energia refletida.

Embora seja verdade que muitas das feições terrestres apresentem curvas de reflectância (ou emitância) espectrais diferentes, é mais correto pensar-se em termos de um “padrão de resposta espectral” do que numa “assinatura espectral” para aquela feição. Isto porque a denominação “assinatura” implicaria na existência de uma curva absoluta e única para a mesma feição o que não é sempre verdadeiro. Na Figura 4 têm-se algumas curvas de reflectância espectrais de alguns alvos.

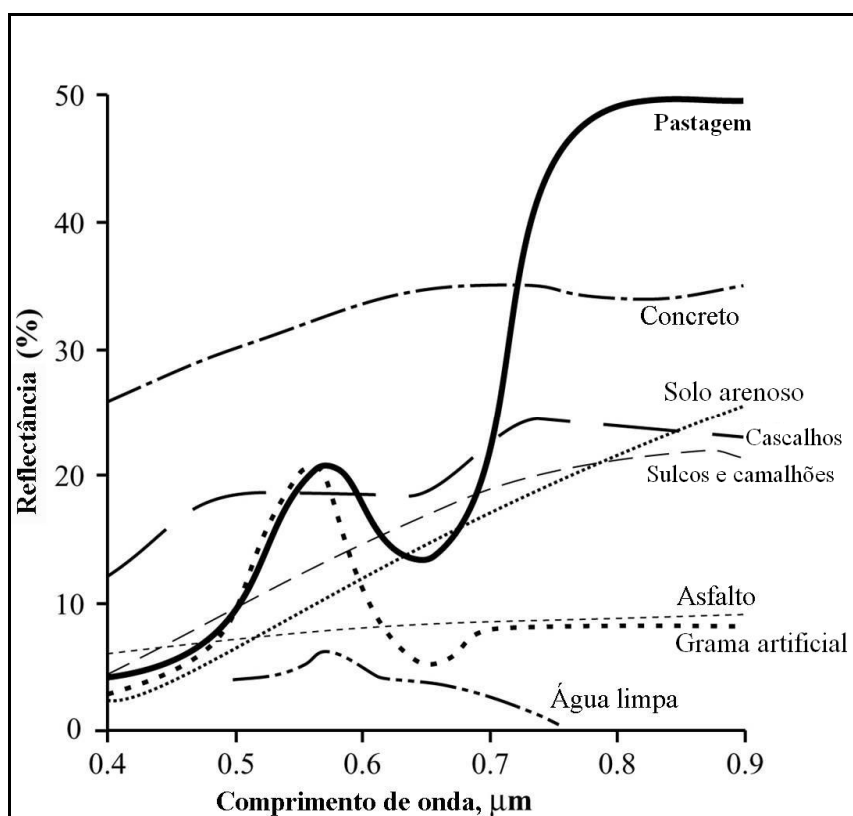


Figura 4 - Curvas de Reflectância Espectral de alguns materiais. Fonte: Liu (2007).

2.2.1.1 Fatores que influenciam na resposta espectral dos alvos

Existem inúmeros fatores que podem influenciar na resposta espectral dos alvos observados. Esses fatores podem ser separados em dois grupos: fatores relacionados com a superfície observada e fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados (Galvão et al., 1999), respectivamente, também conhecidos como fatores internos e externos.

Fatores relacionados com a superfície observada incluem os aspectos intrínsecos à vegetação (associados às características biofísicas das plantas) e, ou, ao solo, que influenciam as medições espectrais dos sensores. Fatores relacionados com o processo de obtenção dos dados envolvem: as características de construção do sensor, como a largura e o posicionamento das bandas e a calibração do equipamento; a geometria de iluminação do Sol e de visada do sensor e os efeitos atmosféricos como a absorção e o espalhamento (Figura 5).

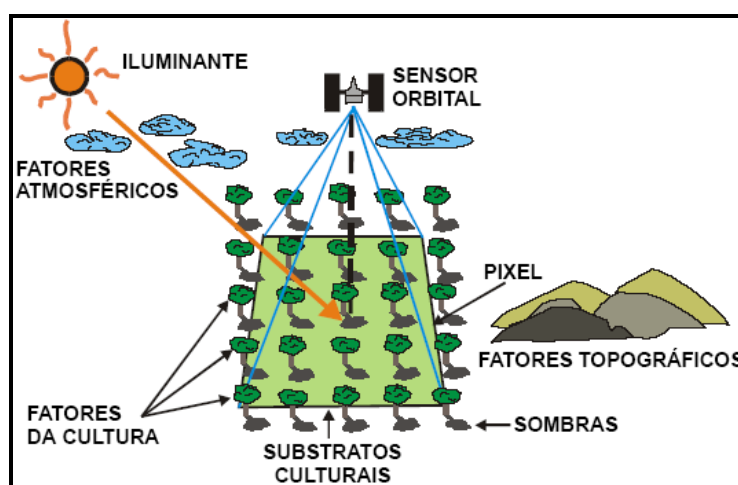


Figura 5 - Fatores que influenciam a resposta espectral dos dosséis. Fonte: Moreira (2000).

Verstraete et al. (1996) afirmam que o problema fundamental do sensoriamento remoto está no estabelecimento de até que ponto as medições de radiação feitas no espaço pode prover informações úteis, por exemplo, para a obtenção dos fluxos de energia, o estado e a produtividade das culturas agrícolas, entre outras aplicações dessa tecnologia.

2.2.1.2 Fatores intrínsecos à vegetação

2.2.1.2.1 Interação da REM com a folha

A interação da REM com a vegetação se dá principalmente nas folhas, órgãos vegetais altamente especializados na absorção da REM, onde ocorre o processo da fotossíntese.

A Figura 6 mostra a curva de reflectância média da vegetação na faixa de 0,3 a 2,5 μm .

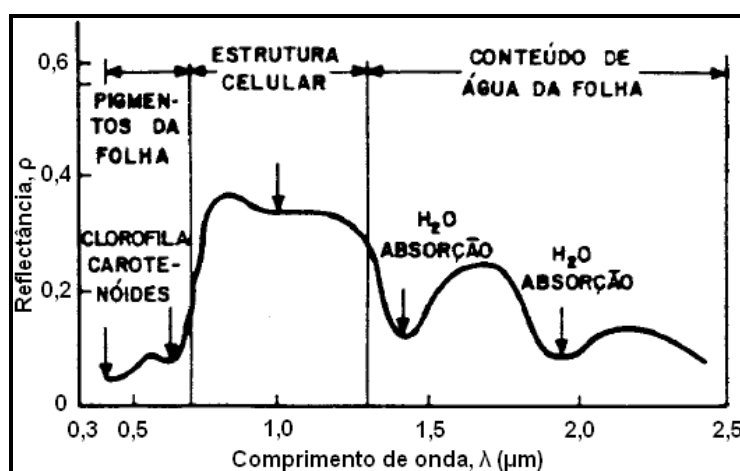


Figura 6 - Curva de reflectância típica de uma folha verde. Fonte: Adaptado de Novo (1992).

A faixa do espectro eletromagnético entre 0,4 e 0,7 μm (visível), correspondente à Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR). É utilizada pelas plantas nos processos fisiológicos de acúmulo de biomassa, sendo esta faixa do espectro caracterizada pela baixa reflectância e alta absorção pelos pigmentos da planta em 0,48 μm (carotenóides) e em 0,62 μm (clorofila). Em 0,56 μm há um pequeno aumento do coeficiente de reflectância, que é ocasionado pela reflexão da REM pelas clorofilas, sendo esta a reflectância responsável pela percepção da cor verde da vegetação. De 0,7 a 1,3 μm (infravermelho próximo), há um predomínio dos processos de reflexão e refrações múltiplas da radiação incidente, nesta faixa do espectro aproximadamente 45 a 50% da radiação solar que chega à superfície vegetal são refletidas, 45 a 50% são transmitidas, e pouco menos de 5% são absorvidas, sendo a estrutura interna das folhas o fator que controla este comportamento (Hoffer, 1978).

O espalhamento da radiação no infravermelho próximo (IVP) é utilizado como um processo de resfriamento da folha, evitando o acúmulo de energia no interior da mesma (Fonseca, 2004).

Gausman (1974) estudou em laboratório a reflectância das folhas (citrus, algodão, milho, espinafre, etc) na faixa do espectro eletromagnético de 0,75 μm a 1,35 μm . Seus resultados revelaram, que nesta faixa, a radiação é espalhada ou refletida pelas folhas por causa das discontinuidades do índice de refração da radiação. A descontinuidade mais importante ocorre devido a hidratação das paredes das células em espaços de ar intercelular. As descontinuidades do índice de refração entre os componentes celulares (membranas vs. citoplasmas), também podem influenciar na reflectância, no entanto, com menor significância.

A Figura 7a mostra o efeito da substituição dos espaços de ar por água e óleo de rícino (mamona) no interior das folhas de algodão (*Gossypium hirsutum* L.). A substituição do ar por líquidos (linhas pontilhadas) reduziram a reflectância quando comparada com folhas normais. Já a Figura 7b ilustra os possíveis caminhos para a interação da radiação com a folha na faixa do IVP.

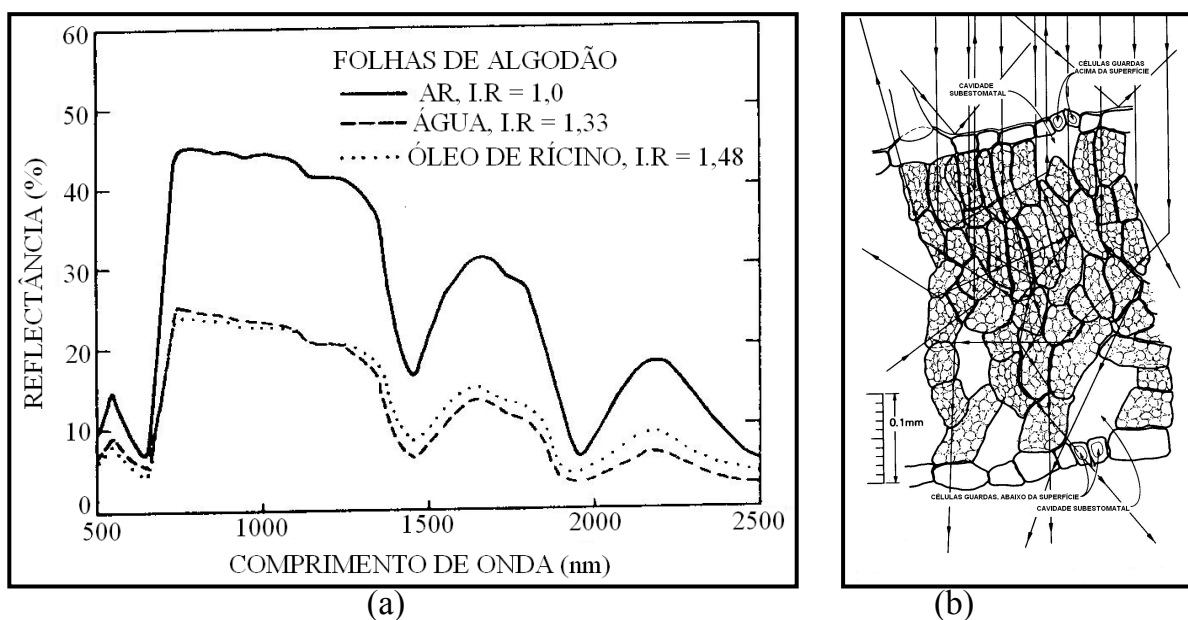


Figura 7 - (a) Efeito na reflectância do infravermelho próximo devido a substituição de ar por líquido no interior das folhas de algodão, (b) Corte transversal da folha apresentando os possíveis caminhos da radiação na faixa do infravermelho próximo. Fonte: Adaptado de Gausman (1974) e NAS (1970).

Na Figura 7b, uma pequena quantidade da radiação IVP é refletida das células da camada superficial; a maior parte é transmitida para o mesofilo esponjoso onde os raios incidem freqüentemente nas paredes celulares e são refletidos se os ângulos de incidência ficar suficientemente grandes. Geralmente, a transmitância é maior que a reflectância em folhas finas, entretanto, em folhas mais grossas a transmitância é substancialmente menor que a reflectância (NAS, 1970).

A idade das folhas é outro fator que afeta a reflectância. A influência da maturação da folha na reflectância e na transmitância está associada com a compactação da estrutura interna da folha. Folhas jovens possuem poucos espaços de ar, ao passo que as folhas maduras é esponjosa, ou seja, possui muitos espaços de ar em seu mesofilo (Gausman, 1974). Com isso, as folhas maduras absorvem 5% a mais na faixa do visível e refletem 15% a mais na faixa do IVP (Liu, 2007). Na Figura 8a tem-se a reflectância das folhas jovens e maduras das plantas de citrus.

Quando a planta está exposta a algum tipo de estresse ambiental, apresenta modificações nos mecanismos de captura da radiação. Como exemplo dessas modificações, tem-se na Figura 8b, para folhas de milho, a porcentagem refletida de acordo com o comprimento de onda e o conteúdo de água na folha. Observa-se que à medida que decresce o conteúdo de água na folha a curva de reflectância espectral se desloca para cima, indicando um aumento na porcentagem refletida.

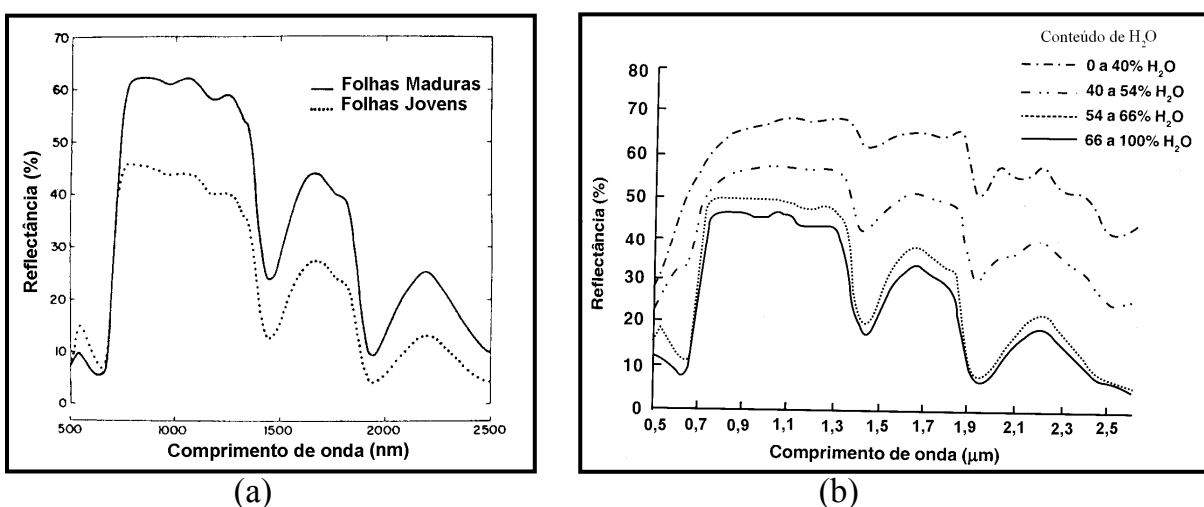


Figura 8 - (a) Reflectância de folhas de citrus jovens e maduras, (b) Curvas da reflectância espectral, obtidas em folhas de milho com diferentes conteúdos de água. Fonte: Adaptado de Gausman (1974) e Moreira (2005).

No infravermelho médio (1,3 a 2,4 μm) o comportamento espectral da folha é dominado pela forte absorção da água no interior dos tecidos da folha, que ocorre em 1,40 e 1,90 μm , enquanto que os picos de reflectância ocorrem aproximadamente em 1,6 e 2,2 μm . Com o aumento do conteúdo de água há um decréscimo da reflectância nesta região do espectro (Hoffer, 1978).

O poder reflectivo das folhas também pode ser alterado pelas deficiências de nutrientes. Segundo Moreira (2005), a deficiência de nutrientes na planta, em geral, é provocada pela escassez do solo em elementos essenciais a um bom desenvolvimento desta. Além disso, relata que a deficiência nutricional é o principal fator que induz a folha ao envelhecimento. Se a planta é submetida ao estresse nutricional, os nutrientes contidos nas folhas mais velhas deslocam-se para as mais novas, provocando a morte prematura das mais velhas. Na Figura 9, são apresentadas a reflectância das folhas de pimentão doce, nas quais exibem diferentes graus de deficiência de nitrogênio. As folhas com deficiência de nitrogênio contêm relativamente baixa clorofila; elas são geralmente menores e contêm mais água por unidade de matéria seca do que as folhas normais. A reflectância na faixa visível do espectro (0,4 a 0,7 μm) aumenta à medida que os sintomas da deficiência de nitrogênio tornam-se mais pronunciados. Isto está associado com o conteúdo de clorofila mais baixo das folhas deficientes em nitrogênio (NAS, 1970).

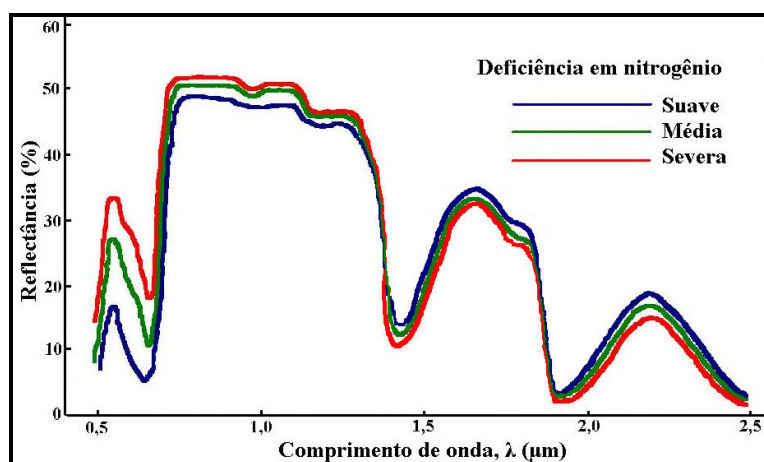


Figura 9 - Efeito da deficiência de nitrogênio na reflectância das folhas de “sweet pepper”(pimentão doce). Fonte: Adaptado de NAS (1970).

2.2.1.2.2 Interação da REM com o dossel

O dossel vegetativo é o conjunto de todas as copas da vegetação, numa determinada área, independentemente da espécie (Moreira, 2005). A refletividade do dossel pode ser alterada pela heterogeneidade, arquitetura (distribuição, densidade, orientação, formato e tamanho das folhas, altura da planta, diâmetro das copas), salinidade do solo, condição hídrica e nutricional, e pelo índice de área foliar (IAF).

Conforme representado na Figura 10, à medida que aumenta o IAF, a refletância na faixa do visível diminui, enquanto que no IVP aumenta. A linha azul escura exemplifica o comportamento espectral de um dossel com poucas folhas verdes. As linhas azul claro, verde e vermelho representam dosséis com quantidades cada vez maiores de folhas verdes.

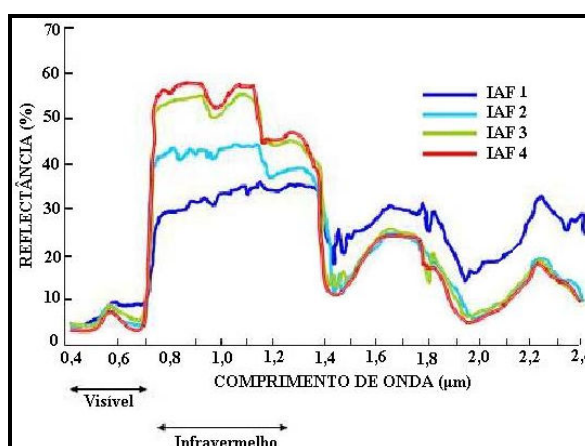


Figura 10 - Comportamento de quatro dosséis vegetais com diferentes quantidades de folhas verdes. Fonte: Kuntschik (2004).

A radiância medida por meio de sensores remotos sobre superfície de solos com vegetação é uma combinação de contribuições do solo e da vegetação. Quando parâmetros da vegetação são determinados por meio de medições no topo do dossel, devem ser desenvolvidos métodos para minimizar a contribuição do solo.

2.2.1.3 Fatores intrínsecos ao solo

O solo pode ser definido como um corpo natural da superfície terrestre cujas propriedades são devidas aos efeitos integrados do clima e dos organismos vivos

(plantas e animais) sobre o material de origem, condicionado pelo relevo durante um período de tempo. Os parâmetros do solo que influenciam a radiação refletida da superfície são vários, porém a literatura cita como mais importantes os óxidos de ferro, a umidade, a matéria orgânica, a granulometria, a mineralogia da argila e o material de origem (Moreira, 2005).

Primeiramente, de acordo com Lillesand et al. (2004), deve-se enfatizar que as interações da REM com o solo apenas ocorrem nas formas descritas, para solo nu, exposto, sem cobertura vegetal ou mesmo sem uma delgada lâmina d'água. De modo geral, isto é, para todos os solos, a reflectância espectral aumenta com o aumento do comprimento de onda, principalmente nas faixas espectrais do visível e do infravermelho próximo. Para os solos não ocorre a fração de radiação transmitida, ou seja, a REM incidente é toda refletida, e, ou absorvida. As principais causas condicionantes da reflectância espectral dos solos já são bastante conhecidas, sendo suas interrelações menos complexas que na vegetação. A Figura 11 mostra a curva do solo exposto e seco.

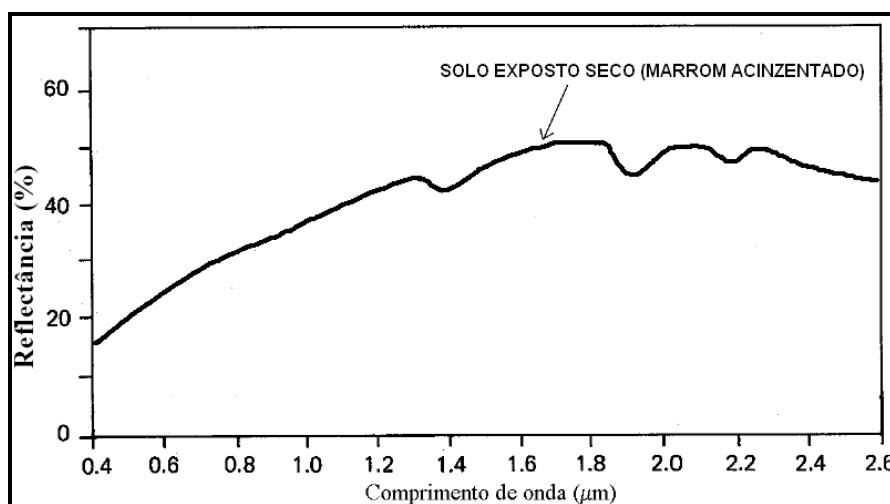


Figura 11 - Curva de reflectância espectral do solo exposto e seco. Adaptado de Lillesand et al. (2004).

A presença de umidade diminui a reflectância do solo. Da mesma forma que ocorre com a vegetação, esse efeito tem seu máximo nas bandas de absorção d'água de 1,4; 1,9 e 2,7 μm.

O conteúdo de umidade está fortemente relacionado à textura do solo. Solos pobres e arenosos normalmente possuem boa drenagem, resultando em baixo conteúdo de umidade e reflectância relativamente alta. Solos de textura fina e de drenagem precária geralmente apresentam baixa reflectância (Pereira, 1997). A textura (proporção de argila, silte e areia) interfere na reflectância em todos os comprimentos de onda, tanto devido sua influência na capacidade de retenção de água como pelo tamanho das partículas propriamente. Solos de textura mais fina, argiloso, possui maior área total de superfície, tendo, em consequência, maior poder de retenção de água do que um solo mais arenoso e, com isso reflete menos se estiver úmido. Mas, ao contrário, se um solo estiver com baixo teor de umidade, e se outros fatores forem mantidos constantes, à medida que o tamanho das partículas diminuam, a superfície do solo se tornará mais lisa e mais radiação incidente será refletida (Lillesand et al., 2004).

Os óxidos de ferro, dependendo do tipo e da quantidade relativa, influenciam na cor dos solos, isto é, dão aos solos a cor correspondente ao óxido. Por exemplo, solos ricos em hematita (Fe_2O_3) são de coloração vermelha, por causa da cor da hematita. Geralmente, óxidos de ferro absorvem bastante REM na faixa do IVP (com máximo de absorção em torno de $0,9 \mu\text{m}$). A quantidade de REM absorvida depende da quantidade do óxido de ferro (Moreira, 2005).

Liu (2007) cita que a reflectância espectral dos minerais depende das propriedades de vibração entre moléculas (transferência de energia). Essa vibração consiste em oscilações de átomos da molécula e, também de seu centro de equilíbrio. A energia necessária para esse fenômeno situa-se na faixa do infravermelho médio.

Mathews et al. (1973) obtiveram diferentes curvas espectrais para a caulinita, nontronita e illita, e constataram que a forma e a intensidade da curva de reflectância na faixa de $0,5 \mu\text{m}$ a $2,6 \mu\text{m}$ é influenciada pelo tipo de mineral da argila.

O teor de matéria orgânica do solo é bastante relevante quando se trata de reflexão. Quanto maior o teor de matéria orgânica no solo menor é a sua reflectividade na faixa de $0,4 \mu\text{m}$ a $2,5 \mu\text{m}$, numa relação curvilínea (Figura 12) (Hoffer, 1978).

Baumgardner et al. (1969) mostraram que em quantidades superiores a 2%, a matéria orgânica pode provocar um efeito de mascaramento na contribuição que os

outros constituintes dão para a característica espectral do solo, na faixa refletida do espectro óptico. Al-Abbas (1972) comentaram que os efeitos de diminuição da reflectância do solo pelo aumento do teor de matéria orgânica podem estar associados também ao teor de argila, uma vez que ambos os constituintes normalmente apresentam boa correlação positiva entre si.

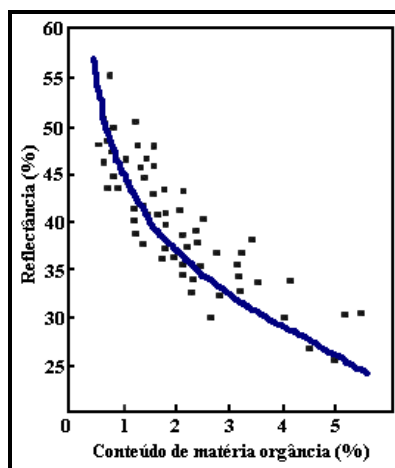


Figura 12 - Relação entre o conteúdo de matéria orgânica e a reflectância. Adaptado de Hoffer (1978).

Hoffer (1978), citando o trabalho da Divisão de Levantamento Pedológico dos EEUU, alertam para o fato de que solos que se desenvolveram sob condições climáticas diferentes podem não mostrar a mesma relação entre cor e conteúdo de matéria orgânica. Solos bem drenados e com o mesmo teor de matéria orgânica, mas que se desenvolveram em locais de temperatura anual mais alta apresentam coloração mais “amarronzada” que aqueles de regiões mais frias que são mais escuros, logo com menor reflectividade.

2.2.1.4 Interação da REM com a água

A água apresenta-se na natureza sob diferentes estados físicos, que influenciam de modo fundamental seu comportamento espectral (Novo, 1992). A Figura 5 mostra o comportamento espectral da água em seus estados físicos: água propriamente dita (estado líquido), água em forma de nuvens (gasosa) e água em forma de neve. Analisando a Figura 5 observa-se que a água em seu estado líquido apresenta baixa

reflectância entre $0,38 \mu\text{m}$ e $0,70 \mu\text{m}$, absorvendo toda a radiação abaixo de $0,38 \mu\text{m}$ e acima de $0,7 \mu\text{m}$. Já na forma de nuvens (gasosa) apresenta elevada reflectância, em torno de 70% , para a faixa do espectro óptico de $0,4$ a $2,5 \mu\text{m}$. Entretanto, observa-se bandas de maior absorção em $1,0$, $1,3$ e $2,0 \mu\text{m}$ (Moreira, 2005).

Na forma de neve observa-se elevada reflectância (maior que a das nuvens) entre $0,7 \mu\text{m}$ e $1,2 \mu\text{m}$, sendo que, de $1,2 \mu\text{m}$ a $1,4 \mu\text{m}$ a reflectância decresce com um gradiente altíssimo (de $0,8$ a $0,2$), atingindo valores de reflectância inferiores a $0,1$ em $1,5 \mu\text{m}$. Entre $1,5 \mu\text{m}$ e $2,0 \mu\text{m}$, há um aumento da reflectância da neve (máximo em aprox. $1,75 \mu\text{m}$ quando atinge um valor de reflectância de $0,2$). Em $2,0 \mu\text{m}$, a reflectância aproxima-se de zero para aumentar até $0,2$ em torno de $2,25 \mu\text{m}$ (Novo, 1992; Moreira, 2005).

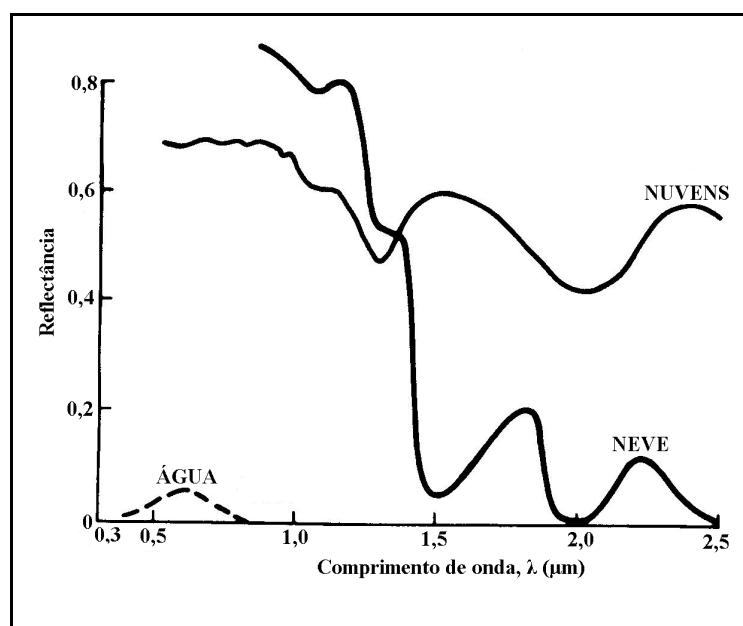


Figura 13 - Comportamento espectral da água em seus diferentes estados físicos. (Adaptado de Novo, 1992).

Várias condições dos corpos d'água, entretanto, se manifestam, acima de tudo, no visível. As interações energia/matéria nessa faixa espectral são muito complexas e dependem de inúmeros fatores interrelacionados. A reflectância de um corpo d'água, por exemplo, pode se originar da interação com a superfície do corpo d'água (reflexão especular), com material suspenso na água, ou com o fundo do corpo d'água. Mesmo em águas profundas, onde os efeitos do fundo são negligenciáveis, as propriedades de

reflectância de um corpo d'água não são somente função da água, mas também do material nela contido (Novo, 1992).

A presença de matéria em suspensão na água determina a sua turbidez, e a variação desta altera drasticamente a transmitância e, conseqüentemente, a reflectância. Água contendo grande quantidade de sedimentos em suspensão provenientes da erosão do solo, por exemplo, normalmente possuem reflectância no visível muito mais alta que “águas claras” situadas na mesma localização geográfica. Da mesma forma, a reflectância se modifica em função da quantidade de clorofila presente na água. O aumento da concentração de clorofila tende a reduzir a reflectância da água no azul e a aumentá-la no verde. Essa peculiaridade tem sido usada para detectar a presença e estimar a concentração de algas através de dados de sensoriamento remoto (Pereira, 1997).

2.2.2 Aplicações do sensoriamento remoto

Apesar de existirem certos cuidados que se devem ter na obtenção de informações dos alvos de interesse, no amplo contexto das atuais e crescentes preocupações de sustentabilidade ambiental, o sensoriamento remoto vem se constituindo como meio imprescindível para o planejamento, o uso racional e o monitoramento dos recursos naturais terrestres. Avanços científicos e tecnológicos vem disponibilizando conhecimentos, equipamentos, plataformas e sensores cada vez mais sofisticados e enormes massas de dados sobre processos e fenômenos da superfície terrestre (Alvarenga et al., 2003).

Para Novo (1998), as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento remoto orbital são: estímulo às pesquisas multidisciplinares, informações de áreas de difícil acesso, universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais, facilidade do recobrimento de grandes áreas (visão sinóptica), cobertura repetitiva com a mesma hora local, grande quantidade de dados pontuais sobre uma mesma área, transferência de dados Satélite/Terra em tempo real, e o aspecto multiespectral, isto é, a capacidade dos sistemas sensores gerarem

produtos em diferentes faixas espectrais, tornando possível o estudo e análise de diferentes elementos, identificados em determinadas faixas do espectro.

Koffler (1992), Crosta (1993) e Araújo (2004) destacam a utilização de sensores orbitais em estudos agroambientais em escalas locais, regionais e globais. O sensoriamento remoto também apresenta grande potencial para ser utilizado na agricultura. Através desta técnica, é possível obter informações sobre: estimativa de área plantada, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, além de fornecer subsídios para o manejo agrícola em nível de país, estado, município ou ainda em nível de microbacia hidrográfica ou fazenda.

Conrad et al., (2007) relatam que as técnicas de sensoriamento remoto são altamente satisfatórias para classificar a cobertura do solo em escala regional e global, e por delinear áreas irrigadas ou padrões de uso do solo em regiões agrícolas.

O sensoriamento remoto também se mostra como importantíssima ferramenta na determinação e no mapeamento espacial e temporal da evapotranspiração (ET). A ET (conjunto evaporação da água do solo mais transpiração das plantas), é um componente essencial do balanço hídrico, especialmente quando o solo é mantido úmido por meio de sistemas de irrigação. A determinação do uso consumptivo de água pelas culturas em escala regional é fundamental no entendimento de uma adequada gestão dos recursos hídricos (Bastiaanssen, 2000).

Stafford (2000) comenta que a utilização de técnicas de sensoriamento remoto vem sendo preconizada no monitoramento de áreas agrícolas e estimativas de produtividade embora seja uma área carente de pesquisas. Segundo Fortes (2003), vários trabalhos demonstram que esta técnica tem grande potencial de uso na estimativa da produção de biomassa das culturas, informações essenciais ao planejamento agrícola e industrial, com reflexos no processo de formação de preços e implantação de programas de agricultura de precisão.

2.2.2.1 Algoritmo SEBAL

Na agricultura, para que haja um bom planejamento e manejo dos recursos hídricos, torna-se primordial o conhecimento da demanda evapotranspirométrica. No

entanto, as medições aproximadas da ET por meio da covariância de vórtices turbulentos, razão de Bowen e lisímetros de pesagem são métodos caros e consomem tempo para aplicação contínua para que se tenha em escala regional uma densidade espacial suficiente. Compaoré et al. (2008), por exemplo, citam que na paisagem heterogênea do planalto central da Espanha, 13 medições de ET em uma área relativamente pequena (5000 km²) não foi suficiente para prever com precisão a taxa de ET média da área.

Os modelos hidrológicos e técnicas de sensoriamento remoto são avançadas ferramentas que permitem boa estimativa da ET e os processos hidrológicos relacionados em uma escala regional (Bastiaanssen, 2000). A vantagem dos modelos hidrológicos é que o impacto de transferência da água entre os competitivos setores podem ser simulados e estudados por meio da indução dos seus efeitos em cenários da hidrologia regional. Entretanto, destaca-se como desvantagem a exigência de extensos dados de campo para realizar as simulações numa possível escala regional. A principal vantagem de aplicar procedimentos de ET baseados no sensoriamento remoto é que a água consumida pelo sistema solo-água-planta pode ser obtida diretamente sem a necessidade de quantificar outros complexos processos hidrológicos.

Segundo Compaoré et al. (2008), o potencial das imagens baseadas no sensoriamento remoto por satélite em examinar padrões espaciais de distribuições regionais da ET foi investigado por vários pesquisadores. Estes esforços resultaram no desenvolvimento de algoritmos que visam a estimativa da ET por sensoriamento remoto em escalas diversificadas. Algoritmos operacionais que tem produzido mapas de ET em escalas locais ou regionais são: o NLDAS (North American land data assimilation systems (Cosgrove et al., 2003)), o LIS (Land Information System (Peters Lidard et al., 2007)), o ALEXI (Atmosphere-Land Exchange Inverse (Anderson et al., 1997; Anderson et al., 2000)), o DisALEXI (Disaggregated ALEXI model (Agam et al., 2007)), o SEBS (Surface Energy Balance System (Su, 2002)), o S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index (Roerink et al. 2000)), o SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land (Bastiaanssen et al., 1998a; Bastiaanssen et al., 1998b)), o METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Spatial Resolution with Internalized Calibration (Allen et al., 2007a; Allen et al., 2007b)), bem como outros

algoritmos com distintos acrônimos (Nourbaeva et al., 2003; Ma et al., 2004; Schüttemeyer et al., 2007).

O SEBAL e o METRIC estimam o balanço de energia usando condições térmicas extremas dentro de uma imagem ao escolher os chamados pixels “quente” e “frio”. Estes procedimentos fixam condições limites para o fluxo de calor sensível da superfície do solo (um dos principais componentes do balanço de energia) por meio de estimativas da temperatura da superfície via satélite. Esta emergente tecnologia tem o potencial de ser adotada e usada amplamente pelos comitês de recursos hídricos ao redor do mundo. Os mapas de ET criados usando o SEBAL ou o METRIC, algum dia serão habitualmente aplicados como contribuição operacional diária e mensal e no planejamento de modelos para operações de reservatório, manejo da água no solo, planejamento do suprimento de água na irrigação, regulamentação dos direitos de uso da água, e estudos hidrológicos.

O METRIC difere do SEBAL por utilizar a evapotranspiração de referência (ET_0) calculada por meio de medições em estações meteorológicas, enquanto que o SEBAL pode ser aplicado com poucas medições a nível de superfície.

Considerando que muitas áreas do mundo não possuem dados meteorológicos adequados, o SEBAL surge como uma opção atraente. Por outro lado, o METRIC permite a assimilação de medições de superfície que podem melhorar a qualidade dos mapas de ET. A aproximação do SEBAL tem demonstrado boa precisão no mapeamento da ET ao redor do mundo, com precisões de cerca de 85% e 95%, respectivamente, a níveis diários e sazonais (Bastiaanssen et al., 2005). Na validação da ET estimada com a aplicação do METRIC em Idaho foram utilizadas medições lisimétricas precisas, mostrando que a ET estimada por meio do METRIC ficou na faixa dos 10% de erro nas escalas de tempo, diária, mensal e anual (Allen et al., 2003; Tasumi, 2003).

O SEBAL possibilita o cálculo do fluxo de calor latente (LE) pela diferença na equação clássica do balanço de energia. O mesmo utiliza-se da temperatura da superfície, da reflectância hemisférica da superfície, índices de vegetação (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI, Índice de Vegetação Ajustado para o Solo - SAVI e Índice de Área Foliar - IAF) e de alguns dados complementares de

superfície, normalmente obtidos em estações meteorológicas automáticas. Esse algoritmo tem sido amplamente empregado em várias áreas irrigadas do globo, a exemplo da bacia do Bear River (Allen et al., 2002).

De acordo com Comparoé et al. (2008) o SEBAL se destaca entre os demais algoritmos pelas seguintes razões: (1) Consiste em um algoritmo baseado fisicamente em análises de imagens de satélite e requer um mínimo de informações meteorológicas; (2) Faz uso de um grande número de variáveis ambientais e não as assume constantes espacialmente como é feito em muitos outros métodos; (3) É reduzida a necessidade da correção atmosférica das informações em comprimentos de onda curta e térmica nas imagens (Tasumi, 2003), desde que a ET estimada dependa apenas de diferenças da temperatura radiométrica na cena em vez do valor absoluto da temperatura de superfície. Isto amplia a aplicabilidade do SEBAL uma vez que as medições necessárias para correções atmosféricas não estão freqüentemente disponíveis (Allen et al., 2007a); (4) Não somente é aplicado com o uso de imagens Landsat com resolução espacial de 30 a 120 m, mas também com imagens de outros sensores como o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) e o MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) nos quais possuem resolução espacial que variam de 250 a 1100 m.

O SEBAL é constituído, quase que totalmente, por parametrizações físicas bem estabelecidas e pouco complexas (Paiva, 2005), sendo que do total de passos existentes no algoritmo, poucos são aqueles que envolvem parametrizações empíricas (emissividade e temperatura da superfície, emissividade da atmosfera, fluxo de calor no solo e comprimento da rugosidade aerodinâmica para o transporte de *momentum*). Além disso, essas parametrizações foram confrontadas com dados de campo em diferentes partes do mundo, apresentando resultados promissores. Aeynew (2003) ressalta que as parametrizações do SEBAL mostraram-se de grande importância na demonstração da diferença espacial da ET em condições de escassez de dados.

Medina et al. (1998) citam que o SEBAL contém um número menor de relações empíricas e requer poucos parâmetros experimentais. Para Bastiaanssen e Ali (2003), isso é uma grande vantagem, uma vez que as aproximações empíricas necessitam de excessivos programas de coleta de dados em campo que, em escala regional, são

bastante laboriosos e onerosos. A física envolvida no SEBAL permite o cálculo dos fluxos em superfície para uma ampla gama de uso do solo e calcula o balanço de radiação e de energia completo para cada píxel da imagem sem a necessidade de extensivas medições de campo.

Devido as características que colocam o algoritmo SEBAL numa posição de destaque, alguns estudos têm sido desenvolvidos, tais como: Bastiaanssen et al. (1998a e 1998b), Medina et al. (1998), Timmermans e Meijerink (1999), Bastiaanssen (2000), Bastiaanssen et al. (2000), Granger (2000), Bastiaanssen e Bandara (2001), Boegh et al. (2002), Aeynew (2003), Bastiaanssen e Chandrapala (2003), Chandrapala e Wimalasuriya (2003), Hemakumara et al. (2003), Tasumi (2003), Bastiaanssen e Ali (2003), Mohamed et al. (2004), Allen et al. (2005), Bastiaanssen et al. (2005), French et al. (2005), Gieske e Meijninger (2005), Paiva (2005), Ines et al. (2006), Kongo e Jewit (2006), Akbari et al. (2007), Conrad et al. (2007), Kimura et al. (2007), Compaoré et al. (2008), entre outros.

O SEBAL é construído de forma modular, permitindo que sejam acoplados outros modelos como o que foi desenvolvido por Monteith (1972) para a estimativa da produção de biomassa das culturas.

A produção de biomassa vegetal ou a Produtividade Primária Líquida (NPP) pode ser definida pela quantidade de carbono assimilado no processo de fotossíntese (Produtividade Primária Bruta, GPP), descontada a quantidade de carbono perdido durante os processos de respiração (Fonseca, 2004). A biomassa vegetal é produzida a partir da fixação do dióxido do carbono (CO_2) atmosférico, utilizando a radiação solar como fonte de energia, mais especificamente, a radiação solar que se encontra entre 0,4 e 0,7 μm , sendo esta faixa do espectro eletromagnético denominada de radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

O modelo de Monteith (1972) descreve o acúmulo de biomassa por meio do somatório ou acúmulo da fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR) multiplicado por um fator de eficiência de conversão da radiação em biomassa. Segundo Bastiaanssen e Ali (2003), é possível estimar o rendimento das culturas após o conhecimento dos chamados índices de colheita, que são encontrados

na literatura. Por exemplo, Bastiaanssen e Ali (2003) citam índices de colheita para diversas culturas como: feijão, arroz, trigo, soja, sorgo, milho, cana-de-açúcar, etc.

As técnicas de sensoriamento remoto vêm sendo empregadas nos últimos anos visando a predição da produtividade agrícola (Bastiaanssen e Ali, 2003; Samarasinghe, 2003). Diversos modelos têm sido desenvolvidos objetivando uma melhor estimativa da produção das culturas, nesse contexto, o modelo de Monteith (1972) tem sido adotado por vários pesquisadores (Field et al., 1995; Bastiaanssen e Ali, 2003; Samarasinghe, 2003; Bradford et al., 2005) que utilizaram como dados de entrada do modelo, informações obtidas de radiômetros de alta, média e baixa resolução espacial e temporal.

Bastiaanssen e Ali (2003) acoplaram no algoritmo SEBAL o modelo de acúmulo da biomassa proposto por Monteith (1972), juntamente com o modelo de eficiência do uso da radiação que foi estruturado por Field et al. (1995), com o objetivo de estimar a biomassa acima do solo (kg m^{-2}) na bacia Indus no Paquistão; o mesmo foi realizado por Samarasinghe (2003) no Sri Lanka utilizando imagens obtidas pelo satélite NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration – Advanced Very High Resolution Radiometer).

Nas estimativas realizadas por Bastiaanssen e Ali (2003), com o uso de 20 imagens do sensor AVHRR, cobrindo um ciclo anual da cultura, o SEBAL teve bom desempenho para as culturas do trigo, arroz e cana-de-açúcar, e, baixo desempenho para a cultura do algodão. Em análises estatísticas os autores justificam que o baixo desempenho do SEBAL para a cultura do algodão se deve às incertezas dos dados de produção, nos quais não foram medidos no campo e sim adquiridos de registros elaborados pelos próprios produtores. Além disso, os autores destacam que o tamanho do pixel (resolução espacial) das imagens do sensor AVHRR (1,1 km) também pode ter contribuído para o aumento das incertezas.

2.2.3 Sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat 5

A série Landsat iniciou-se no final dos anos 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana dedicado exclusivamente à observação

dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do Landsat 7. Contudo, a partir de 2003 o Landsat 7 passou a apresentar problemas, assim, o Landsat 5 tornou-se o único satélite regularmente em operação.

O Landsat 5 foi desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) e lançado em março de 1984. Foi operado inicialmente pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Em setembro de 1985, a operação do Landsat 5 foi passada para uma companhia privada, a EOSAT (Earth Observation Satellite Company), agora conhecida como “Space Imaging”. Em julho de 2001, o Landsat 5 foi devolvido com seus arquivos de imagem completos ao Governo dos Estados Unidos para ser operado pela USGS (United States Geological Survey). No Quadro 1 são apresentadas as características orbitais do Landsat 5.

Quadro 1 - Características orbitais do satélite Landsat 5

| | |
|-------------------------------|--|
| Órbita | 705 km, síncrona com o sol, quase polar o que permite cobertura entre 81° N e 81° S. |
| Velocidade | 7,7 km/s |
| Peso | 2 toneladas |
| Largura da faixa imageada | 185 km |
| Resolução Espacial | 30 m (5 bandas), 120 m (1 banda) no nadir. |
| Cobertura de repetição | 16 dias |
| Resolução radiométrica | 8 bits |
| Tempo de obtenção de uma cena | 24 segundos |

Fonte: INPE (2008).

Chander e Markham (2003) relatam que depois de mais de 22 anos de serviço, o sensor TM do Landsat 5 continua operando bem. Entretanto, o método de calibração foi degradado com o tempo, com isso, estes pesquisadores apresentam os coeficientes de calibração atualizados. Além disso, possibilitaram aos usuários dos dados TM do Landsat 5, métodos e parâmetros para converter os números digitais (DNs) dos dados da imagem para informações úteis como: radiância espectral (L_λ), reflectância planetária ou reflectância no topo da atmosfera (TOA) e estimativa da temperatura da superfície (T_s). O Quadro 2 mostra as principais aplicações das bandas do sensor TM (Mapeador Temático) do Landsat 5.

Quadro 2 - Apresentação das bandas do sensor TM do Landsat 5 com seus respectivos intervalos espectrais e suas principais características e aplicações

| Bandas | Intervalo espectral (μm) | Principais características e aplicações das bandas TM do satélite Landsat 5 |
|--------|---------------------------------------|---|
| 1 | 0,45 a 0,52 | Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, tornando possíveis estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera. |
| 2 | 0,52 a 0,60 | Sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água. |
| 3 | 0,63 a 0,69 | Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal, favorecendo a diferenciação de espécies vegetais. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas. |
| 4 | 0,76 a 0,90 | Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, favorecendo o mapeamento da rede de drenagem e o delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Possui sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal) à morfologia do terreno, possibilitando a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas. |
| 5 | 1,55 a 1,75 | Sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Possui também sensibilidade à rugosidade do dossel florestal. Permite o mapeamento de áreas com vegetação queimada e a identificação de áreas agrícolas. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite. |
| 6 | 10,4 a 12,5 | Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água. |
| 7 | 2,08 a 2,35 | Sensibilidade à morfologia do terreno, o que propicia a obtenção de informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve também para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal. |

Fonte: INPE (2008).

2.2.4 Sensor MODIS

Até o ano de 2000, o único sensor que proporcionava dados diários com uma resolução espacial aproximada de 1 km² em um modo operacional era o AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo das plataformas TIROS-N e NOAA 8-15 (Conrad et al., 2007). Com o lançamento do sensor MODIS a bordo das plataformas Terra (EOS-AM1) e Aqua (EOS-PM1) lançadas em 1999 e 2002, respectivamente (Justice et al., 2002), foram obtidas melhorias essenciais. A alta resolução espectral de 36 bandas permitiu melhorias na correção atmosférica.

O sensor MODIS possui resoluções espaciais de 250 m nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo e de 500 m nas demais bandas do visível e do infravermelho próximo (cinco bandas) o que possibilitou uma melhoria no nível de detalhes. Este sensor foi concebido para ser o mais importante sensor de monitoramento ambiental existente.

Segundo Anderson et al. (2003), o sensor MODIS foi projetado para satisfazer os requerimentos de três campos de estudos diferentes: atmosfera, oceano e terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para o conhecimento de diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global praticamente diária. No Quadro 3 podem-se ver as especificações técnicas do sensor MODIS.

O MODIS observa a Terra completamente a cada 1 a 2 dias, obtendo dados em 36 bandas espectrais em resoluções espaciais que variam de 250 a 1000 m e com resolução radiométrica de 12 bits. Os produtos do MODIS incluem estimativas de mudança de cobertura do solo, índice de área foliar (IAF), fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida (FPAR), produção primária líquida (NPP), entre outros (Maiores detalhes dos produtos MODIS podem ser obtidos em Justice et al., 2002; Anderson et al., 2003 e Anderson, 2004).

Quadro 3 - Características gerais do sensor MODIS

| | |
|------------------------|---|
| Órbita | 705 km, síncrona com o sol, polar; 10:30 hs descendente; 13:30 ascendente. |
| Cobertura Espacial | $\pm 55^\circ$, 2330 km em fileira (“varredura” contínua no nadir no equador). |
| Alcance Espectral | 0,4 - 14,4 μm |
| Resolução Espacial | 250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) no nadir. |
| Cobertura de repetição | Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30° . |
| Resolução radiométrica | 12 bits |
| Taxa de Dados | 6,2 Mbps (média), 10,8 Mbps (dia), 2,5 Mbps (noite). |
| Força | 162,5 W (média para uma órbita), 168,5 W (pico). |

Fonte: Adaptada de Justice et al. (2002) e Anderson et al. (2003).

O Quadro 4 mostra as bandas espectrais, uso primário, resolução espectral, espacial e temporal juntamente com a faixa imageada pelo sensor MODIS (a bordo dos satélites Aqua e Terra). Observa-se no Quadro 4 que o sensor MODIS se destaca pelo grande número de bandas espectrais (36 bandas). Além disso, estas bandas também se mostram localizadas em função do comprimento de onda, cuidadosamente escolhidos para a observação de feições das propriedades das nuvens, a dinâmica e as propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e a temperatura da superfície dos oceanos no mundo. Estas especificações têm como objetivo evitar as bandas de absorção atmosférica, além de outras feições (linha de Fraunhofer), durante a observação e monitoramento da superfície terrestre. As primeiras 19 bandas estão posicionadas na região do espectro eletromagnético situado entre 405 nm a 2155 nm, de forma que as bandas 1 a 7 estão direcionadas para as aplicações terrestres; as bandas 8 a 16 para as observações oceânicas e as bandas 17 a 19 para as medições atmosféricas. As bandas 20 a 36, com exceção da banda 26 (1,360 a 1,390 μm), cobrem a porção termal do espectro (3,660 a 14,385 μm) e podem ser utilizadas por diferentes campos das ciências naturais (Anderson et al., 2003; Anderson, 2004).

Quadro 4 - Apresentação das bandas espectrais juntamente com informações de uso primário, resolução espectral, espacial, temporal e faixa imageada pelo sensor MODIS

| Uso Primário | Bandas Espectrais | Resolução Espectral (μm) | Resolução Espacial (m) | Resolução Temporal (dias) | Faixa Imageada (km) |
|---|-------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------|---------------------|
| Superfície terrestre/nuvem | 1 | 0,620 - 0,670 | 250 | 1 a 2 dias | 2330 x 5000 |
| | 2 | 0,841 - 0,876 | | | |
| Propriedades da superfície/nuvem | 3 | 0,459 - 0,479 | 500 | 1 a 2 dias | 2330 x 5000 |
| | 4 | 0,545 - 0,565 | | | |
| | 5 | 1,230 - 1,250 | | | |
| | 6 | 1,628 - 1,652 | | | |
| | 7 | 2,105 - 2,155 | | | |
| Cor dos Oceanos/ Fitoplâncton/ Bioquímica | 8 | 0,405 - 0,420 | 1000 | 1 a 2 dias | 2330 x 5000 |
| | 9 | 0,438 - 0,448 | | | |
| | 10 | 0,483 - 0,493 | | | |
| | 11 | 0,526 - 0,536 | | | |
| | 12 | 0,546 - 0,556 | | | |
| | 13 | 0,662 - 0,672 | | | |
| | 14 | 0,673 - 0,683 | | | |
| | 15 | 0,743 - 0,753 | | | |
| Vapor d'água atmosférico | 17 | 0,890 - 0,920 | 1000 | 1 a 2 dias | 2330 x 5000 |
| | 18 | 0,931 - 0,941 | | | |
| | 19 | 0,915 - 0,965 | | | |
| Temperatura nuvem/superfície | 20 | 3,660 - 3,840 | | | |
| | 21 | 3,929 - 3,989 | | | |
| | 22 | 3,929 - 3,989 | | | |
| | 23 | 4,020 - 4,080 | | | |
| Temperatura atmosférica | 24 | 4,433 - 4,498 | | | |
| | 25 | 4,482 - 4,549 | | | |
| Cirrus | 26 | 1,360 - 1,390 | | | |
| | 27 | 6,535 - 6,895 | | | |
| Vapor d'água | 28 | 7,175 - 7,475 | | | |
| | 29 | 8,400 - 8,700 | | | |
| Ozônio | 30 | 9,580 - 9,880 | | | |
| Temperatura nuvem/superfície | 31 | 10,780 - 11,280 | | | |
| | 32 | 11,770 - 12,270 | | | |
| | 33 | 13,185 - 13,485 | | | |
| Altitude Topo da nuvem | 34 | 13,485 - 13,785 | | | |
| | 35 | 13,785 - 14,085 | | | |
| | 36 | 14,085 - 14,385 | | | |

Fonte: Adaptada de Anderson et al. (2003) e Anderson, 2004.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo está localizada no município de Conquista-MG, vizinho ao município de Uberaba-MG, no Triângulo Mineiro. Mais precisamente, na fazenda Boa Fé, pertencente ao Grupo Ma Shou Tao, com área estimada de aproximadamente 1700 ha, dentre os quais, atualmente, a maior parte é coberta pela cultura da cana-de-açúcar, no entanto, planta-se também soja, milho e sorgo. A fazenda Boa Fé tem se destacado pela alta qualidade de sua cana produzida, sendo ela a detentora da produção de cana com maior teor de sacarose do Estado de Minas Gerais, como fornecedor. A Figura 13 mostra a localização e visualização da sede da fazenda Boa Fé (Grupo Ma Shou Tao, 2008).

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo Aw, isto é, tropical quente úmido, com inverno frio e seco (Silva et al., 2003). Dados de normais meteorológicas (1961 a 1990), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), para o município de Uberaba-MG, mostram que os meses de janeiro, fevereiro e dezembro são os mais nebulosos e chuvosos e os meses de junho, julho e agosto os mais secos e menos nebulosos (Figura 14). A temperatura do ar média anual

é de 21,9 °C e a temperatura do ar média anual das máximas e das mínimas é de 29,1 °C e 13,2 °C, respectivamente. A umidade relativa do ar média anual é de 73,4 %, sendo os meses de janeiro, fevereiro e dezembro os mais úmidos. Os solos da região são classificados como Latossolo Vermelho Distroférico e Distrófico, Latossolos Vermelho-Amarelos Distrófico, Argissolos Vermelho-Amarelo Distrófico e eutrófico (IBGE, 2008). A vegetação pertence ao Bioma Cerrado.

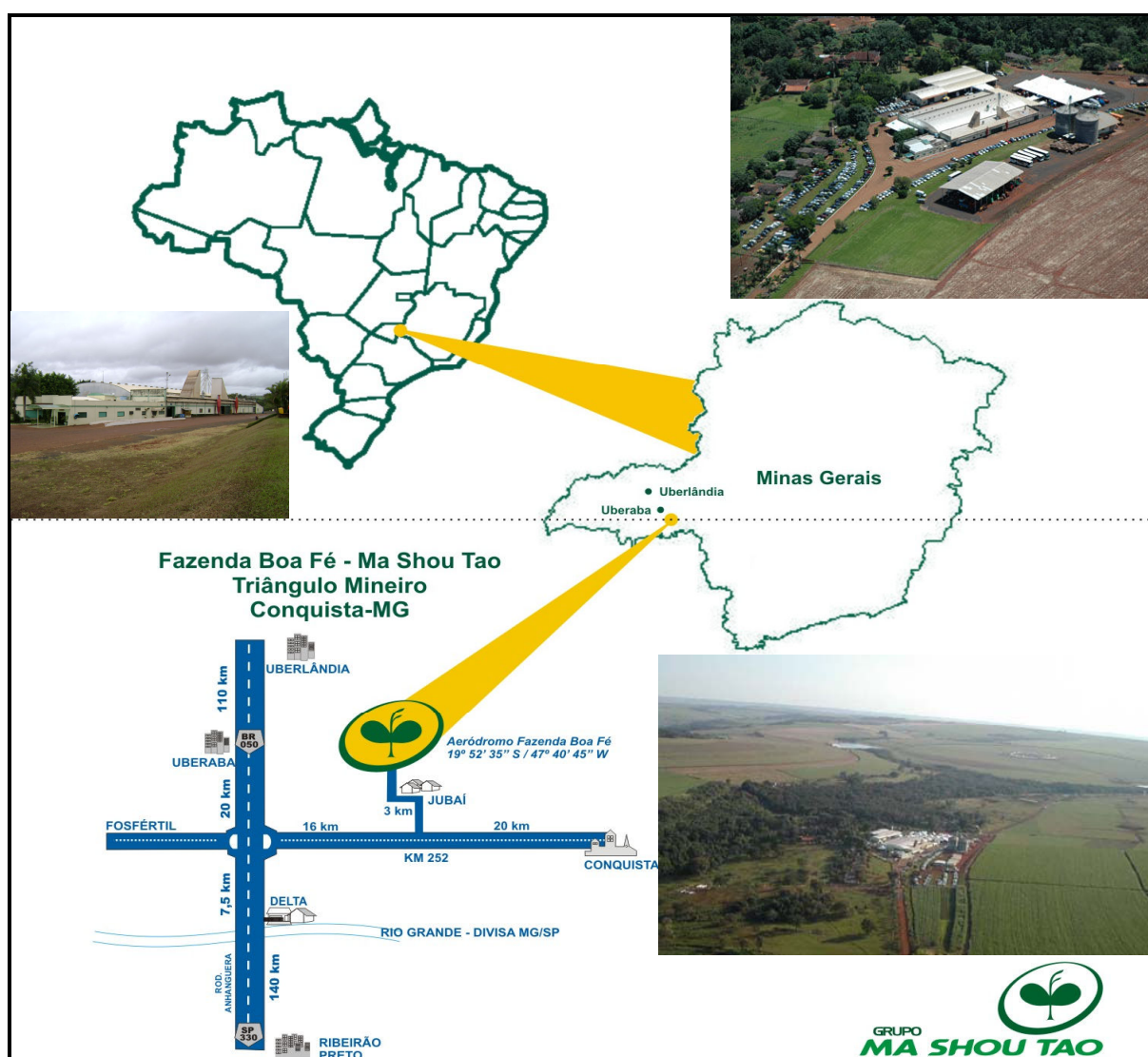


Figura 14 - Localização e visualização da sede da fazenda Boa Fé, pertencente ao Grupo Ma Shou Tao. Fonte: Adaptado de Grupo Ma Shou Tao (2008).

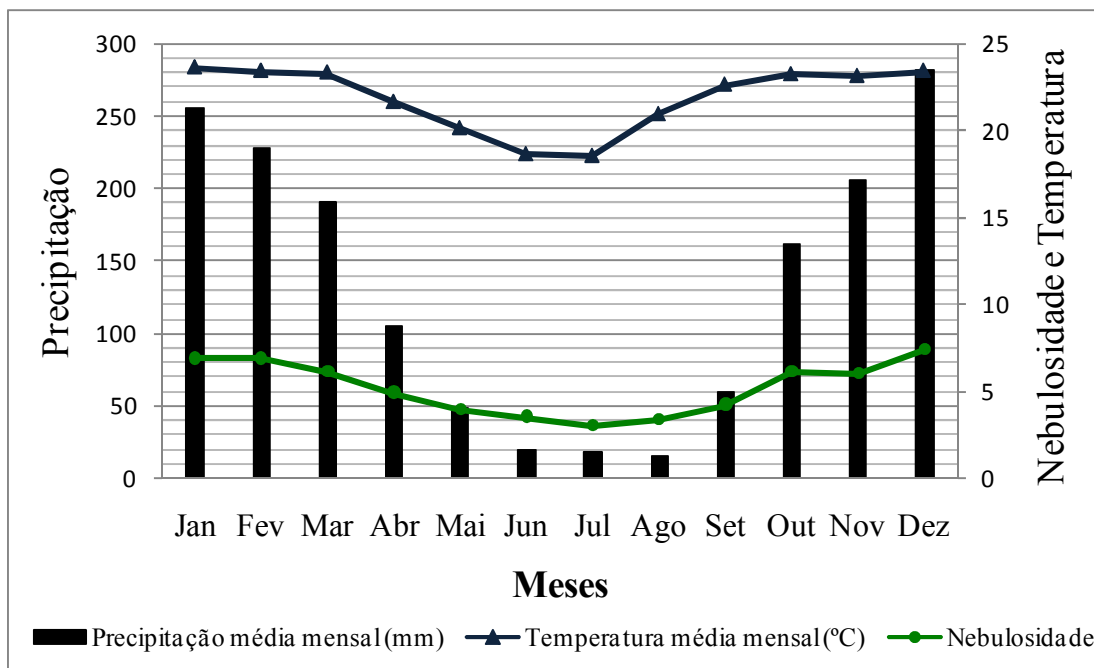


Figura 15 - Precipitação média mensal (mm), temperatura média mensal (°C) e nebulosidade do município de Uberaba-MG, obtida de normais climatológicas (1961 a 1990) do Departamento Nacional de Meteorologia.

3.1 Dados Meteorológicos

Foram utilizados dados meteorológicos horários e diários da Plataforma de Coleta de Dados (PCD) localizada no município de Miguelópolis-SP (Figura 15) e que faz parte da rede de estações meteorológicas do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). A Figura 16 mostra a localização dos municípios de Miguelópolis-SP e Uberaba-MG, bem como da fazenda Boa Fé.

A PCD (código 31975), do município de Miguelópolis-SP, possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 20° 11' 26,4" S e longitude de 48° 00' 59,2" W, com 538 metros de altitude.

Basicamente, os dados meteorológicos utilizados foram: velocidade do vento, radiação solar e temperatura do ar, dos anos de 2004, 2005, 2006 e 2007.



Figura 16 - Plataforma de Coleta de Dados (PCD) do município de Miguelópolis-SP.
Fonte: CPTEC.

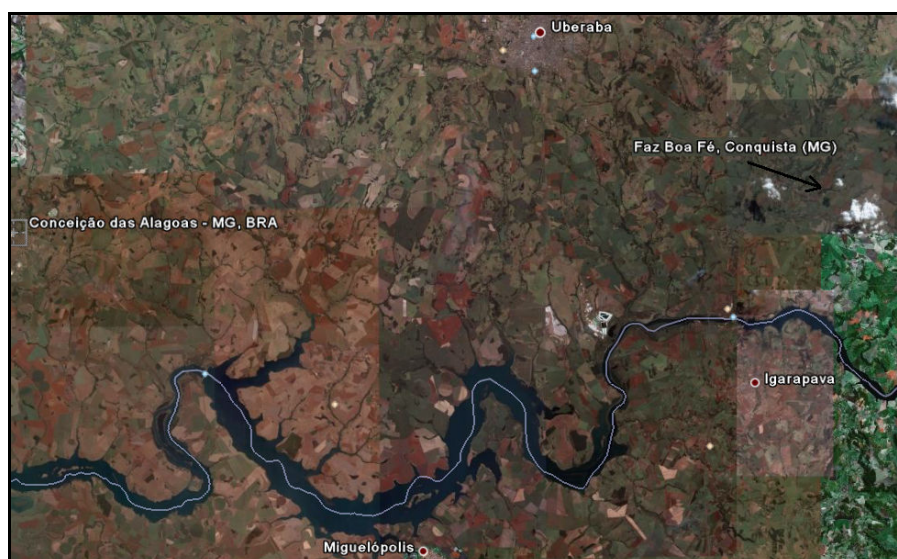


Figura 17 - Imagem mostrando, especialmente, a localização dos municípios de Miguelópolis-SP, Uberaba-MG e da fazenda Boa Fé. Fonte: Google Earth.

3.2 Informações da cultura da cana-de-açúcar

Na Figura 18 são apresentadas as glebas de plantio da cana-de-açúcar em cores destacadas, juntamente com a numeração de cada talhão. No Quadro 5 tem-se os dados de datas de plantio e colheita, variedades, tipo de cana, números de talhões e cortes, das glebas A1, A2, A4, A5, E1 e Pivô.

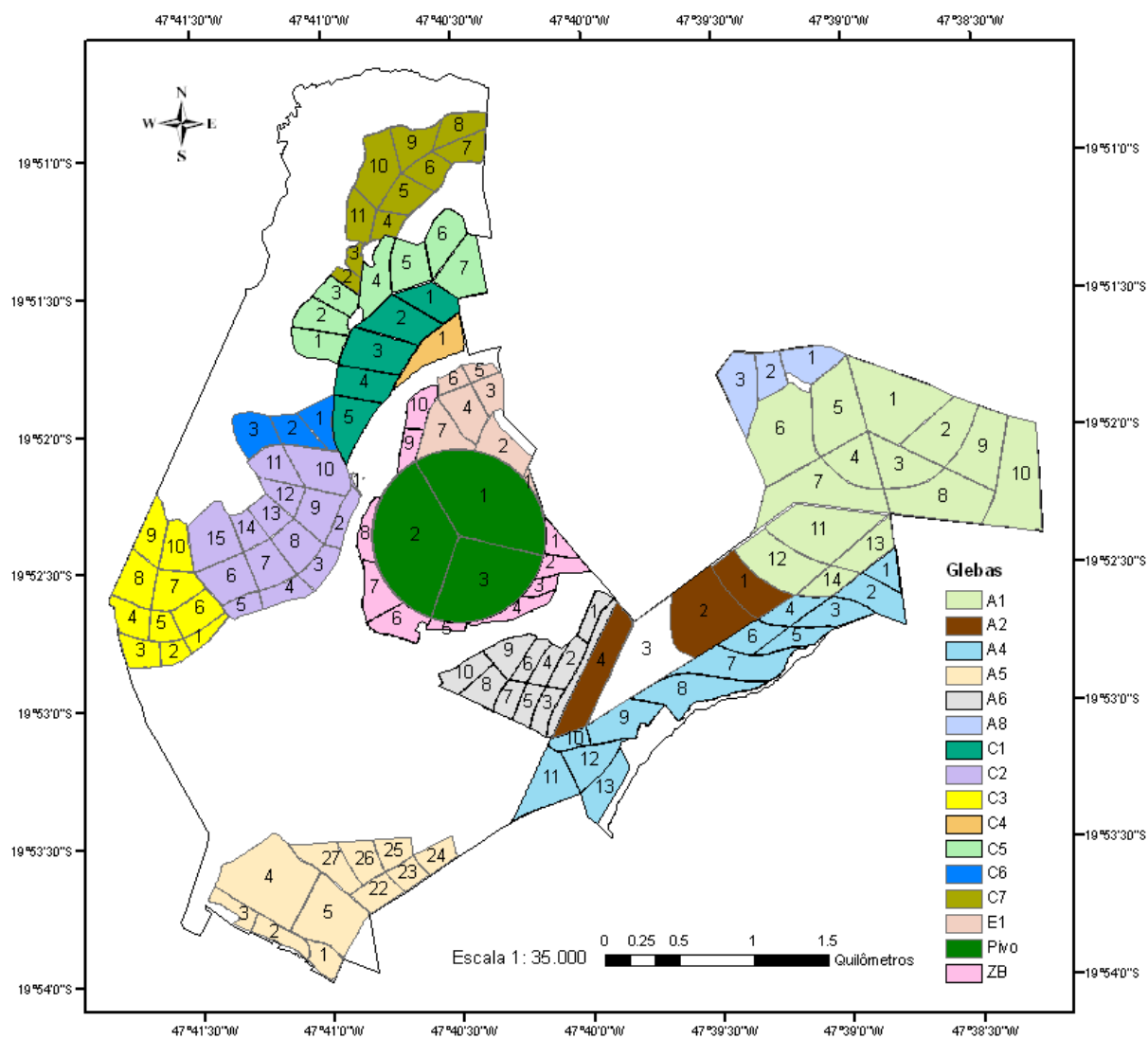


Figura 18 - Localização das glebas de plantio da cana-de-açúcar na fazenda Boa Fé, com os respectivos números de cada talhão.

Quadro 5 - Dados do ciclo, variedade e área de cada talhão das glebas A1, A2, A4, A5, E1 e Pivô

| GLEBA | Nº Talhão | ÁREA (ha) | VARIEDADE | TIPO DE CANA | Nº CORTES | DATA DE PLANTIO | DATA DE COLHEITA |
|-------|-----------|------------|--------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|
| A1 | 01 | 21,84 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 02 | 12,59 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 03 | 9,86 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 04 | 8,77 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 05 | 16,26 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 06 | 22,49 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 07 | 18,19 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 31/08/2007 |
| | 08 | 17,22 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 27/09/2007 |
| | 09 | 12,86 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 27/09/2007 |
| | 10 | 19,78 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 25/10/2006 | 27/09/2007 |
| | 11 | 18,51 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 01/03/2007 | |
| | 12 | 13,80 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 05/03/2007 | |
| | 13 | 7,10 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 01/03/2007 | |
| | 14 | 4,56 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 05/03/2007 | |
| A2 | 01 | 10,47 | SP 81-3250 | cana-planta | 18 M | 31/03/2007 | |
| | 02 | 19,97 | SP 81-3250 | cana-planta | 18 M | 02/04/2007 | |
| | 04 | 14,94 | RB 85-5156 | cana-planta | 18 M | 20/04/2007 | |
| A4 | 01 | 3,74 | RB 86-7515 | cana-soca | 2 | 09-12/03/2005 | 01/05/2007 |
| | 02 | 7,47 | RB 86-7515 | cana-soca | 2 | 09-12/03/2005 | 01/05/2007 |
| | 03 | 6,44 | RB 86-7515 | cana-soca | 2 | 09-12/03/2005 | 01/05/2007 |
| | 04 | 4,96 | RB 86-7515 | cana-soca | 2 | 09-12/03/2005 | 01/05/2007 |
| | 05 | 4,57 | SP 81-3250 | cana-soca | 2 | 14-16/03/2005 | 16/06/2007 |
| | 06 | 5,55 | SP 81-3250 | cana-soca | 2 | 14-16/03/2005 | 16/06/2007 |
| | 07 | 11,86 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 18,19/04/2007 | |
| | 08 | 11,93 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 18,19/04/2007 | |
| | 09 | 8,82 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 19,20/04/2007 | |
| | 10 | 2,75 | RB 85-5453 | cana-planta | 18 M | 19,20/04/2007 | |
| | 11 | 10,02 | SP 80-1816 | cana-planta | 18 M | 17,18/04/2007 | |
| | 12 | 7,33 | RB 92-8064 | cana-soca | 2 | 15,16/05/2005 | 31/05/2007 |
| | 13A | 3,00 | IAC 86-2480 | cana-soca | 2 | 15,16/05/2005 | 24/06/2007 |
| 13B | 3,76 | RB 92-8064 | cana-soca | 2 | 14,15/05/2005 | 24/06/2007 | |
| A5 | 04A | 24,83 | RB 85-5536 | cana-planta | 18 M | 24/04/2007 | |
| | 04B | 0,21 | IACSP94-2094 | cana-planta | 18 M | 23/04/2007 | |
| | 04C | 0,16 | IACSP94-2094 | cana-planta | 18 M | 23/04/2007 | |
| | 5 | 15,63 | RB 85-5536 | cana-planta | 18 M | 24/04/2007 | |
| | 22 | 4,80 | RB-92-579 | cana-soca | 1 | 17/04/2006 | 25/05/2007 |
| | 23 | 3,40 | RB-92-579 | cana-soca | 1 | 16/04/2006 | 25/05/2007 |
| | 24 | 3,80 | RB-92-579 | cana-soca | 1 | 16/04/2006 | 24/06/2007 |
| | 25b | 2,00 | RB-92-579 | cana-soca | 1 | 16/04/2006 | 30/05/2007 |
| E1 | 01 | 0,67 | RB-867515 | cana-soca | 3 | 23/03/04 | 26/06/2007 |
| | 02 | 6,82 | RB-867515 | cana-soca | 3 | 23/03/04 | 11/06/2007 |
| | 03 | 4,08 | RB-867515 | cana-soca | 3 | 23/03/04 | 11/06/2007 |
| | 04 | 7,29 | RB-867515 | cana-soca | 3 | 23/03/04 | 11/06/2007 |
| | 05 | 1,95 | RB-867515 | cana-soca | 2 | 15/03/05 | 26/06/2007 |
| | 06 | 2,35 | RB-867515 | cana-soca | 2 | 15/03/05 | 26/06/2007 |
| | 07 | 7,44 | RB-867515 | cana-soca | 3 | 23/03/04 | 11/06/2007 |
| PIVÔ | P1 | 38,82 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 10/08/2006 | 18/08/2007 |
| | P2 | 37,78 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 10/08/2006 | 11/08/2007 |
| | P3 | 27,63 | RB-867515 | cana-soca | 1 | 10/08/2006 | 14/08/2007 |

3.2.1 Tratos culturais

Na gleba A1, A2, A5 realizou-se no plantio a dessecação com glifosato, adubação/base de 340 kg/ha na proporção 7, 24, 22 mais 0,3 % de Zinco e 0,3 % de B. Também, aplicou-se inseticida de sulco (regente, 200 g/ha), sendo que, nos talhões plantados em 25/10/2006 (gleba A1), houve a aplicação de duas doses de herbicidas no pós plantio. A primeira no dia 25/11/2006 (Velpar: 1,6 kg/ha, Garmit: 1,6 kg/ha, Pengergetick: 0,3 kg/ha) e a segunda no dia 29/01/2007 (Combine: 1,5 L/ha, Ametrina: 2 L/ha, Volcane: 1 L/ha). No entanto, no pós plantio da gleba A2 (plantio 31/03/2007) aplicou-se somente a primeira dose do herbicida (11/04/2007). Na gleba Pivô aplicaram-se a mesma proporção de adubação/base mais três aplicações do herbicida no pós plantio, nos dias 16/08/2006 (Velpar: 1,6 kg/ha, Garmit: 1,6 kg/ha, Pengergetick: 0,3 kg/ha), 13/10/2006 (24D: 1 L/ha) e 18/11/2006 (Ametrina: 2 L/ha, Velpar: 2 kg/ha).

Na Figura 19, pode-se visualizar a cultura da cana-de-açúcar em diversos estádios, do perfilhamento ao corte.

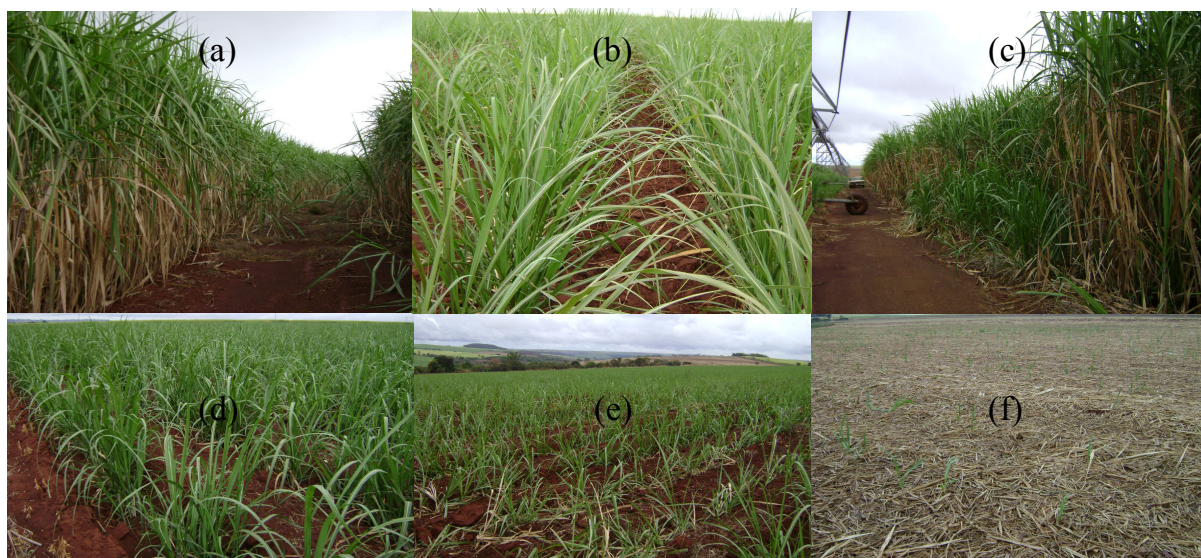


Figura 19 - (a) Cana-planta da gleba A1 (plantio em 25/10/2006, Variedade RB 86-7515), (b) Cana-planta da gleba A1 (plantio em 05/03/2007, Variedade RB 85-5453), (c) Cana-planta da gleba pivô (plantio em 10/08/2006, Variedade RB 86-7515), (d) Cana-planta da Gleba A2 (plantio 31/03/2007, Variedade RB 81-3250), (e) Cana-planta da Gleba A5 (plantio 24/04/2007, Variedade RB 85-5536), (f) Palhada da cana na Gleba A6.

3.3 Imagens de satélite

As imagens do sensor TM (Thematic Mapper) do Landsat 5, de abrangência da fazenda Boa Fé no Triângulo Mineiro, para os anos de 2004, 2005, 2006 e 2007, foram adquiridas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em mídia CD com os arquivos no formato GeoTIFF (Quadro 6).

Quadro 6 - Datas de aquisição das imagens do sensor TM do Landsat 5, base/ponto, formato dos arquivos e mídia de gravação dos dados processados pelo INPE

| Datas | Base/Ponto | Formato | Mídia |
|------------|------------|---------|-------|
| 14/08/2004 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 30/08/2004 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 22/02/2005 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 11/04/2005 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 14/06/2005 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 01/08/2005 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 24/01/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 14/04/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 30/04/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 16/05/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 01/06/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 17/06/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 03/07/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 19/07/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 04/08/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 05/09/2006 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 17/04/2007 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 03/05/2007 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 04/06/2007 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 20/06/2007 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 06/07/2007 | 220/74 | GeoTIFF | CD |
| 07/08/2007 | 220/74 | GeoTIFF | CD |

Com relação aos dados do sensor MODIS (Quadro 7), no presente trabalho, utilizou-se o produto MOD09GHK que se refere às imagens de reflectância espectral de superfície das bandas 1 a 7. Para a obtenção da temperatura da superfície, utilizou-se o produto MOD11A1, que compreende as bandas 31 e 32. Estes produtos foram obtidos no formato hdf ao acessar o sítio: <http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>.

Quadro 7 - Datas de aquisição dos produtos do sensor MODIS com o respectivo formato de arquivo

| Datas | Produtos | | Formato |
|----------|----------|---------|---------|
| 09/02/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 23/02/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 06/03/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 05/04/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 12/04/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 05/05/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 16/05/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 08/06/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 10/06/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 17/06/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 25/06/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 13/07/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 02/08/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 14/08/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 08/09/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 21/09/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 08/10/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |
| 24/12/05 | MOD09GHK | MOD11A1 | HDF |

3.4 Algoritmo SEBAL

O SEBAL é um algoritmo no qual tem apresentado resultados animadores em diversos estudos ao redor do mundo com desempenho superior a 75% nas estimativas dos fluxos de energia, sendo que na maioria dos casos o desempenho tem sido superior

a 85% (Bastiaanssen et al., 1998a; Bastiaanssen et al., 1998b; Bastiaanssen e Bos, 1999; Bastiaanssen et al., 2000; Bastiaanssen e Bandara, 2001; Bastiaanssen e Ali, 2003; Chemin et al., 2004; Gieske e Meijninger, 2005; Bastiaanssen et al., 2005; Trezza, 2006; Kongo e Jewitt, 2006; Kimura et al., 2007; Compaoré et al., 2008), fato este relacionado à qualidade dos dados coletados no campo, às características e/ou propriedades físicas inerentes ao sensor orbital (TM - Landsat 5, NOAA-AVHRR, MODIS-Terra/Aqua, etc), aos alvos observados, à composição atmosférica, entre outros.

A aplicação do SEBAL consiste em métodos baseados fisicamente no esquema de transferência da camada única para o calor sensível (H) e numa estimativa empírica para o fluxo de calor no solo (G). O saldo de radiação (Rn) é calculado através da refletância e emitância da radiação, variável espacialmente. O fechamento do balanço de energia, pixel a pixel, é processado ao considerar o fluxo de calor latente (LE) como um resíduo da equação do balanço de energia, descrita a seguir.

$$LE = Rn - H - G \quad (6)$$

Em que, LE, Rn, H e G são dados em $W m^{-2}$.

Para Estimar o fluxo de calor latente, o SEBAL requer imagens de satélite que contenham informações espectrais nas bandas refletivas do visível e infravermelho próximo, e também da banda do infravermelho termal. O SEBAL pode ser aplicado com dados de uma extensiva gama de sensores de plataformas orbitais, como: ASTER, NOAA-AVHRR, MODIS-Terra/Acqua, e TM - Landsat 5, entre outros. No entanto, neste estudo, foram utilizadas imagens obtidas por meio do sensor TM-Landsat 5 ('Thematic Mapper' do satélite Landsat 5) e do sensor MODIS-Terra.

3.4.1 Aplicação do SEBAL com imagens TM-Landsat 5

As imagens TM - Landsat 5 são compostas de sete bandas espectrais, sendo que seis bandas são refletivas e uma termal (banda 6). Informações detalhadas de cada

banda, juntamente com os coeficientes de calibração radiométrica, estão apresentados no Quadro 8.

A radiância espectral dos alvos observados pelo sensor TM são armazenadas em níveis de cinza, ou número digital, os quais variam de 0 a 255 (resolução radiométrica de 8 bits) e tendo resolução espacial de 30 m nas bandas refletivas e 120 m na banda do termal.

Da equação 6, o saldo de radiação (R_n) é a primeira variável a ser obtida. Nesse processo, uma série de seqüências foi efetuada (Figura 20), sendo que a primeira consiste no cálculo da radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}), dada por:

$$L_{\lambda_i} = L_{\min} + \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} ND \quad (7)$$

Em que, ND é o número digital de cada pixel, já os coeficientes L_{\max} e L_{\min} são as radiâncias espectrais máximas e mínimas ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) os quais estão apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Descrição das bandas do TM - Landsat 5, apresentando os coeficientes de calibração (L_{\min} e L_{\max}) após 5 de maio de 2003

| Bandas | Comprimento de onda (μm) | Coeficientes de calibração ($Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$) | |
|----------------|---------------------------------|---|------------|
| | | L_{\min} | L_{\max} |
| 1 (azul) | 0,45 – 0,52 | -1,52 | 193 |
| 2 (verde) | 0,52 – 0,60 | -2,84 | 365 |
| 3 (vermelho) | 0,63 – 0,69 | -1,17 | 264 |
| 4 (IV-próximo) | 0,76 – 0,90 | -1,51 | 221 |
| 5 (IV-médio) | 1,55 – 1,75 | -0,37 | 30,2 |
| 6 (IV-termal) | 10,4 – 12,5 | 1,2378 | 15,303 |
| 7 (IV-médio) | 2,08 – 2,35 | -0,15 | 16,5 |

Fonte: Chander e Markham (2003).

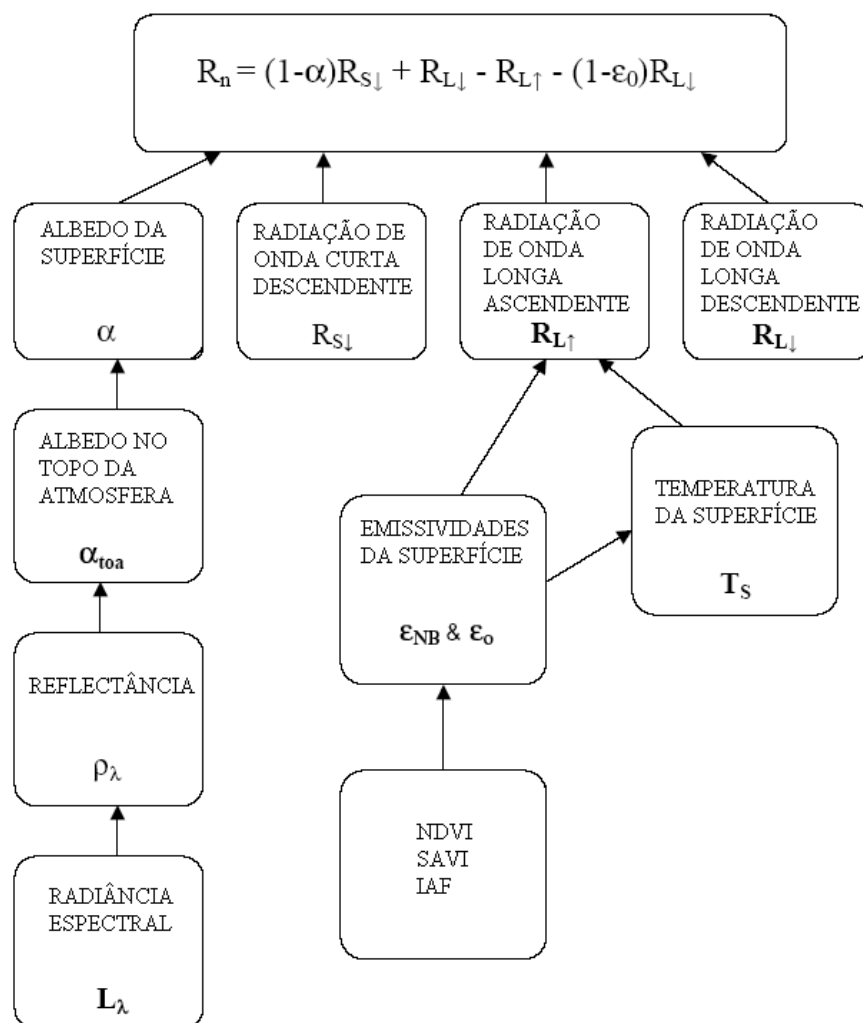


Figura 20 – Fluxograma para estimativa do saldo de radiação. Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002).

Posteriormente, calculou-se a reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}) com a equação sugerida por Allen et al. (2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi L_{\lambda_i}}{E_{\lambda_i} \cos \theta_z d_r} \quad (8)$$

Em que, L_{λ_i} é a radiância espectral de cada banda, E_{λ_i} é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$), θ_z é o ângulo zenital solar e d_r é a distância relativa terra-sol (em unidade astronômica - UA).

Com a reflectância de cada banda foi possível obter o albedo no topo da atmosfera (α_{toa}) e, por sua vez, o albedo considerando os efeitos atmosféricos ou albedo da superfície (α):

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,154\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_6 \quad (9)$$

$$\alpha = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \quad (10)$$

Em que, α_p é o albedo da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, foi utilizado o valor de 0,03; τ_{sw} é a transmissividade atmosférica que para condições de céu claro, pode ser obtida por:

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z_a \quad (11)$$

Em que, z_a é a altitude.

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) foi obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) e a soma das mesmas (Allen et al., 2002):

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

O NDVI é um dos índices de vegetação mais citados em trabalhos científicos, provavelmente devido à sua variação finita (-1 a 1), o que facilita a interpretação dos resultados. Estudos empíricos mostram que este índice apresenta correlações significativas com as variáveis biofísicas da vegetação, principalmente com aquelas que descrevem a fração responsável pela fotossíntese, tais como biomassa verde e índice de área foliar (Gamon et al., 1995; Fonseca, 2000). O NDVI também apresenta

correlação significativa com a radiação fotossinteticamente ativa absorvida ou interceptada pelo dossel (Asrar et al., 1984; Sellers, 1985; Steinmetz et al., 1990) e, por esse motivo, oferece um avançado método para a avaliação da eficiência biológica da cultura (Daughtry et al., 1992).

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index - SAVI), empregou-se a expressão de Huete (1988):

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

O SAVI é um índice que busca diminuir a influência da resposta espectral do solo, mediante a inclusão de um fator de ajuste (L) que é variável com o grau de fechamento do dossel, permitindo uma melhora na interpretação das variáveis da vegetação. Neste estudo utilizou o valor de L igual a 0,5.

No cálculo do Índice de Área Foliar (IAF), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, adotou-se a equação empírica sugerida por Allen et al. (2002):

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

Para obtenção da temperatura da superfície (T_s , em kelvin), foi utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (15)$$

Em que, K_1 ($607,76 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) e K_2 ($1260,56 \text{ W m}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) são constantes de calibração da banda termal do sensor TM-Landsat 5 e $L_{\lambda,6}$ é a radiância

espectral da banda termal. Como cada superfície não emite radiação eletromagnética como se fosse um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal (ε_{NB}). Assim, quando for calculada a radiação de onda longa emitida da superfície, deverá ser considerada a emissividade da banda larga (ε_0) (6 – 14 μm). Segundo Allen et al. (2002), as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para $\text{NDVI} > 0$ e $\text{IAF} < 3$, pelas expressões:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 \text{ IAF} \quad (16)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 \text{ IAF} \quad (17)$$

Sendo adotado o valor de $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$, para pixels com $\text{IAF} \geq 3$. E, conforme Allen et al. (2002) utilizou-se para corpos d'água ($\text{NDVI} < 0$ e $\alpha < 0,47$) os valores de $\varepsilon_{NB} = 0,99$ e $\varepsilon_0 = 0,985$.

Após o cálculo de ε_0 , a equação de Stefan-Boltzman foi utilizada na obtenção da radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$, em W m^{-2}):

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

Em que, σ é a constante de Stefan-Boltzman ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$).

A estimativa da radiação de onda longa incidente emitida pela atmosfera na direção da superfície ($R_{L\downarrow}$, em W m^{-2}), também foi feita por meio da equação de Stefan-Boltzman, só que considerando a emissividade atmosférica que é expressa por:

$$\varepsilon_a = 0,85 (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (19)$$

A radiação incidente de onda curta ($R_{s\downarrow}$, em W m^{-2}), definida como o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre, foi estimada para condição de céu claro, da seguinte forma:

$$R_{s\downarrow} = G_{SC} \cos \theta_z d_r \tau_{sw} \quad (20)$$

Em que, G_{sc} é a constante solar (1367 W m^{-2}).

Calculado o valor de $R_{s\downarrow}$, estimou-se o saldo de radiação à superfície (R_n , em W m^{-2}) utilizando-se a equação do balanço de radiação à superfície, dada por:

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_0) R_{L\downarrow} \quad (21)$$

Obteve-se, em seguida, o fluxo de calor no solo (G , em W m^{-2}) por meio da equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000):

$$G = \left[\frac{T_s}{\alpha} (0,0038 \alpha + 0,0074 \alpha^2) (1 - 0,98 \text{NDVI}^4) \right] R_n \quad (22)$$

Em que, T_s é a temperatura da superfície ($^{\circ}\text{C}$), α é o albedo da superfície e NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada, calculados pixel a pixel. Para efeito de correção dos valores do fluxo de calor no solo para corpos d'água ($\text{NDVI} < 0$), utilizou-se a expressão (Allen et al., 2002):

$$G = 0,3 R_n \quad (23)$$

Obtido o valor de G , iniciou-se a uma nova série de passos necessários para a obtenção do fluxo de calor sensível (H).

O fluxo de calor sensível (H) é a taxa de perda de calor para o ar por convecção e condução, devido a uma diferença de temperatura. Este fluxo é estimado com base na velocidade do vento (u) e temperatura da superfície usando uma calibração interna da diferença da temperatura entre dois níveis próximos à superfície (Bastiaanssen et al., 1998a).

Para estimativa de H, o processo tem início considerando a condição de atmosfera neutra. Primeiramente, obtém-se o parâmetro de rugosidade inicial ($z_{om\ inicial}$) ao aplicar a equação sugerida por Allen et al. (2002):

$$z_{om\ inicial} = 0,12 h \quad (24)$$

Em que, h é a altura média da vegetação (m). Nesse caso utilizou-se $h = 1,0$ m.

Posteriormente, calcula-se a velocidade de fricção (u_*) para a condição de atmosfera neutra:

$$u_* = \frac{k u_2}{\ln\left(\frac{z_2}{z_{om\ inicial}}\right)} \quad (25)$$

Em que, k é a constante de von Karman (0,41), u_2 é a velocidade do vento ($m\ s^{-1}$) na altura (z_2) de 2,0 m.

Com as informações de $z_{om\ inicial}$ e u_* foi possível estimar a velocidade do vento a uma altura (z) de 100 m (u_{100} , $m\ s^{-1}$) chamada de “blending height” (altura de mistura), onde se assume que os efeitos da rugosidade da superfície são desprezíveis:

$$u_{100} = u_* \frac{\ln\left(\frac{100}{z_{om}}\right)}{k} \quad (26)$$

Em seguida, ainda para condição de atmosfera neutra, calculou-se a resistência aerodinâmica inicial ($r_{ah\ inicial}$):

$$r_{ah\ inicial} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{u_* k} \quad (27)$$

Em que, z_1 e z_2 são as alturas de 0,1 e 2,0 m, respectivamente.

Nos passos seguintes, utilizou-se z_{0m} obtido por meio da expressão proposta por Bastiaanssen et al. (1998a):

$$z_{0m} = \exp(-5,809 + 5,62 \text{ SAVI}) \quad (28)$$

O SEBAL utiliza dois pixels denominados “pixels âncoras” para fixar condições limite para o balanço de energia. Estes pixels são chamados de “quente” e “frio” e ficam situados na área de estudo. O pixel “frio” foi selecionado numa superfície de cultura bem irrigada que cobre completamente o solo com a vegetação. A temperatura do ar próxima à superfície e a temperatura da superfície são consideradas iguais para esse pixel. Nesse caso, assumiu-se que o fluxo de calor sensível é igual a zero, e então, determinou-se o fluxo de calor latente máximo por meio da equação:

$$LE_{frio} = Rn - G \quad (29)$$

O pixel “quente” foi selecionado num campo agrícola seco, com solo exposto ou sem vegetação, onde assumiu-se que o fluxo de calor latente é igual a zero, podendo assim, obter o fluxo de calor sensível máximo ao empregar a equação:

$$H_{quente} = Rn - G = \frac{\rho c_p (a + b T_s)}{r_{ah}} \quad (30)$$

Em que, a e b são parâmetros de ajuste, ρ é a densidade do ar úmido (kg m^{-3}) e c_p o calor específico do ar à pressão constante ($1004 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

Por meio dos pixels âncoras pôde-se então encontrar os coeficientes de correlação a e b para obtenção de dT em cada pixel:

$$dT = a + b T_s \quad (31)$$

Como no pixel frio $dT = 0$, ou seja, $a + bT_s = 0$, tem-se um sistema com duas equações e duas incógnitas, o que possibilita o cálculo de a e b . Logo, obteve-se o fluxo de calor sensível, pixel a pixel, num processo iterativo até que o valor de r_{ah} fosse estabilizado:

$$H = \rho c_p \frac{dT}{r_{ah}} \quad (32)$$

No entanto, os valores obtidos não são adequadamente representativos do H em cada pixel e serviu, tão somente, como valores iniciais de um processo iterativo, que nas etapas seguintes foram consideradas, efetivamente, a condição de estabilidade de cada pixel. Com isso, devido aos efeitos turbulentos aquecerem a superfície e afetarem as condições atmosféricas e a resistência aerodinâmica, aplicou-se a teoria da similaridade de Monin-Obukhov (L , em m), sendo assim, considerado no cálculo do fluxo de calor sensível, principalmente para as condições do pixel “quente”.

O parâmetro de comprimento de Monin-Obukov foi utilizado para definir as condições de estabilidade da atmosfera, sendo estimado por:

$$L = - \frac{\rho c_p u_*^3 T_s}{k g H} \quad (33)$$

Em que, g é a aceleração da gravidade ($9,81 \text{ m s}^{-2}$) e k é a constante de von Karman (0,41).

Os valores de L definem a condição de estabilidade da seguinte forma: se $L < 0$, a atmosfera é considerada instável; se $L > 0$, a atmosfera é considerada estável e se $L = 0$ pode-se dizer que a atmosfera está na condição de neutralidade.

Ao determinar a condição de estabilidade da atmosfera, os valores das correções de estabilidade para o transporte de momentum (ψ_m) e de calor (ψ_h) foram levados em conta. Para tanto, utilizou-se das formulações citadas por Allen et al. (2002):

Se $L < 0$; condição instável:

$$\Psi_{m(100m)} = 2 \ln\left(\frac{1 + x_{(100m)}}{2}\right) + \ln\left(\frac{1 + x_{(100m)}^2}{2}\right) - 2 \text{ARCTAN}(x_{(100m)}) + 0,5\pi \quad (34)$$

$$\Psi_{h(2m)} = 2 \ln\left(\frac{1 + x_{(2m)}^2}{2}\right) \quad (35)$$

$$\Psi_{h(0,1m)} = 2 \ln\left(\frac{1 + x_{(0,1m)}^2}{2}\right) \quad (36)$$

em que,

$$x_{(100m)} = \left(1 - 16 \frac{100}{L}\right)^{0,25} \quad (37)$$

$$x_{(2m)} = \left(1 - 16 \frac{2}{L}\right)^{0,25} \quad (38)$$

$$x_{(0,1m)} = \left(1 - 16 \frac{0,1}{L}\right)^{0,25} \quad (39)$$

Se $L > 0$; condição estável:

$$\Psi_{m(100m)} = -5 \left(\frac{100}{L} \right) \quad (40)$$

$$\Psi_{h(2m)} = -5 \left(\frac{2}{L} \right) \quad (41)$$

$$\Psi_{m(0,1m)} = -5 \left(\frac{0,1}{L} \right) \quad (42)$$

Se $L = 0$; condição neutra: ψ_m e $\psi_h = 0$.

A velocidade de fricção considerando a condição atmosférica foi estimada por:

$$u_* = \frac{k u_{100}}{\ln \left(\frac{z}{z_{0m}} \right) - \Psi_{m(100m)}} \quad (43)$$

De posse do valor corrigido de u_* , obteve-se o valor corrigido de r_{ah} :

$$r_{ah} = \frac{\ln \frac{z_2}{z_1} - \Psi_{h(2m)} + \Psi_{h(0,1m)}}{u_* k} \quad (44)$$

Em seguida, retornou-se ao cálculo da função da diferença de temperatura (dT), repetindo-se os cálculos mencionados anteriormente até que se obteve a estabilidade nos valores sucessivos de dT e r_{ah} para o pixel quente. A Figura 21 mostra o fluxograma do processo iterativo para o cálculo de H .

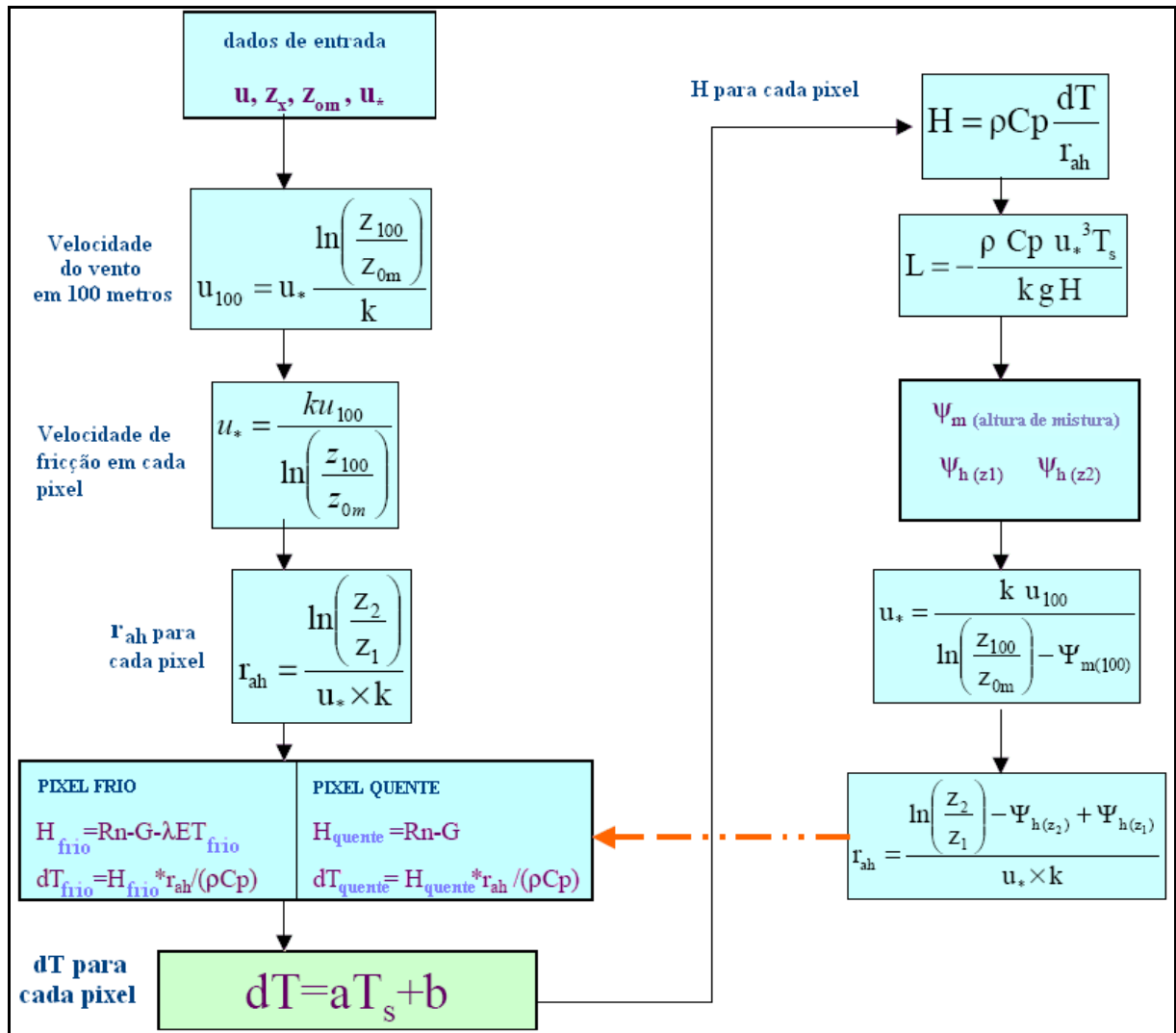


Figura 21 - Fluxograma do processo iterativo para o cálculo do fluxo de calor sensível (H). Fonte: Adaptado de Allen et al. (2002).

Com a obtenção de R_n , G e H , realizou-se a estimativa de LE por meio da equação do balanço de energia (equação 6). Em seqüência, foi possível estimar a fração evaporativa (λ):

$$\lambda = W = \frac{LE}{LE + H} = \frac{LE}{R_n - G} \quad (45)$$

Para estimativa da evapotranspiração diária (mm d^{-1}), foi empregada a equação sugerida por Ayenew (2003):

$$ET_{diário} = \frac{\lambda Rn_{diário}}{28} \quad (46)$$

Em que, a constante no denominador é requerida para conversão de unidades, ou seja, para transformar $W m^{-2}$ para $mm d^{-1}$; $Rn_{diário}$ é o saldo de radiação integrado em 24 horas, dado por:

$$Rn_{diário} = (1 - \alpha) K_{diário}^{\downarrow} + L_{diário}^{\downarrow} \quad (47)$$

Em que, $K_{diário}^{\downarrow}$ é a radiação solar global integrada para um período de 24 h ($W m^{-2}$, obtida na estação meteorológica); $L_{diário}^{\downarrow}$ representa o balanço diário de radiação de onda longa ($W m^{-2}$), calculado pela expressão:

$$L_{diário}^{\downarrow} = \sigma (0,34 - 0,14 e_a^{0,5}) T_a^4 \quad (48)$$

Em que, e_a é a pressão parcial de vapor (mmbar); T_a é a temperatura do ar (K).

A fração evaporativa (λ) foi também utilizada para a estimativa da biomassa. Para tanto, adotou-se a metodologia sugerida por Bastiaanssen e Ali (2003). Primeiramente, obteve-se a radiação fotossinteticamente ativa (PAR, em $W m^{-2}$) por meio da equação:

$$PAR = 0,48 K_{diário}^{\downarrow} \quad (49)$$

Esta equação, expressa a PAR como 48% da radiação de onda curta incidente num período de 24 horas.

Sabe-se que a radiação absorvida e utilizada pelos pigmentos da planta (Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida, APAR) encontra-se na faixa correspondente ao espectro de luz visível (0,4 e 0,7 μm). Também, é sabido que a radiação na faixa do infravermelho próximo é fortemente refletida pela vegetação. Devido a esta absorção seletiva e reflexão pelas plantas, a combinação da reflectância

do visível e do infravermelho próximo deu origem aos chamados índices de vegetação, sendo o NDVI um dos mais usados na estimativa da fração da radiação PAR absorvida pelo dossel das plantas (FPAR, em $W m^{-2}$). Com base nesse conceito, determinou-se a FPAR por meio da expressão empírica sugerida por Daughtry et al. (1992):

$$FPAR = 0,161 + 1,257 NDVI \quad (50)$$

Após as estimativas de PAR e FPAR, pode-se então determinar a APAR (em $W m^{-2}$) empregando a equação:

$$APAR = FPAR PAR \quad (51)$$

Em seqüência, realizou-se o cálculo dos escalares de temperatura T_1 e T_2 , dado por:

$$T_1 = 0,8 + 0,02 T_{opt} - 0,0005 T_{opt}^2 \quad (52)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp\{0,2(T_{opt} - 10 - T_{mon})\}} \cdot \frac{1}{1 + \exp\{0,3(-T_{opt} - 10 + T_{mon})\}} \quad (53)$$

Em que, T_1 é um fator que descreve os efeitos que surgem por causa do ar frio; T_2 é um fator de redução da eficiência do uso da radiação devido ao ar quente; T_{opt} é a temperatura média do ar ($^{\circ}C$), durante o mês de máximo índice de área foliar ou NDVI; T_{mon} é a temperatura do ar média mensal ($^{\circ}C$).

Nesse ponto, ao substituir o escalar da disponibilidade hídrica (W) pela fração evaporativa (λ) foi feito o cálculo da eficiência do uso da radiação (ε), utilizando para tal finalidade o modelo proposto por Field et al. (1995), descrito pela expressão:

$$\varepsilon = \varepsilon^* T_1 T_2 \lambda \quad (54)$$

Em que, ε^* é a máxima eficiência do uso da radiação, cujo valor utilizado para cana-de-açúcar, conforme literatura (Bastiaanssen e Ali, 2003), foi de $3,7 \text{ g MJ}^{-1}$.

Com a determinação de ε , foi possível estimar a biomassa por meio do modelo proposto por Monteith (1972) e adotado por Bastiaanssen e Ali (2003):

$$Bio_{total} = \varepsilon \sum (APAR(t)) \quad (55)$$

Em que, Bio_{total} é a biomassa total acumulada (kg m^{-2}).

A conversão de biomassa acumulada para produtividade da cultura foi realizada por meio da equação:

$$Y_c = I_c Bio_{total} \quad (56)$$

Em que, Y_c é a produtividade da cultura (kg m^{-2}); I_c é o índice de colheita. Foi utilizado I_c de 0,80 (conforme sugerido por Bastiaanssen e Ali, 2003).

3.4.2 Aplicação do SEBAL com imagens MODIS - Terra

Após obtidas as imagens do sensor MODIS no formato HDF, utilizou-se o software MRT (MODIS Reprojection Tool) para unir os “Tiles” e converter do formato HDF para GeoTIFF. A Figura 22a mostra os “Tiles” utilizados (destacados na cor ciano) e a Figura 22b mostra a janela principal do software MRT. Para o sistema de projeção UTM foi utilizado o elipsóide WGS84.

Realizou-se a conversão das bandas de reflectância (bandas 1 a 7, produto MOD09GHK) e do produto de temperatura (LST, MOD11A1) para o formato GeoTIFF. Em sequência, aplicou-se a ferramenta “Layer Selection and Stacking” do software “Erdas Imagine 8.7” para unir as bandas de reflectância. Posteriormente, selecionou-se a área de interesse utilizando a ferramenta “Inquire Box Coordinates” e efetuou-se o recorte da área selecionada com a utilização da ferramenta “Subset”.

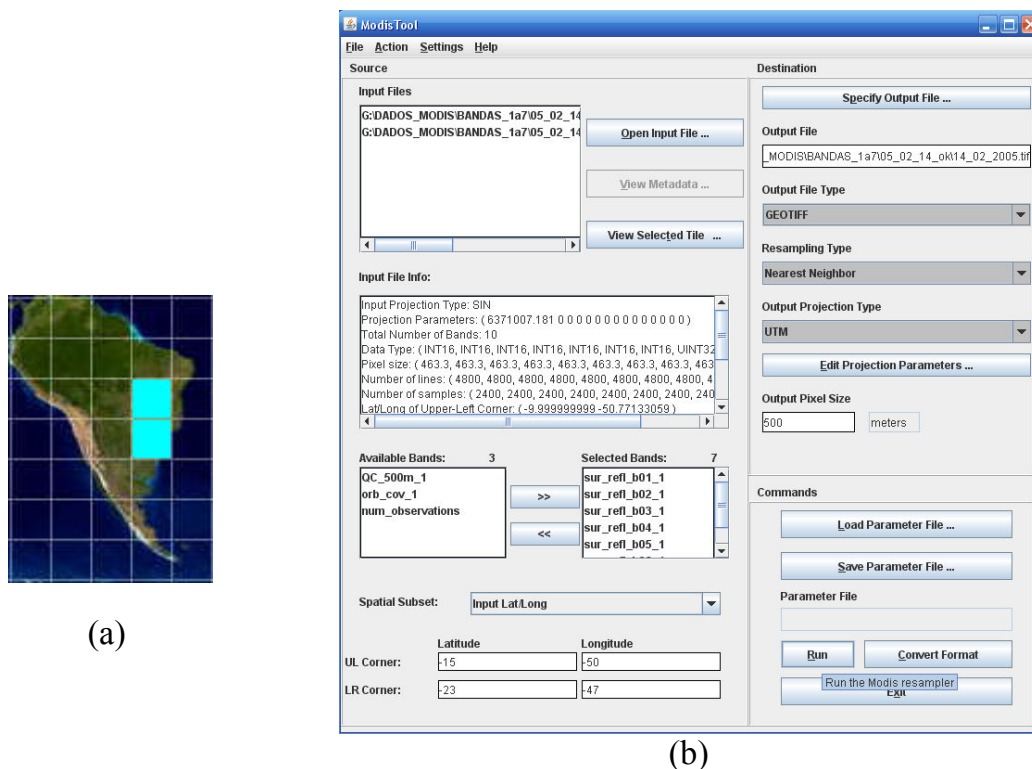


Figura 22 – (a) Visualização dos “Tiles” selecionados (b) e da janela principal do software MRT - Modis Reprojection Tool.

Os produtos MOD09GHK e MOD11A1 já possuem correção dos efeitos atmosféricos, nos quais são feitos por meio de um complexo algoritmo interno utilizado pelo MODIS. Sendo assim, o primeiro passo é a obtenção do albedo de superfície. Inicialmente, de acordo com cabeçalho de informações que vem junto com as imagens (arquivo .txt), deve-se ajustar o número digital dos pixels ao multiplicá-lo por um fator de escala de 0,0001 para o produto reflectância (MOD09GHK) e de 0,02 para o produto LST (MOD11A1). Esta e as etapas seguintes foram feitas na ferramenta “Model Maker” do software “Erdas Imagine 8.7”.

Em seguida, o albedo de superfície (α) foi estimado ao aplicar a equação de Liang (2000):

$$\alpha = 0,160\rho_1 + 0,291\rho_2 + 0,243\rho_3 + 0,116\rho_4 + 0,112\rho_5 + 0,081\rho_7 - 0,0015 \quad (56)$$

Em que, $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_7$, são as bandas de reflectância do produto MOD09GHK

Nas etapas seguintes foram utilizadas as mesmas equações aplicadas para as imagens TM – Landsat 5, com exceção da equação de temperatura da superfície, pois no MODIS a temperatura da superfície (também chamada de LST) já foi obtida como um produto (MOD11A1). A LST foi utilizada no SEBAL para o cálculo de $R_{L\uparrow}$, G e H.

3.5 Obtenção da evapotranspiração de referência (ET_o) e da cultura (ET_c)

Foi utilizado o “software REF-ET versão 2.01.14” para obtenção da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo método de Penman-Monteith (FAO 56), conforme metodologia adotada por Allen et al. (2002).

A ET_c foi estimada por meio da multiplicação do coeficiente de cultura (k_c) da cana-de-açúcar pelo valor de ET_o , ou seja, $ET_c = k_c ET_o$. Foram adotados, de acordo com os estádios de desenvolvimento da cana-de-açúcar, os valores de k_c dual obtidos por Lyra et al. (2007).

3.6 Análises estatísticas

Para avaliação dos resultados, utilizou-se a análise de concordância de Willmott (d), o erro absoluto médio (EAM), erro padrão de estimativa (EPE) e a raiz do erro quadrático médio (REQM), representados pelas expressões:

$$d = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right\} \quad (57)$$

$$EAM = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{N} \quad (58)$$

$$EPE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N-1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (59)$$

$$REQM = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (60)$$

Em que, P_i é o i ésimo valor estimado, O_i é o i ésimo valor observado, O é o valor médio observado, N é o número de dados analisados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Imagens TM-Landsat 5

Nos Quadros 9 e 10 são apresentados os valores de albedo (α), índices de vegetação (NDVI e SAVI), emissividade (ϵ_0), parâmetro de rugosidade (z_{om}), velocidade de fricção (u_*), resistência aerodinâmica (r_{ah}), temperatura da superfície (T_s), radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$), saldo de radiação (R_n), fluxos de calor no solo (G), sensível (H) e latente (LE) obtidos nos pixels âncoras (pixels “quente” e “frio”) de cada imagem TM-Landsat 5 nas datas de estudo, na área da fazenda Boa Fé, Conquista, MG.

As cenas de 22/02/2005 e 24/01/2006 foram as que apresentaram os valores máximos de α , NDVI, SAVI, ϵ_0 , T_s , $R_{L\uparrow}$, R_n , G e H nos pixels frio e quente. Já as cenas dos meses de maio, junho, julho e agosto se destacam como aquelas nas quais contém grande parte dos valores mínimos registrados nos pixels quente e frio. Nota-se que estes resultados possuem consistência, visto que a vegetação predomina nos meses mais quentes e chuvosos, nos quais apresentam boas condições para o crescimento e desenvolvimento da cultura.

Quadro 9 - Valores de albedo (α), índices de vegetação (NDVI e SAVI), emissividades (ϵ_o), parâmetro de rugosidade (z_{om}), velocidade de fricção (u_*) e resistência aerodinâmica (r_{ah}) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem TM Landsat 5, em determinadas datas, na área da fazenda Boa Fé, Conquista, MG

| Data | Pixels âncoras | Parâmetros | | | | | | |
|------------|----------------|------------|------|------|--------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | α | NDVI | SAVI | ϵ_o | z_{om} (m) | u_* ($m\ s^{-1}$) | r_{ah} ($s\ m^{-1}$) |
| 14/08/2004 | Pixel Quente | 0,13 | 0,10 | 0,05 | 0,958 | 0,004 | 0,163 | 29,605 |
| | Pixel Frio | 0,23 | 0,61 | 0,45 | 0,977 | 0,038 | 0,138 | 50,635 |
| 30/08/2004 | Pixel Quente | 0,15 | 0,14 | 0,08 | 0,959 | 0,005 | 0,218 | 24,594 |
| | Pixel Frio | 0,18 | 0,56 | 0,37 | 0,971 | 0,024 | 0,068 | 100,000 |
| 22/02/2005 | Pixel Quente | 0,23 | 0,35 | 0,24 | 0,965 | 0,011 | 0,546 | 12,250 |
| | Pixel Frio | 0,24 | 0,82 | 0,68 | 0,985 | 0,139 | 0,230 | 37,351 |
| 11/04/2005 | Pixel Quente | 0,12 | 0,07 | 0,03 | 0,958 | 0,004 | 0,548 | 12,359 |
| | Pixel Frio | 0,23 | 0,82 | 0,67 | 0,985 | 0,127 | 0,273 | 28,508 |
| 14/06/2005 | Pixel Quente | 0,12 | 0,12 | 0,05 | 0,958 | 0,004 | 0,152 | 30,645 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,67 | 0,44 | 0,976 | 0,035 | 0,125 | 56,110 |
| 01/08/2005 | Pixel Quente | 0,12 | 0,15 | 0,07 | 0,959 | 0,004 | 0,672 | 10,429 |
| | Pixel Frio | 0,16 | 0,72 | 0,48 | 0,979 | 0,044 | 0,929 | 7,543 |
| 24/01/2006 | Pixel Quente | 0,19 | 0,23 | 0,14 | 0,961 | 0,007 | 0,559 | 12,076 |
| | Pixel Frio | 0,29 | 0,83 | 0,74 | 0,950 | 0,196 | 0,262 | 29,682 |
| 14/04/2006 | Pixel Quente | 0,20 | 0,32 | 0,20 | 0,963 | 0,009 | 0,312 | 18,580 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,63 | 0,39 | 0,973 | 0,028 | 0,106 | 98,392 |
| 30/04/2006 | Pixel Quente | 0,11 | 0,10 | 0,04 | 0,958 | 0,004 | 0,366 | 17,240 |
| | Pixel Frio | 0,18 | 0,68 | 0,46 | 0,977 | 0,039 | 0,152 | 51,124 |
| 16/05/2006 | Pixel Quente | 0,14 | 0,12 | 0,06 | 0,959 | 0,004 | 0,204 | 25,460 |
| | Pixel Frio | 0,11 | 0,69 | 0,43 | 0,975 | 0,034 | 0,181 | 38,764 |
| 01/06/2006 | Pixel Quente | 0,11 | 0,10 | 0,04 | 0,958 | 0,004 | 0,336 | 17,924 |
| | Pixel Frio | 0,16 | 0,63 | 0,39 | 0,972 | 0,027 | 0,360 | 19,480 |
| 17/06/2006 | Pixel Quente | 0,10 | 0,16 | 0,07 | 0,959 | 0,004 | 0,304 | 19,602 |
| | Pixel Frio | 0,14 | 0,58 | 0,33 | 0,969 | 0,019 | 0,300 | 23,363 |
| 03/07/2006 | Pixel Quente | 0,10 | 0,16 | 0,06 | 0,959 | 0,004 | 0,170 | 28,757 |
| | Pixel Frio | 0,16 | 0,69 | 0,44 | 0,976 | 0,035 | 0,053 | 100,000 |
| 19/07/2006 | Pixel Quente | 0,11 | 0,14 | 0,06 | 0,959 | 0,004 | 0,222 | 24,213 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,67 | 0,44 | 0,976 | 0,036 | 0,078 | 100,000 |
| 04/08/2006 | Pixel Quente | 0,13 | 0,09 | 0,04 | 0,958 | 0,004 | 0,251 | 22,056 |
| | Pixel Frio | 0,13 | 0,43 | 0,22 | 0,964 | 0,010 | 0,219 | 32,018 |
| 05/09/2006 | Pixel Quente | 0,18 | 0,08 | 0,05 | 0,958 | 0,004 | 0,411 | 15,468 |
| | Pixel Frio | 0,22 | 0,69 | 0,51 | 0,982 | 0,053 | 0,521 | 13,439 |
| 17/04/2007 | Pixel Quente | 0,13 | 0,07 | 0,03 | 0,958 | 0,004 | 0,335 | 17,949 |
| | Pixel Frio | 0,21 | 0,74 | 0,56 | 0,985 | 0,068 | 0,417 | 16,791 |
| 03/05/2007 | Pixel Quente | 0,13 | 0,16 | 0,08 | 0,959 | 0,005 | 0,389 | 16,272 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,64 | 0,41 | 0,974 | 0,030 | 0,432 | 16,214 |
| 04/06/2007 | Pixel Quente | 0,10 | 0,14 | 0,06 | 0,958 | 0,004 | 0,180 | 27,621 |
| | Pixel Frio | 0,16 | 0,73 | 0,49 | 0,980 | 0,046 | 0,058 | 100,000 |
| 20/06/2007 | Pixel Quente | 0,10 | 0,18 | 0,07 | 0,959 | 0,005 | 0,506 | 13,271 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,73 | 0,50 | 0,981 | 0,049 | 0,229 | 33,975 |
| 06/07/2007 | Pixel Quente | 0,11 | 0,12 | 0,05 | 0,958 | 0,004 | 0,875 | 8,006 |
| | Pixel Frio | 0,19 | 0,71 | 0,50 | 0,981 | 0,050 | 1,236 | 5,668 |
| 07/08/2007 | Pixel Quente | 0,12 | 0,27 | 0,13 | 0,961 | 0,006 | 1,052 | 6,735 |
| | Pixel Frio | 0,19 | 0,61 | 0,42 | 0,974 | 0,031 | 0,470 | 16,518 |

Quadro 10 - Valores de temperatura da superfície (T_s), radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$), saldo de radiação (R_n), fluxos de calor no solo (G), sensível (H) e latente (LE) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem TM Landsat 5, em determinadas datas, na área da fazenda Boa Fé, Conquista, MG

| Data | Pixels âncoras | T_s (k) | $R_{L\uparrow}$ ($w\ m^{-2}$) | R_n ($w\ m^{-2}$) | G ($w\ m^{-2}$) | H ($w\ m^{-2}$) | LE ($w\ m^{-2}$) |
|------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 14/08/2004 | Pixel Quente | 300,76 | 444,71 | 617,40 | 80,72 | 536,61 | 0 |
| | Pixel Frio | 292,00 | 402,70 | 739,32 | 66,87 | 0 | 672,34 |
| 30/08/2004 | Pixel Quente | 308,97 | 495,57 | 650,54 | 113,99 | 591,88 | 0 |
| | Pixel Frio | 302,56 | 461,41 | 714,99 | 97,77 | 0 | 617,22 |
| 22/02/2005 | Pixel Quente | 306,41 | 482,21 | 912,65 | 166,33 | 746,35 | 0 |
| | Pixel Frio | 297,51 | 421,98 | 981,96 | 69,13 | 0 | 969,55 |
| 11/04/2005 | Pixel Quente | 305,36 | 472,16 | 718,36 | 113,73 | 604,61 | 0 |
| | Pixel Frio | 294,21 | 418,47 | 864,32 | 54,78 | 0 | 821,16 |
| 14/06/2005 | Pixel Quente | 298,60 | 423,32 | 580,12 | 69,54 | 504,45 | 0 |
| | Pixel Frio | 292,93 | 407,36 | 636,17 | 50,75 | 0 | 585,39 |
| 01/08/2005 | Pixel Quente | 302,86 | 457,37 | 608,68 | 84,72 | 529,28 | 0 |
| | Pixel Frio | 292,82 | 408,29 | 693,85 | 51,01 | 0 | 639,49 |
| 24/01/2006 | Pixel Quente | 311,68 | 509,38 | 877,71 | 176,85 | 701,06 | 0 |
| | Pixel Frio | 299,67 | 434,40 | 1036,70 | 85,90 | 0 | 950,76 |
| 14/04/2006 | Pixel Quente | 303,18 | 461,40 | 784,90 | 122,64 | 659,71 | 0 |
| | Pixel Frio | 298,76 | 436,57 | 791,16 | 85,27 | 0 | 719,45 |
| 30/04/2006 | Pixel Quente | 304,93 | 467,11 | 646,60 | 94,20 | 559,21 | 0 |
| | Pixel Frio | 295,12 | 420,46 | 753,91 | 66,56 | 0 | 687,33 |
| 16/05/2006 | Pixel Quente | 304,93 | 469,91 | 680,08 | 93,40 | 586,73 | 0 |
| | Pixel Frio | 294,68 | 417,84 | 677,91 | 57,98 | 0 | 600,02 |
| 01/06/2006 | Pixel Quente | 302,03 | 452,04 | 655,76 | 56,59 | 599,09 | 0 |
| | Pixel Frio | 296,55 | 427,07 | 643,04 | 62,70 | 0 | 580,38 |
| 17/06/2006 | Pixel Quente | 299,89 | 439,71 | 553,99 | 67,14 | 486,91 | 0 |
| | Pixel Frio | 293,09 | 405,34 | 615,84 | 52,76 | 0 | 563,14 |
| 03/07/2006 | Pixel Quente | 298,61 | 432,18 | 562,43 | 64,45 | 497,43 | 0 |
| | Pixel Frio | 292,93 | 407,35 | 631,41 | 48,27 | 0 | 583,16 |
| 19/07/2006 | Pixel Quente | 302,02 | 452,21 | 573,63 | 77,35 | 497,05 | 0 |
| | Pixel Frio | 294,26 | 414,98 | 649,08 | 55,25 | 0 | 593,84 |
| 04/08/2006 | Pixel Quente | 305,76 | 474,80 | 620,33 | 96,90 | 523,88 | 0 |
| | Pixel Frio | 296,35 | 423,81 | 667,50 | 71,84 | 0 | 580,43 |
| 05/09/2006 | Pixel Quente | 304,95 | 469,76 | 750,87 | 122,21 | 632,85 | 0 |
| | Pixel Frio | 292,99 | 411,74 | 851,29 | 72,97 | 0 | 763,27 |
| 17/04/2007 | Pixel Quente | 305,36 | 472,19 | 724,42 | 111,57 | 612,86 | 0 |
| | Pixel Frio | 294,01 | 417,31 | 847,47 | 66,41 | 0 | 781,07 |
| 03/05/2007 | Pixel Quente | 304,91 | 470,12 | 659,49 | 99,14 | 560,28 | 0 |
| | Pixel Frio | 294,32 | 414,28 | 747,91 | 66,49 | 0 | 681,48 |
| 04/06/2007 | Pixel Quente | 295,99 | 417,15 | 579,49 | 60,20 | 519,23 | 0 |
| | Pixel Frio | 287,33 | 378,57 | 665,86 | 34,11 | 0 | 631,64 |
| 20/06/2007 | Pixel Quente | 299,02 | 434,77 | 570,59 | 66,11 | 501,36 | 0 |
| | Pixel Frio | 293,24 | 408,80 | 654,21 | 47,54 | 0 | 620,91 |
| 06/07/2007 | Pixel Quente | 301,18 | 447,12 | 577,33 | 74,59 | 502,82 | 0 |
| | Pixel Frio | 294,15 | 416,44 | 661,71 | 53,90 | 0 | 607,53 |
| 07/08/2007 | Pixel Quente | 302,38 | 455,50 | 644,73 | 88,17 | 556,54 | 0 |
| | Pixel Frio | 296,07 | 424,45 | 726,86 | 74,76 | 0 | 652,10 |

A Figura 23 mostra os dados de NDVI máximo, mínimo e médio das cenas estudadas. Nota-se que o NDVI variou de -1,0 a 0,87 dentro dos limites territoriais da fazenda Boa Fé, sendo que, o NDVI médio no período analisado foi de 0,445, o que indica plantio o ano todo. Além disso, verifica-se que nos meses mais quentes e chuvosos são registrados os máximos valores médios observados. Já na Figura 24 tem-se a delimitação espacial de cada gleba de plantio da fazenda Boa Fé.

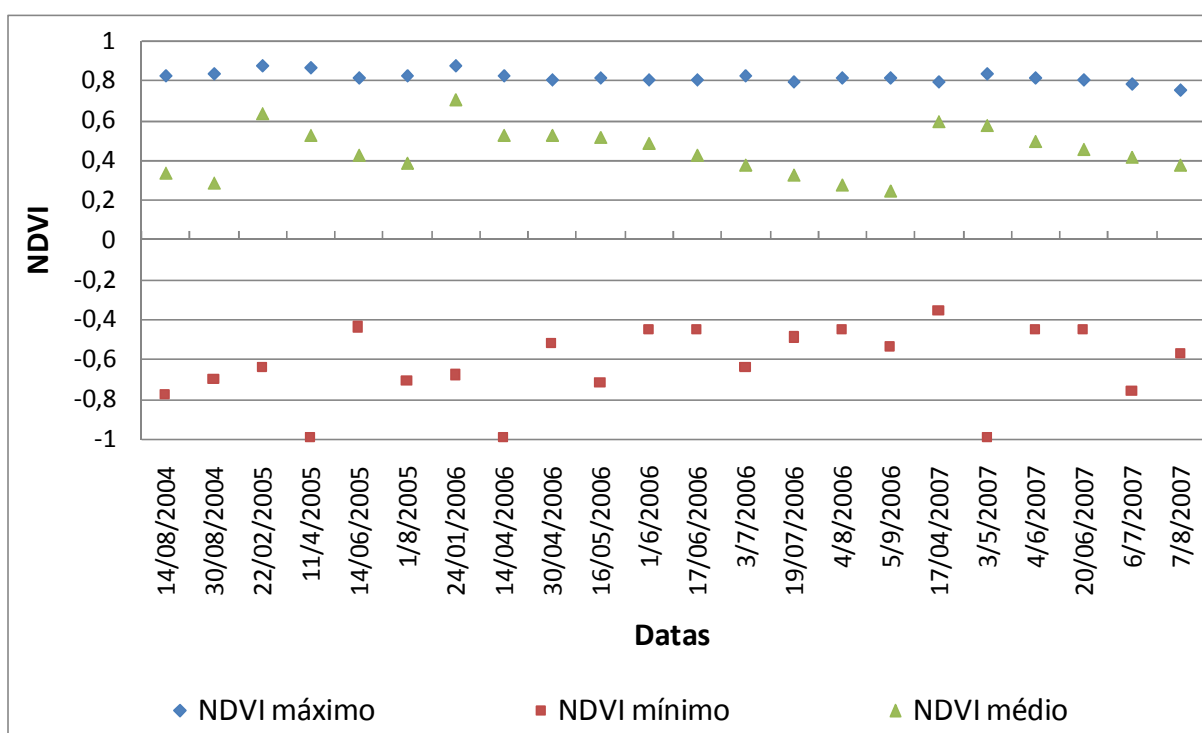


Figura 23 - Valores de NDVI máximos, mínimos e médios obtidos de imagens do sensor TM do Landsat 5, para a área da fazenda Boa Fé em determinadas datas dos anos de 2004, 2005, 2006 e 2007.

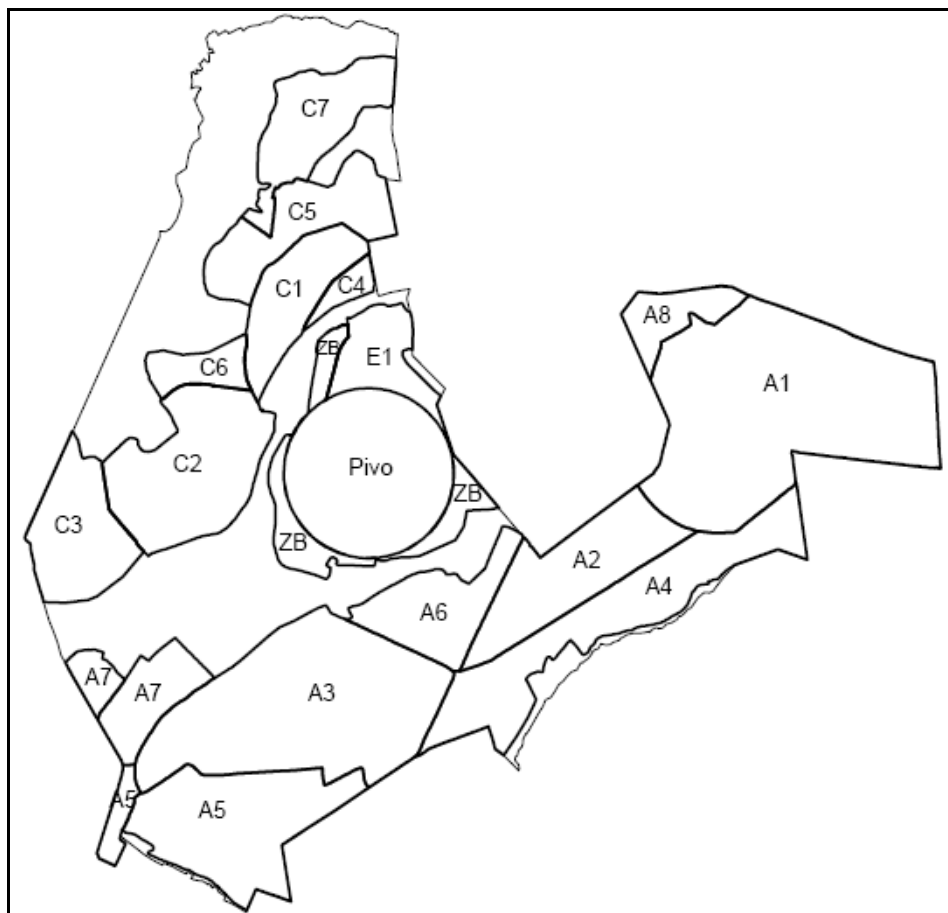


Figura 24 - Ilustração das glebas de plantio na fazenda Boa Fé, Conquista, MG.

Nas Figuras 25 e 26 são apresentadas as imagens do sensor TM do Landsat 5 dos anos de 2004 a 2007, na composição das bandas 3,2,1 (RGB), com a delimitação da área da fazenda Boa Fé.

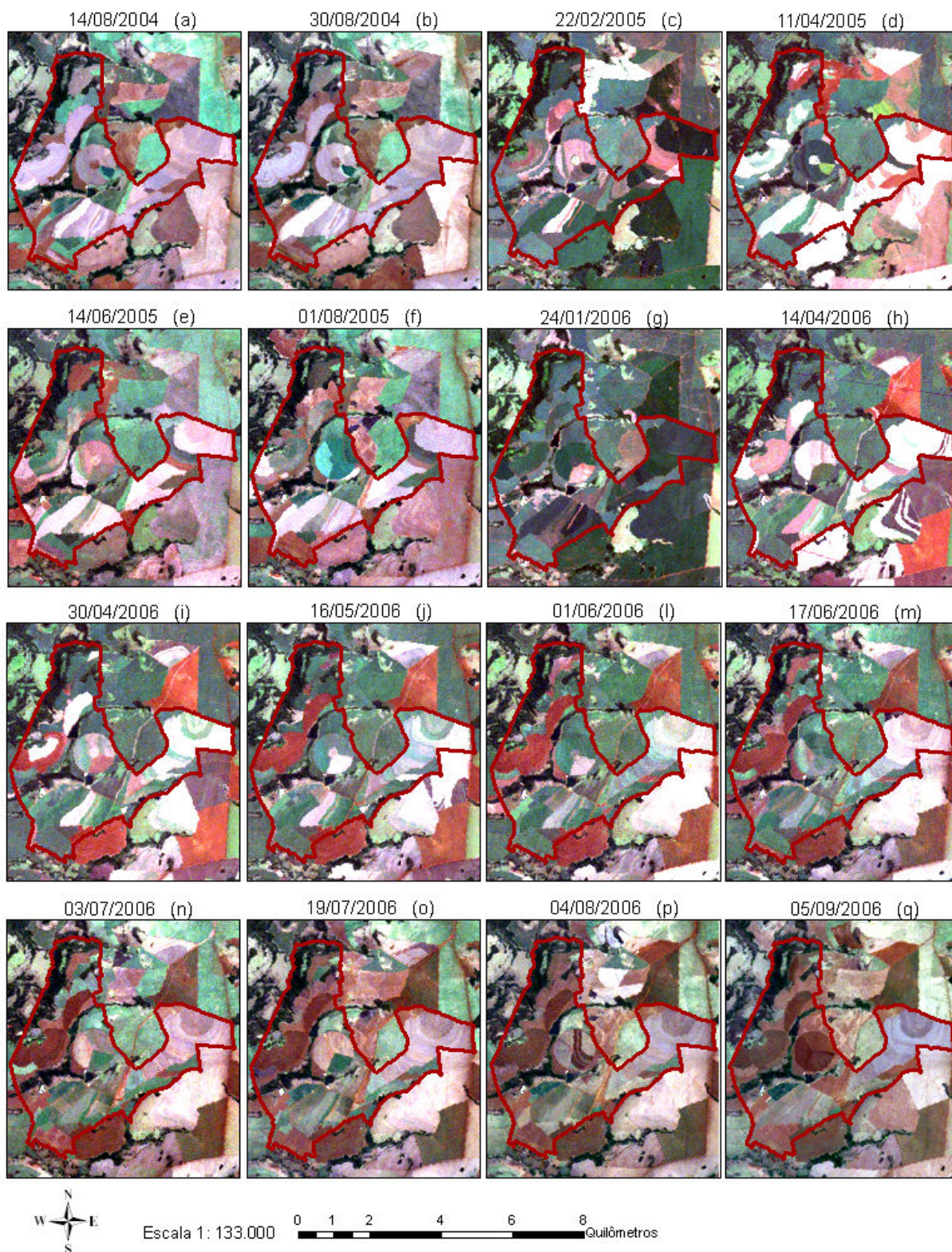


Figura 25 - Imagens do sensor TM do Landsat 5, na composição RGB das bandas 3,2,1, mostrando a delimitação da área da fazenda Boa Fé nos dias 14/08/2004 (a), 30/08/2004 (b), 22/02/2005 (c), 11/04/2005 (d), 14/06/2005 (e), 01/08/2005 (f), 24/01/2006 (g), 14/04/2006 (h), 30/04/2006 (i), 16/05/2006 (j), 01/06/2006 (l), 17/06/2006 (m), 03/07/2006 (n), 19/07/2006 (o), 04/08/2006 (p), 05/09/2006 (q).

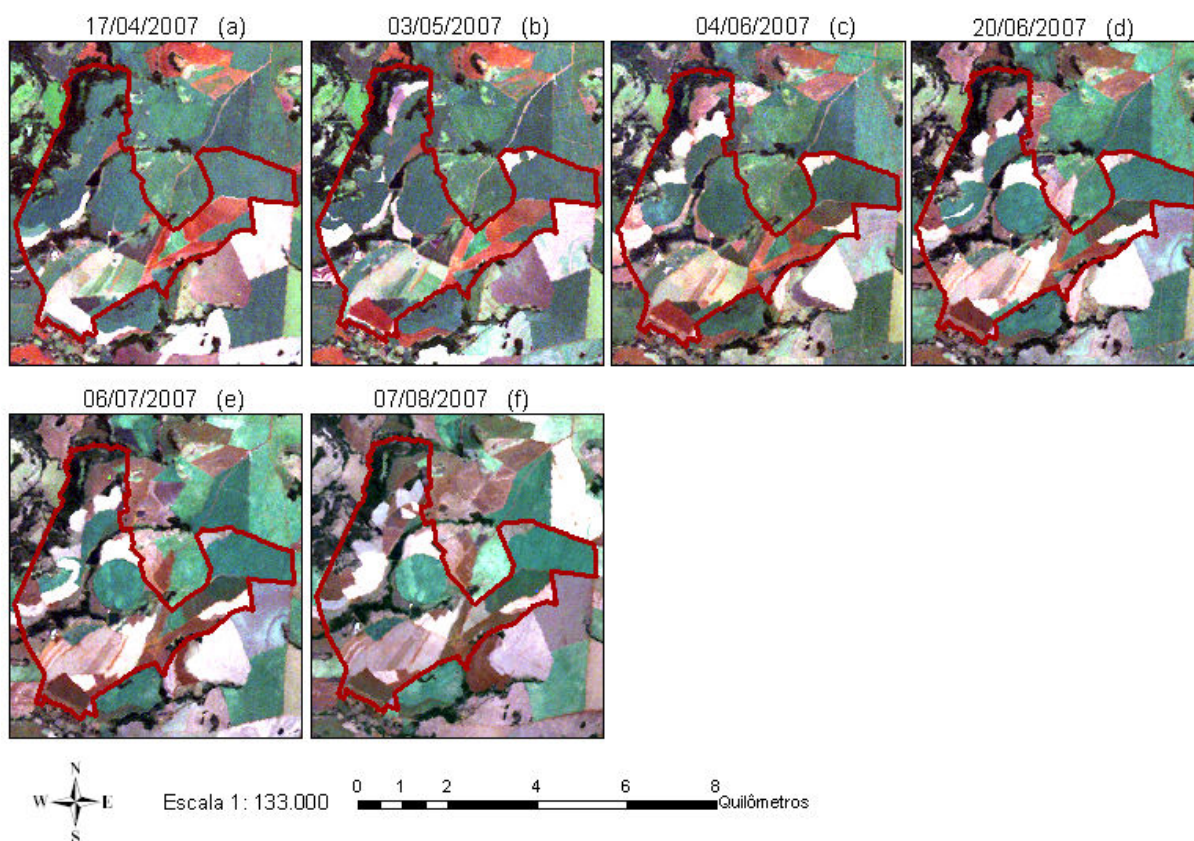


Figura 26 - Imagens do sensor TM do Landsat 5, na composição RGB das bandas 3,2,1, mostrando a delimitação da área da fazenda Boa Fé nos dias 17/04/2007 (a), 03/05/2007 (b), 04/06/2007 (c), 20/06/2007 (d), 06/07/2007 (e), 07/08/2007 (f).

4.1.1 Albedo

Na Figura 27 tem-se a variação do albedo (α) máximo, mínimo e médio obtidos com imagens TM-Landsat 5 ao longo dos anos de 2004 a 2007 para a área da fazenda Boa Fé, Conquista, MG.

As Figuras 28, 29 e 30 mostra a variação do albedo nas datas de estudo entre os anos de 2004 a 2007, obtidos sobre a área da fazenda Boa Fé, por meio de imagens TM-Landsat 5.

Verifica-se conforme as informações apresentadas nas Figuras 27, 28, 29 e 30, que o albedo médio da série de 2004 a 2007 foi de 0,17. Sendo que, em média, o albedo mínimo e máximo foi de 0,05 e 0,59, respectivamente. Valores máximos de albedo estão localizados sobre a área construída da fazenda Boa Fé, mais precisamente sobre o telhado de dois galpões (Figuras 14, 25 e 26). Já os valores mínimos ocorreram

em pixels de duas pequenas represas situadas entre a gleba pivô, podendo ser vistos em destaque nas cenas analisadas e representados pelas cores ciano e verde claro (.

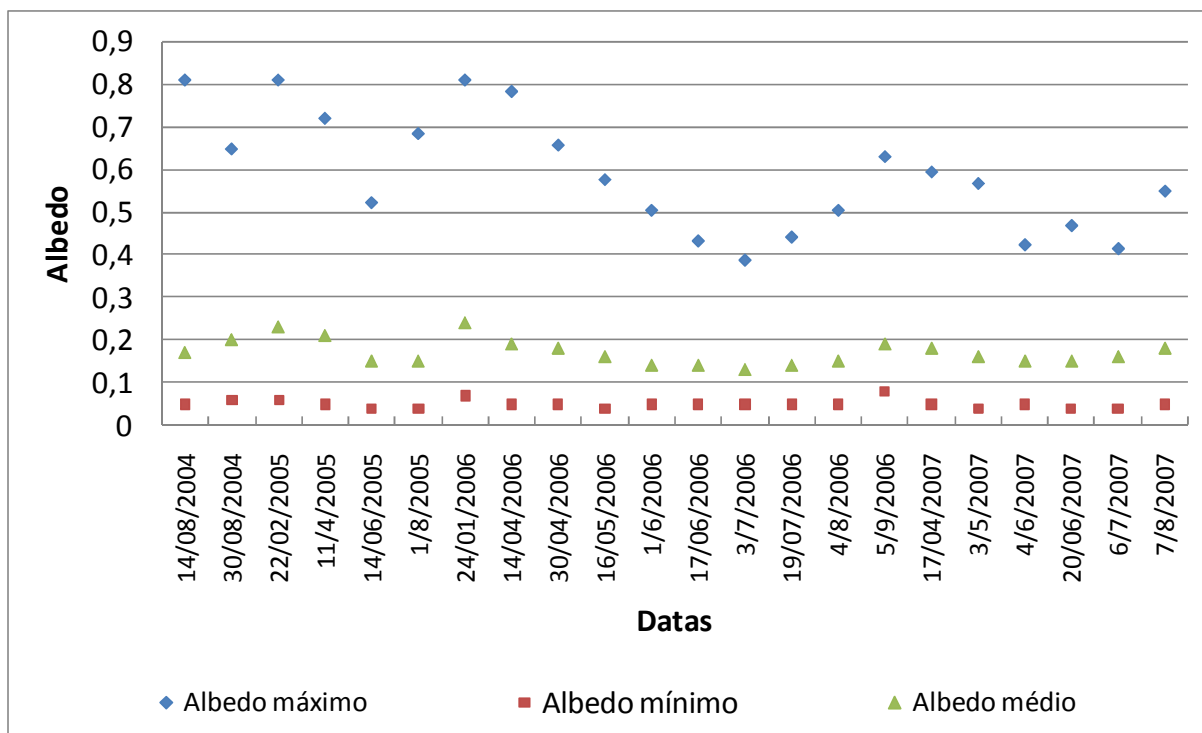


Figura 27 - Albedo máximo mínimo e médio da área da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007.

Ao selecionar a cena de 22/02/2005 e analisar o albedo da gleba A1 comparando-o com as glebas C1 e Pivô, nota-se que o albedo na gleba A1, na qual está com a cultura da cana em estágio de maturação, possui na maior parte da gleba valores entre 0,26 e 0,30, enquanto que na maior parte das glebas C1 e Pivô, que estão com solo exposto, o albedo oscilou entre 0,21 e 0,25. Tais resultados se devem ao fato dos solos da região serem vermelhos escuros (presença de óxidos de ferro) e refletirem menos. Outra explicação pode está relacionado ao estágio de desenvolvimento em que se encontra o canavial. Geralmente, a cana em estágio de maturação possui mais folhas secas do que os estádios anteriores e acabam refletindo mais.

Após o corte da cana a área fica coberta pela palhada (folhas secas) e ao comparar, por exemplo, a gleba A1 nas cenas dos dias 24/01/2006 (Figuras 25g e 28g) e 14/04/2006 (Figuras 25h e 28h) observa-se um incremento no valor do albedo devido

às folhas secas presente na cena do dia 14/04/2006. Nestas áreas, o albedo variou de 0,21 a 0,30.

Na análise da evolução do albedo na gleba Pivô (plântio da cana em 10/08/2006) entre a cena da Figura 29g (05/09/2006) e a cena da Figura 30d (03/07/2006), verifica-se que na cena do dia 05/09/2006 o albedo está entre 0,11 a 0,20. Nesse dia, segundo observações na Figura 25q, o solo encontra-se exposto e pode estar úmido devido à irrigação suplementar. Em 17/04/2007 (cana com aproximadamente 8 meses) quase a metade da gleba Pivô está com taxas de albedo entre 0,21 e 0,25. Já nas cenas dos dias 03/05/2007, 04/06/2007, 20/06/2007 e 06/07/2007, o albedo sobre a gleba Pivô ficou na mesma faixa (0,16 a 0,20), contudo, na cena do dia 07/08/2007 o albedo oscilou entre 0,21 e 0,25 em, praticamente, toda a extensão da gleba Pivô, evidenciando a presença de folhas secas (palhada).

Ao analisar cenas dos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, Silva et al. (2005a) encontraram variação do albedo de 0,07 a 0,50. Sendo que, no lago de Sobradinho o albedo variou de 0,09 a 0,12, já em áreas com presença de frutíferas o albedo oscilou de 0,15 a 0,25. Os valores mais elevados foram localizados por Silva et al. (2005a) em áreas de solo exposto.

Folhes et al. (2007), ao estudar a mesma região (perímetro irrigado Senador Nilo Coelho) com imagens TM-Landsat 5, para o dia 12/10/2004, em uma área de 5 km x 5 km, observaram na cena valores de albedo entre 0,02 e 0,39. Justificaram que os menores valores encontrados (0,02 a 0,09) estão associados com os corpos d'água, sendo que em superfícies vegetadas o albedo variou de 0,09 a 0,24.

Leivas et al. (2007), ao realizar pesquisas na Estação Experimental Agronômica (EEA), em Eldorado do Sul-RS, obtiveram albedo em torno de 0,06 e 0,14 sobre superfícies de corpos d'água e de vegetação, respectivamente. Encontraram, também, para solo descoberto e área urbana, valores de albedo de 0,21 e 0,41, respectivamente.



Figura 28 - Albedo da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.

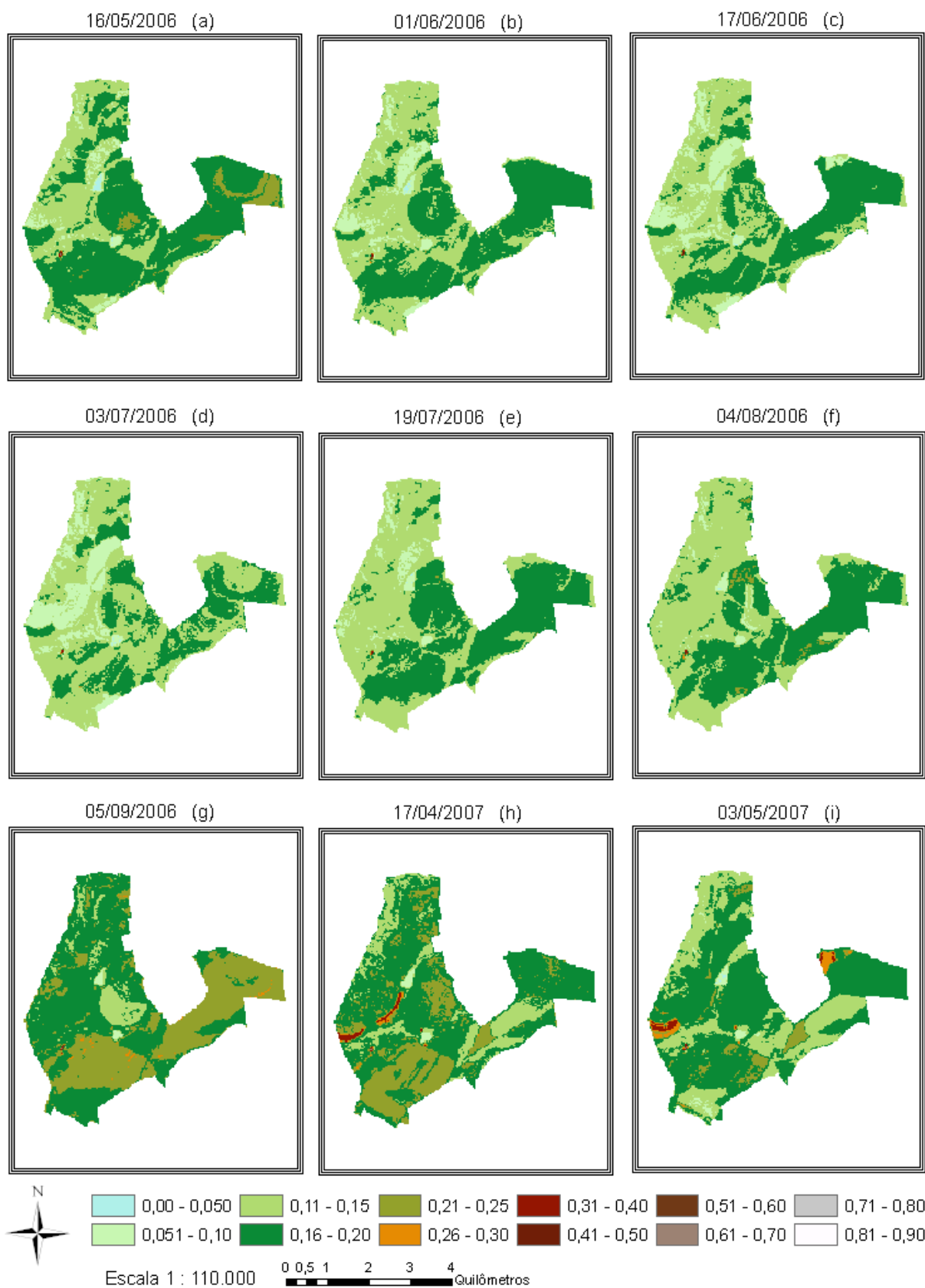


Figura 29 - Albedo da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

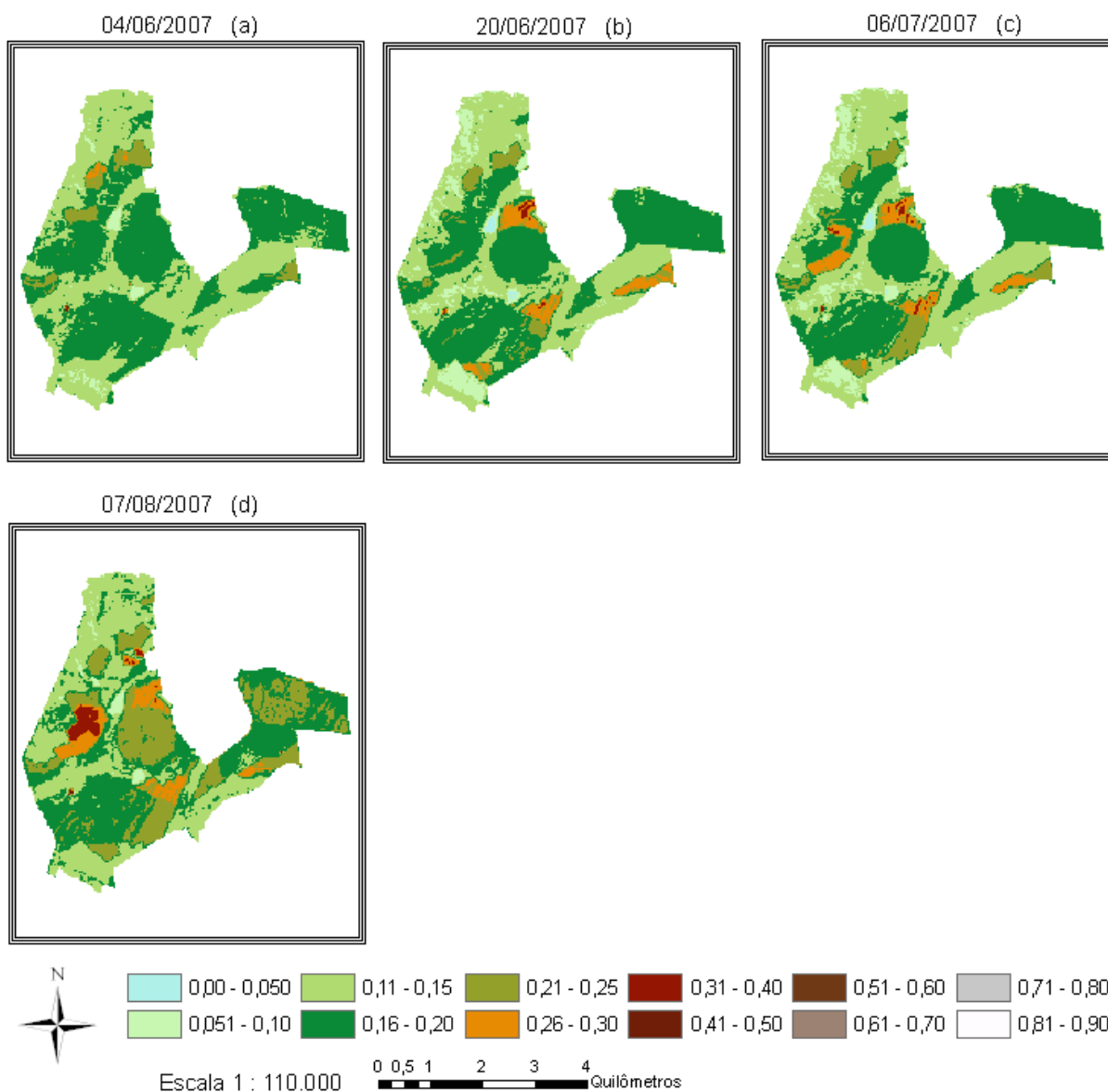


Figura 30 - Albedo da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

4.1.2 Temperatura da Superfície

A temperatura da superfície (T_s) é um dos principais dados que podem ser extraídos a partir das imagens da banda termal. De acordo com Silva e Santos (2007), a T_s , frequentemente, têm sido tema de pesquisas em trabalhos científicos e bastante exigida em várias aplicações na meteorologia e estudos dos recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície.

Gusso et al. (2007) relatam que as maiores dificuldades na estimativa da T_s , por meio de sensores orbitais, estão relacionadas com perturbações introduzidas durante a transferência da energia irradiada através da atmosfera; e com características emissivas diferentes das de um corpo negro da superfície observada.

Os sensores posicionados de maneira a detectar a radiação, na região do infravermelho termal (de 8 a 14 μm) do espectro eletromagnético, têm sido amplamente utilizados para determinação da T_s . Entretanto, é necessário salientar que, mesmo nessas janelas, a atmosfera não apresenta nível de transparência suficiente para ser desconsiderada (Kerr et al., 1992). Os processos de atenuação da radiação eletromagnética nas regiões termiais das janelas atmosféricas são devidos, principalmente, à presença de vapor de água (Gusso et al., 2007), sendo também atenuada pela presença de CO_2 , O_3 , aerossóis e outros gases de menor influência.

A T_s tem relevância científica significativa, com contribuições importantes em vasto campo das atividades econômicas e comerciais ligadas à agricultura. Ela constitui em um parâmetro fenológico de notável influência climática e é um indicador do estado hídrico da cultura.

No SEBAL, a T_s é uma variável fundamental no cálculo de R_n , G e H . No cálculo de R_n , a T_s é uma variável de entrada no balanço de ondas longas. Para a obtenção de G utiliza-se a T_s diretamente na equação desenvolvida por Bastiaanssen (2000). Já no que se refere ao componente H da equação clássica do balanço de energia, a T_s contribui para a realização do processo iterativo por meio da escolha dos chamados pixels “quente” e “frio”.

Valores de T_s máxima, mínima e média da área da fazenda Boa Fé, dos anos de 2004 a 2007 obtidos com imagens TM-Landsat 5, estão representados no gráfico da Figura 31. Os maiores valores de T_s máxima e mínima foram registrados no dia 24/01/2006, mas também verifica-se valores elevados nos meses de fevereiro, abril e agosto. O máximo valor médio de T_s ocorreu em 30/08/2004. A T_s média ao longo dos anos de 2004 a 2007 foi de 297,86 K ou 24,7°C.

Quanto à variação espacial da temperatura da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtidas com imagens TM-Landsat 5, para os anos de 2004 a 2007, podem ser visualizadas nas Figuras 32, 33 e 34. A T_s entre 297,01 e 300 K simbolizada pela cor

marrom prevalece espacialmente em quase todas as cenas analisadas. Esta faixa representa valores médios de Ts.

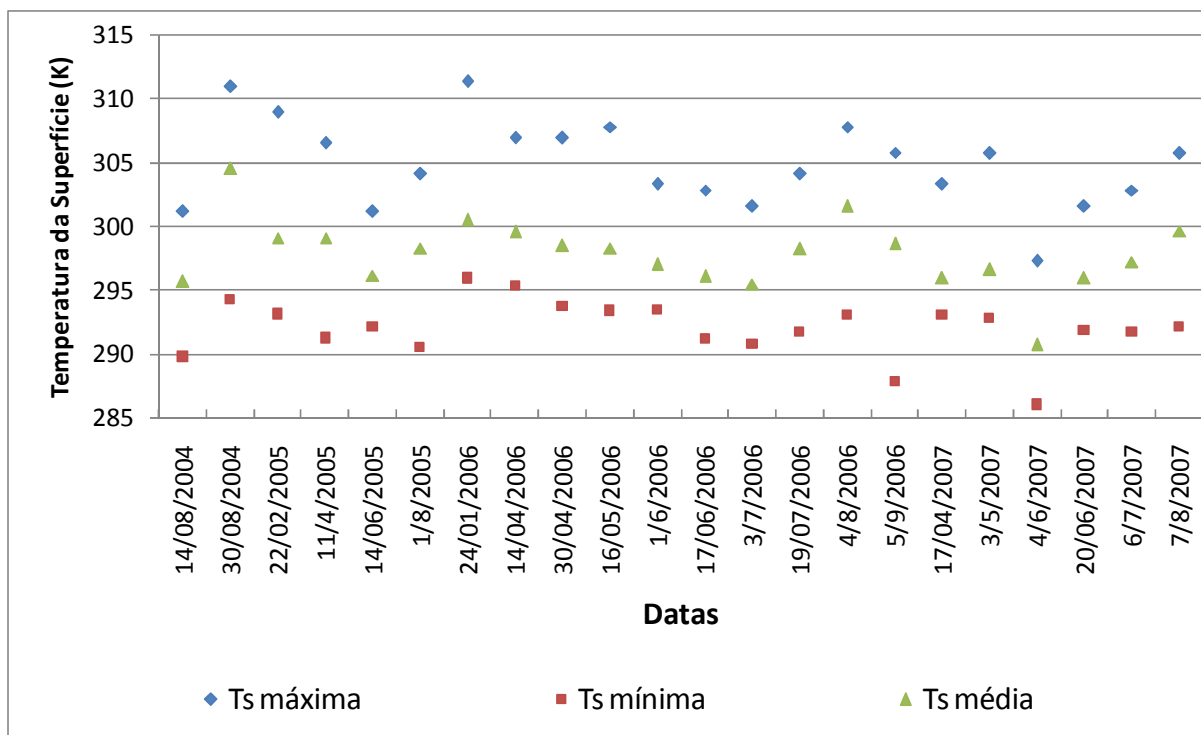


Figura 31 - Temperatura máxima, mínima e média da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007.

De maneira geral, verifica-se que a Ts foi maior em áreas com solo exposto. Em uma análise geoespacializada as cenas de 30/08/2004 e 24/01/2006 foram as que apresentaram maiores valores de Ts, supondo-se que os valores mais altos se deve não só a grande área de solo exposto, mas também ao clima seco no mês de agosto. Já a cena de 04/06/2007 é a que possui os menores valores de Ts. Nesse dia, o solo apresentava menos exposto e no processo de evapotranspiração, a planta mantém uma temperatura mais amena.

Em pesquisas realizadas na região de Eldorado do Sul-RS, Leivas et al. (2007) observaram que as maiores temperaturas da superfície foram em áreas urbanizadas e em solo descoberto (23°C) e as mais baixas estavam localizadas sobre áreas de corpos d'água (16°C).



Figura 32 - Temperatura (kelvin) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.

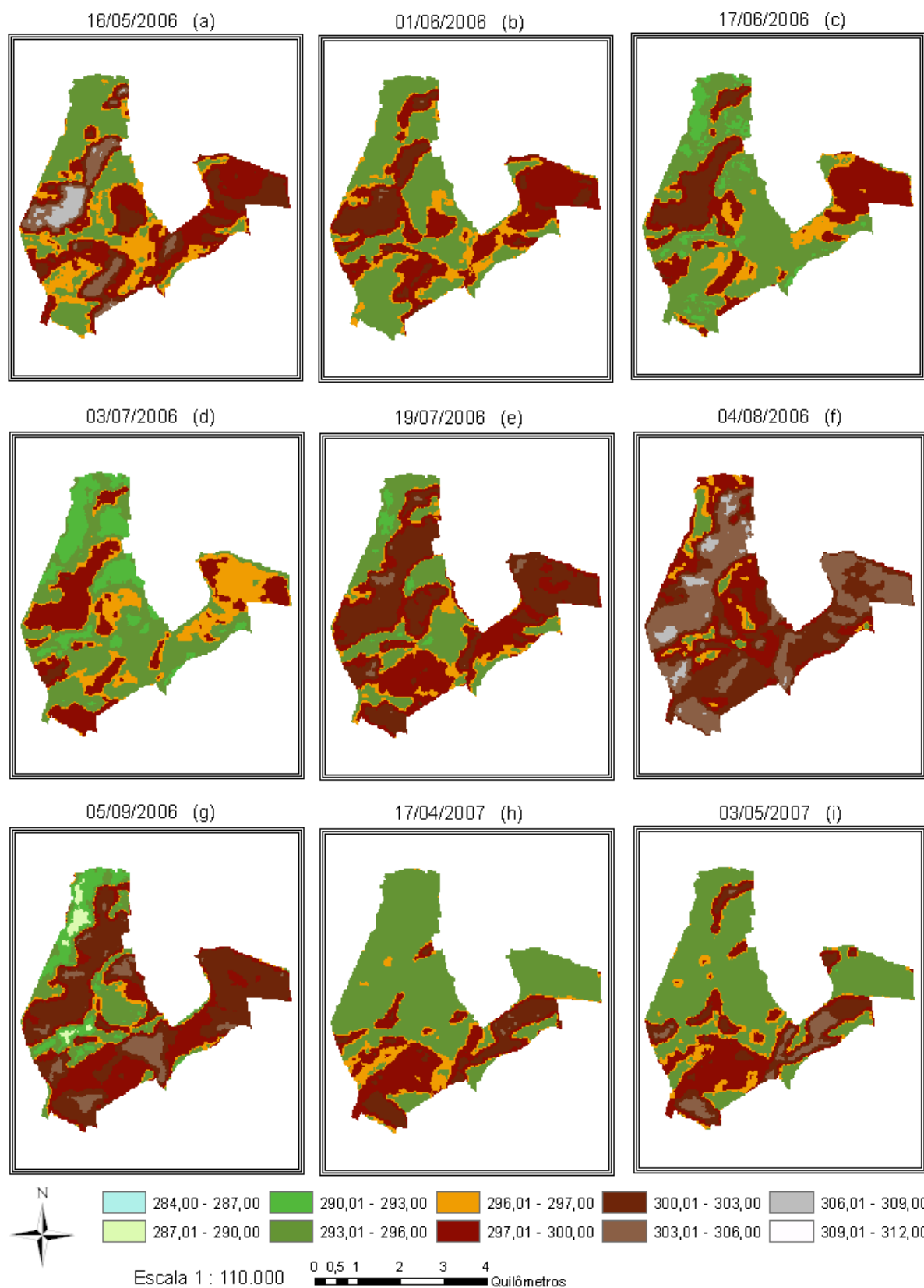


Figura 33 - Temperatura (kelvin) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

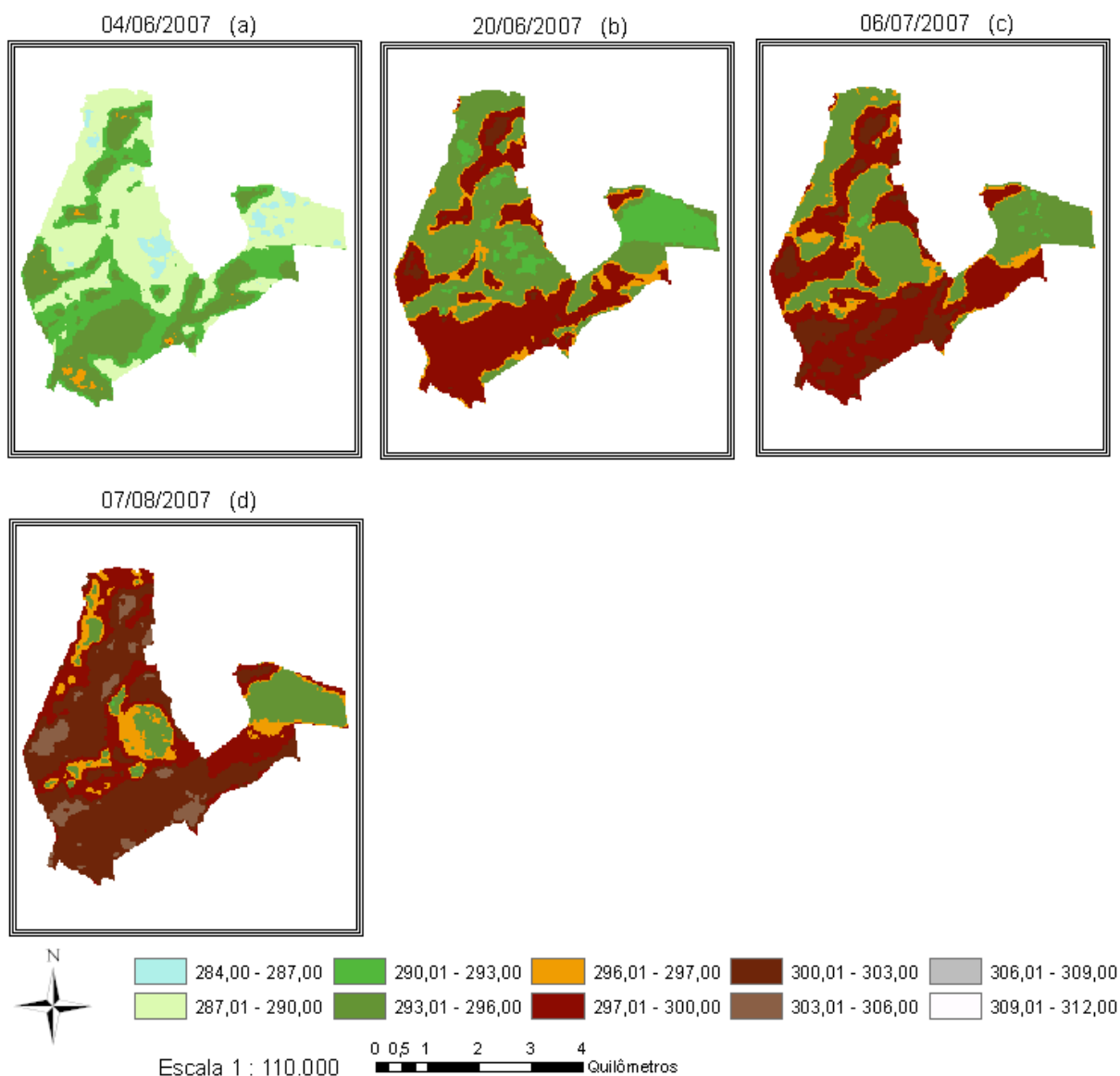


Figura 34 - Temperatura (kelvin) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

Na Figura 35 tem-se a regressão linear entre a temperatura da superfície (T_s) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) obtido ao considerar 2792 pixels TM-Landsat 5 do dia 07/08/2007 dentro dos limites territoriais da fazenda Boa Fé. Foi encontrada considerável correlação entre T_s e NDVI, apresentando coeficiente de determinação de 0,65. Folhes (2007) obteve coeficiente de determinação de 0,80, ao analisar dados de T_s e NDVI obtidos por meio do processamento de dados espectrais de imagem TM-Landsat 5 do dia 24/10/2005, para a área do projeto de irrigação Jaguaribe-Apodi no Estado do Ceará.

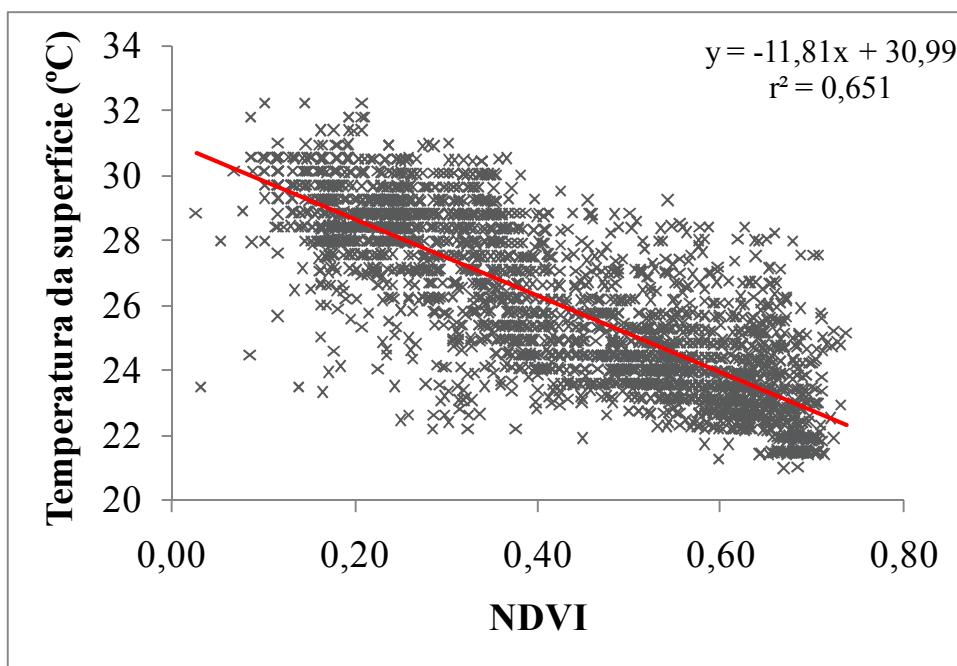


Figura 35 - Regressão linear entre a temperatura da superfície (Ts) e o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), levando em consideração 2792 pixels TM-Landsat 5 nos limites territoriais da fazenda Boa Fé.

4.1.3 Saldo de Radiação

O saldo de radiação (Rn), energia radiante disponível na superfície, é obtida pela diferença entre o saldo de radiação de ondas curtas (R_s) e o saldo de radiação de ondas longas (R_L). Ele exerce um papel fundamental nos processos de troca de calor e massa na baixa troposfera, uma vez que se constitui no principal responsável pelo aquecimento do solo, do ar e, principalmente, pela evapotranspiração da vegetação nativa e das culturas (Silva et al., 2005b).

Na Figura 36 tem-se o saldo de radiação (Rn) máximo, mínimo e médio. Observa-se altos valores de Rn nas cenas dos meses de janeiro, fevereiro, abril, agosto e setembro, com destaque para os meses de janeiro e fevereiro, nos quais são considerados os mais quentes e chuvosos para a região.

Nas Figuras 37, 38 e 39 são apresentados os resultados da espacialização do Rn no território da fazenda Boa Fé, obtidos com imagens TM-Landsat 5 dos anos de 2004 a 2007. Nota-se pelas cores destacadas em todas as cenas analisadas (Figuras 37, 38 e 39), que os valores máximos de Rn aconteceram sobre a área da sede da fazenda Boa Fé, que possui galpões, casas, silos, curral, um pátio de estacionamento asfaltado

(Figura 14), sendo o valor máximo localizado em um pixel que representa a cobertura de dois galpões da sede. No entanto, os valores mínimos estão situados em áreas de solo exposto nas glebas C1, C2, C3, C4, C5 e C6 (Figuras 24, 25m e 38c).

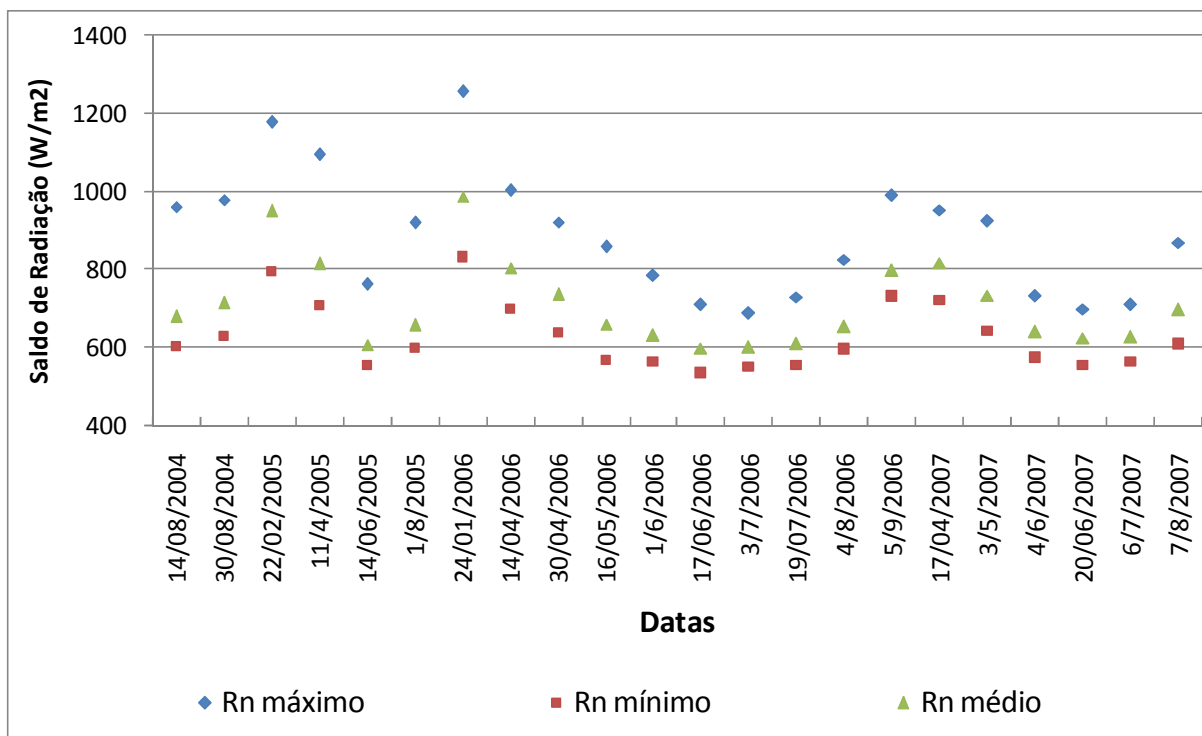


Figura 36 - Saldo de radiação máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007.

O Rn médio da série de 2004 a 2007 foi de $711,82 \text{ W m}^{-2}$, sendo que, em média, o Rn mínimo e máximo foi de $628,76 \text{ W m}^{-2}$ e $889,59 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

Silva et al. (2005b), ao estudar o saldo de radiação em áreas irrigadas do Projeto Nilo Coelho, por meio da utilização do algoritmo SEBAL e imagens TM-Landsat 5, de modo geral, obtiveram Rn médio de 615 W m^{-2} para a imagem do dia 04/12/2000 e de 584 W m^{-2} para o dia 04/10/2001. Para áreas com vegetação irrigada foram obtidos valores de Rn da ordem de $655,1$ e $664,5 \text{ W m}^{-2}$ para as imagens dos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente. Entretanto, tiveram Rn de $426,9$ e $421,8 \text{ W m}^{-2}$ em áreas de solo exposto e de $751,3 \text{ W m}^{-2}$ e $750,7 \text{ W m}^{-2}$ em áreas sobre o lago de Sobradinho para as imagens dos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente.

Os resultados de R_n encontrados por Silva et al. (2005b), para o lago de Sobradinho, coincide com o R_n sobre as pequenas represas da Fazenda Boa Fé das cenas de 11/04/2005, 14/04/2006, 05/09/2006 e 17/04/2007.

Em pesquisas realizadas por Folhes et al. (2007) em região próxima ao município de Petrolina-PE, foram obtidos R_n entre 765 W m^{-2} a 810 W m^{-2} em áreas sobre o curso do Rio São Francisco para uma cena do dia 12/10/2004. No entanto, para área do projeto de irrigação Jaguaribe-Apodi, localizado no Estado do Ceará, Folhes (2007) encontrou R_n médio de 629 W m^{-2} , 586 W m^{-2} , 551 W m^{-2} e 561 W m^{-2} para cenas dos dias 24/10/2005, 28/01/2006, 23/07/2006 e 08/08/2006, respectivamente.

Leivas et al. (2007) obtiveram, para cena de 02/10/2002 da região de Eldorado do Sul-RS, R_n médio da ordem de 662 W m^{-2} , 585 W m^{-2} , 606 W m^{-2} e 604 W m^{-2} para áreas de corpos d'água, solo exposto, vegetação e urbanas, respectivamente.

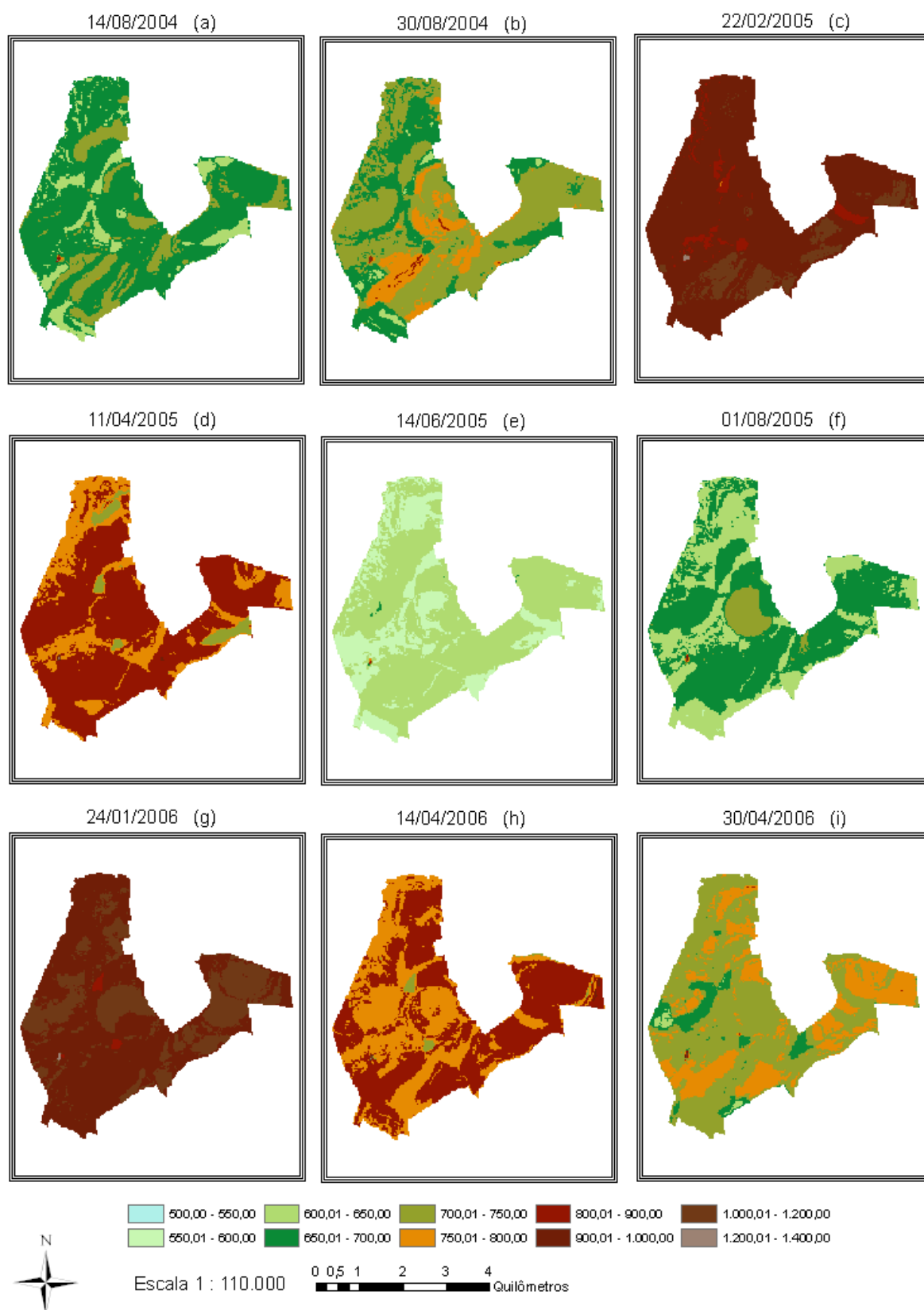


Figura 37 - Saldo de radiação (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.

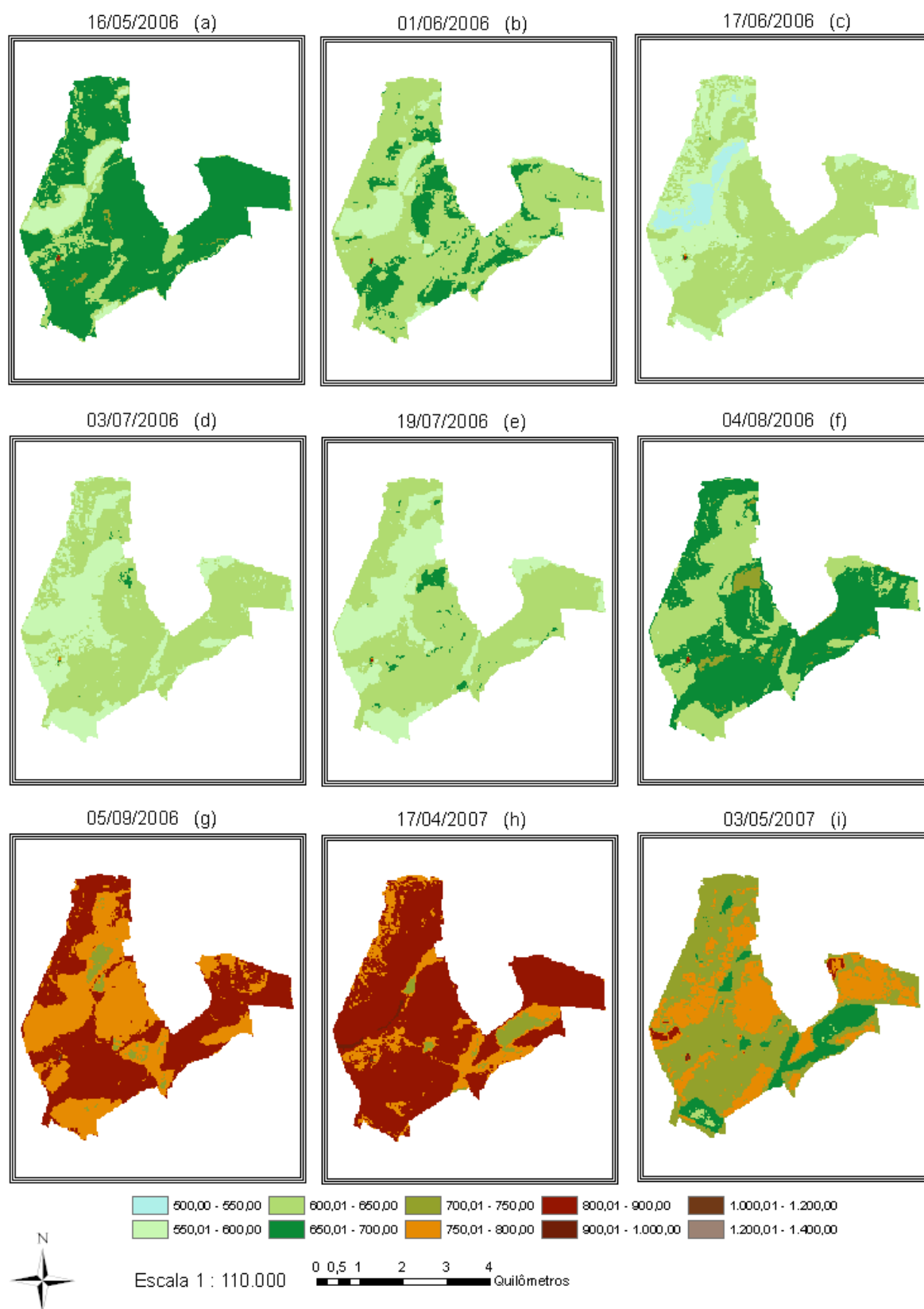


Figura 38 - Saldo de radiação (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

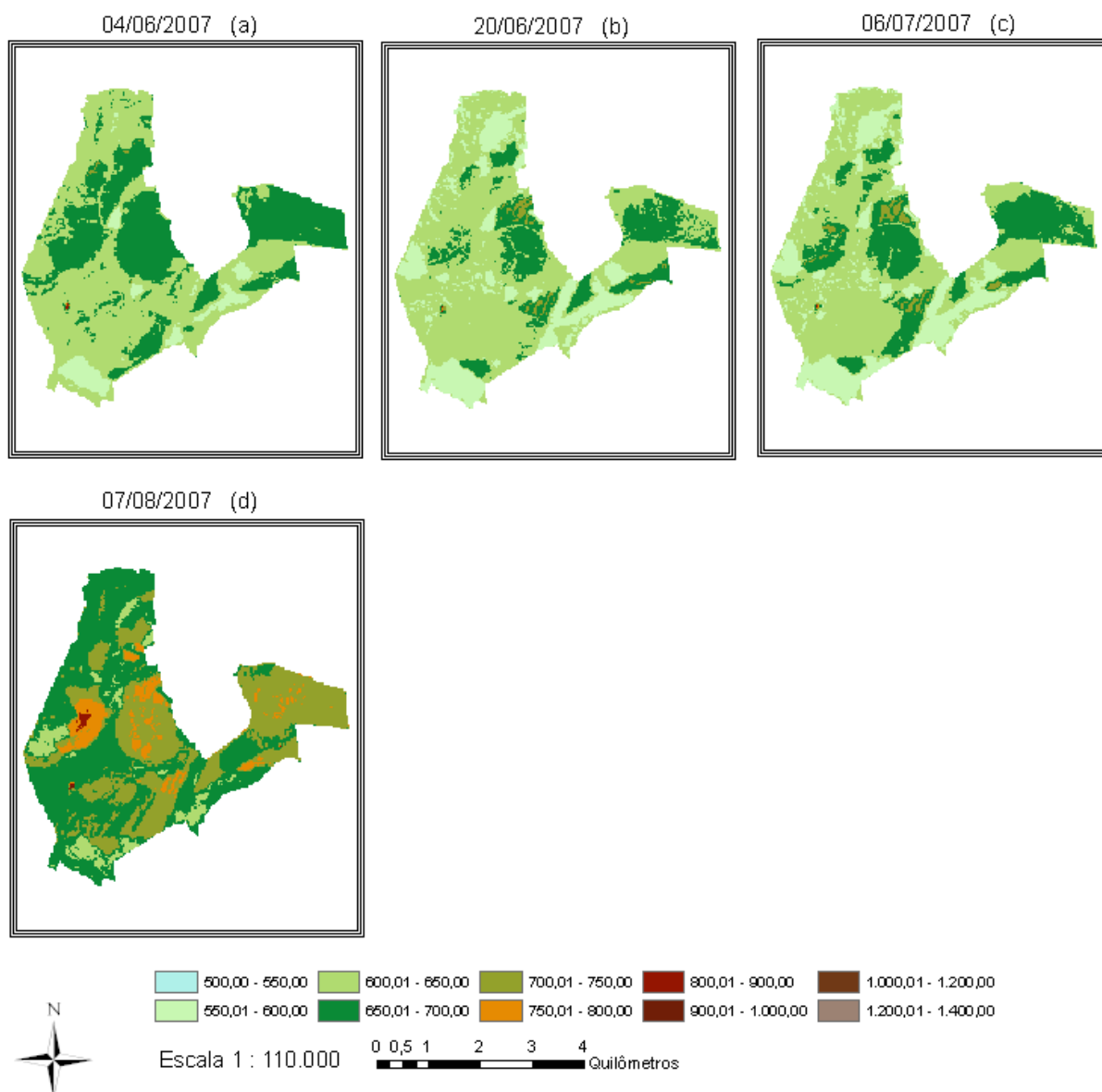


Figura 39 - Saldo de radiação (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

4.1.4 Fluxo de Calor no Solo

Na Figura 40 tem-se o fluxo de calor no solo (G) máximo, mínimo e médio. Nota-se que os valores de G máximos se destacam nos meses de janeiro e fevereiro. No entanto, os valores de G máximo estão situados sobre a área construída da fazenda Boa Fé em todas as cenas analisadas.

Nas Figuras 41, 42 e 43 são apresentados a distribuição espacial de G , na área territorial da fazenda Boa Fé, para as datas de estudo entre os anos de 2004 a 2007.

O G médio da série de 2004 a 2007 foi de $81,91 \text{ W m}^{-2}$, sendo que, em média, o G mínimo e máximo foi de $45,66 \text{ W m}^{-2}$ e $269,47 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

Os valores de G no intervalo de 50 W m^{-2} a 100 W m^{-2} representados na cor verde claro (Figuras 41, 42 e 43) estão situados em áreas com solo exposto. Já os valores de G inferiores a 50 W m^{-2} encontram-se em na maior parte em áreas de florestas (preservação). No entanto, nas cenas do dia 04/06/2007 (Figuras 26c e 43a) e 20/06/2007 (Figuras 26d e 43b) as áreas sob plantio da cana também apresentaram valores inferiores a 50 W m^{-2} .

Silva e Bezerra (2006), ao estudar uma região que abrange o Perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, encontraram valor médio de G da ordem de $94,5 \text{ W m}^{-2}$ e valores mínimos e máximos de $29,7$ e $222,1 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente, para cena de 04/12/2000. Entretanto, para cena de 04/10/2001 encontraram valor médio de G da ordem de $112,3 \text{ W m}^{-2}$ e valores mínimos e máximos de $54,5 \text{ W m}^{-2}$ e $224,1 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

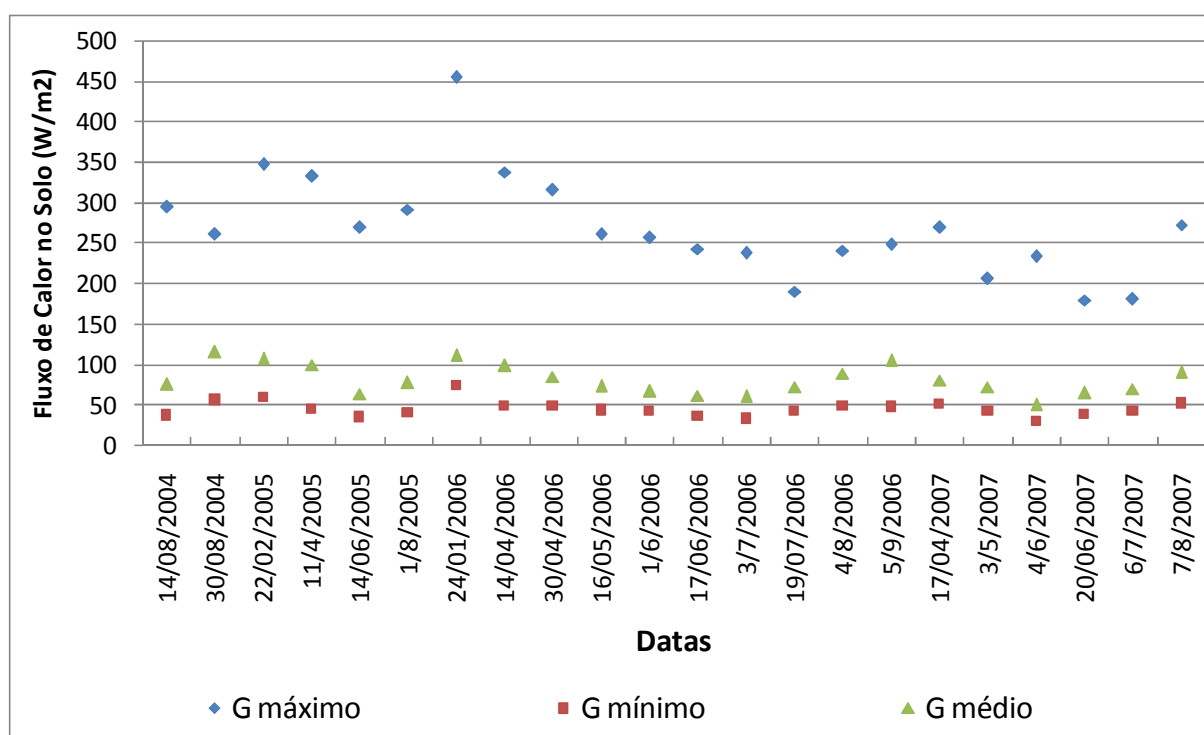


Figura 40 - Fluxo de calor no solo máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007.

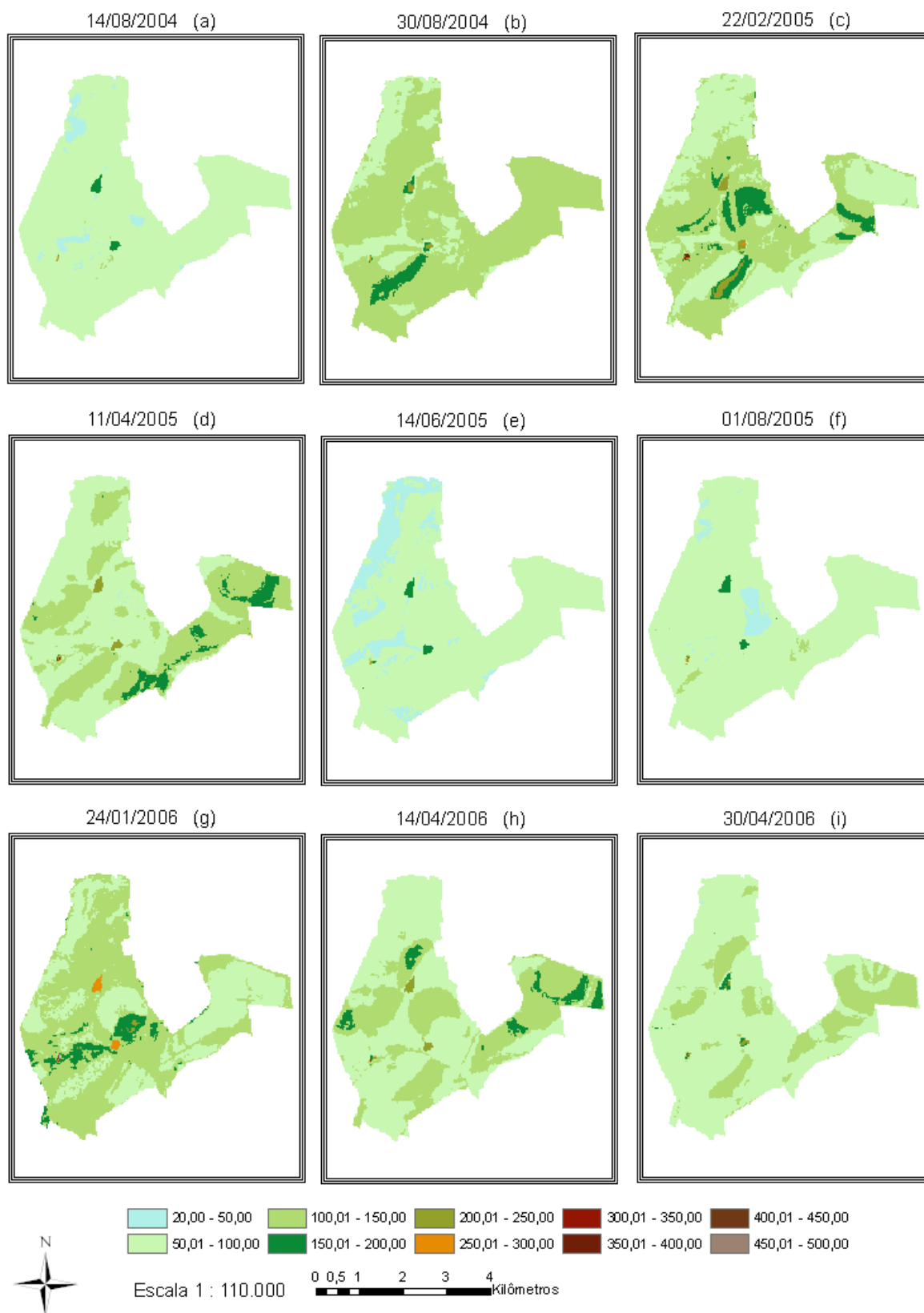


Figura 41 - Fluxo de calor no solo (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.



Figura 42 - Fluxo de calor no solo (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

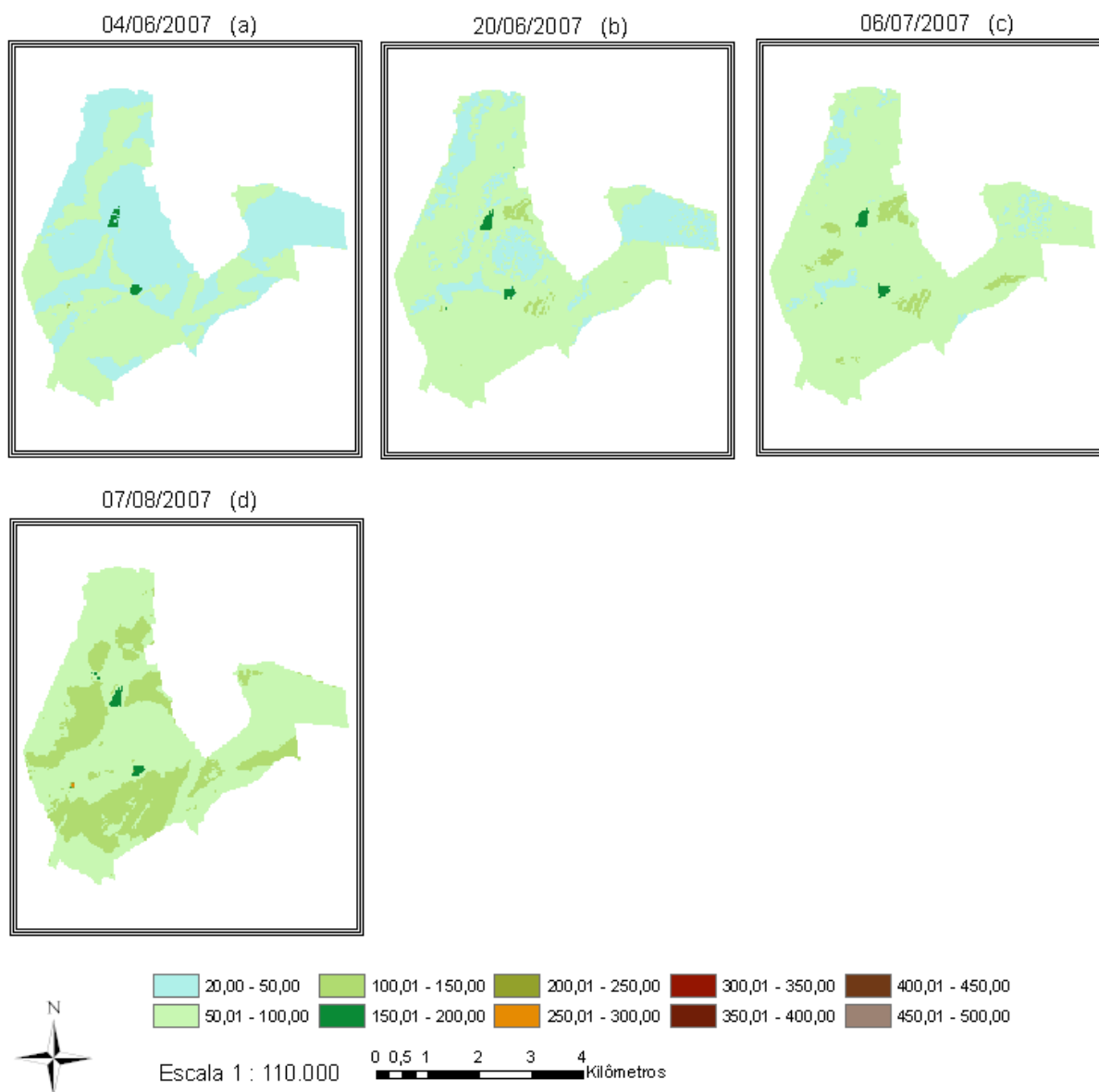


Figura 43 - Fluxo de calor no solo (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

4.1.5 Fluxo de Calor Sensível

A Figura 44 mostra o fluxo de calor sensível (H) máximo, mínimo e médio. Nas Figuras 45, 46 e 47 apresentam-se a distribuição espacial de H na área da fazenda Boa Fé, nos anos de 2004 a 2007.

O H máximo da série analisada foi registrado na cena de 14/04/2006 sobre as glebas Pivô e C1, ambas apresentando condições de solo exposto com provável

presença de palhada devido ao alto índice de reflectância. Nessas glebas H variou de 150 W m^{-2} a 1066 W m^{-2} .

Valores negativos de H foram registrados em áreas vegetadas ($-149,00 \text{ W m}^{-2}$ a $0,00 \text{ W m}^{-2}$) e também sobre as duas pequenas represas da fazenda, nas quais apresentaram os valores mais negativos de H ($-190,00 \text{ W m}^{-2}$ a $-150,00 \text{ W m}^{-2}$).

Em 24/01/2006, o maior valor de H (representado pela cor marrom na Figura 44g) encontrava-se sobre a gleba Pivô, que possuía cana em estágio de maturação.

O H médio da série de 2004 a 2007 foi de $216,00 \text{ W m}^{-2}$, sendo que, em média, o H mínimo e máximo foi de $-57,83 \text{ W m}^{-2}$ e $727,14 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.

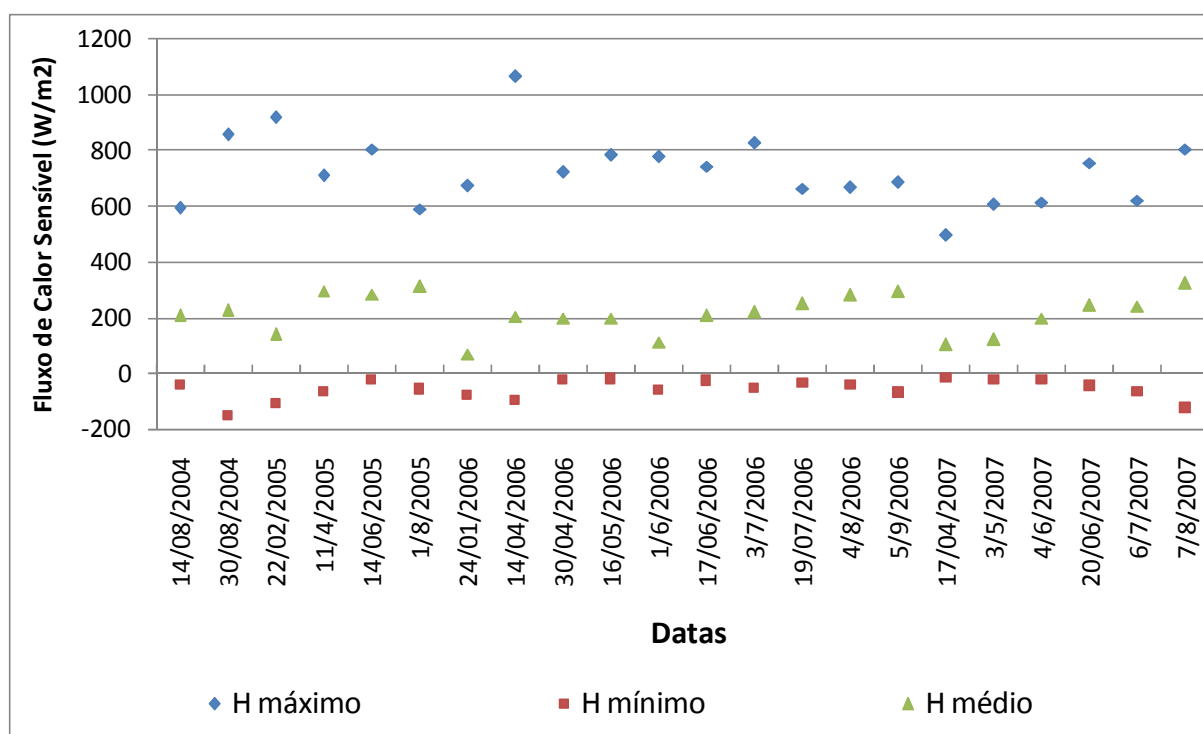


Figura 44 - Fluxo de calor sensível máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007.

Silva e Bezerra (2006) obtiveram valores médios de H da ordem de $130,2 \text{ W m}^{-2}$ e $158,3 \text{ W m}^{-2}$ para cenas dos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, respectivamente.

Em áreas de plantios de eucaliptos pertencentes à CENIBRA, no entorno do município de Santa Bárbara, Minas Gerais, Menezes (2006) obteve H de $76,67 \text{ W m}^{-2}$ a $223,18 \text{ W m}^{-2}$, $180,72 \text{ W m}^{-2}$ a $216,86 \text{ W m}^{-2}$, $-32,62 \text{ W m}^{-2}$ a $188,41 \text{ W m}^{-2}$ para cenas dos dias 20/06/2003, 24/09/2003 e 22/06/2004, respectivamente.

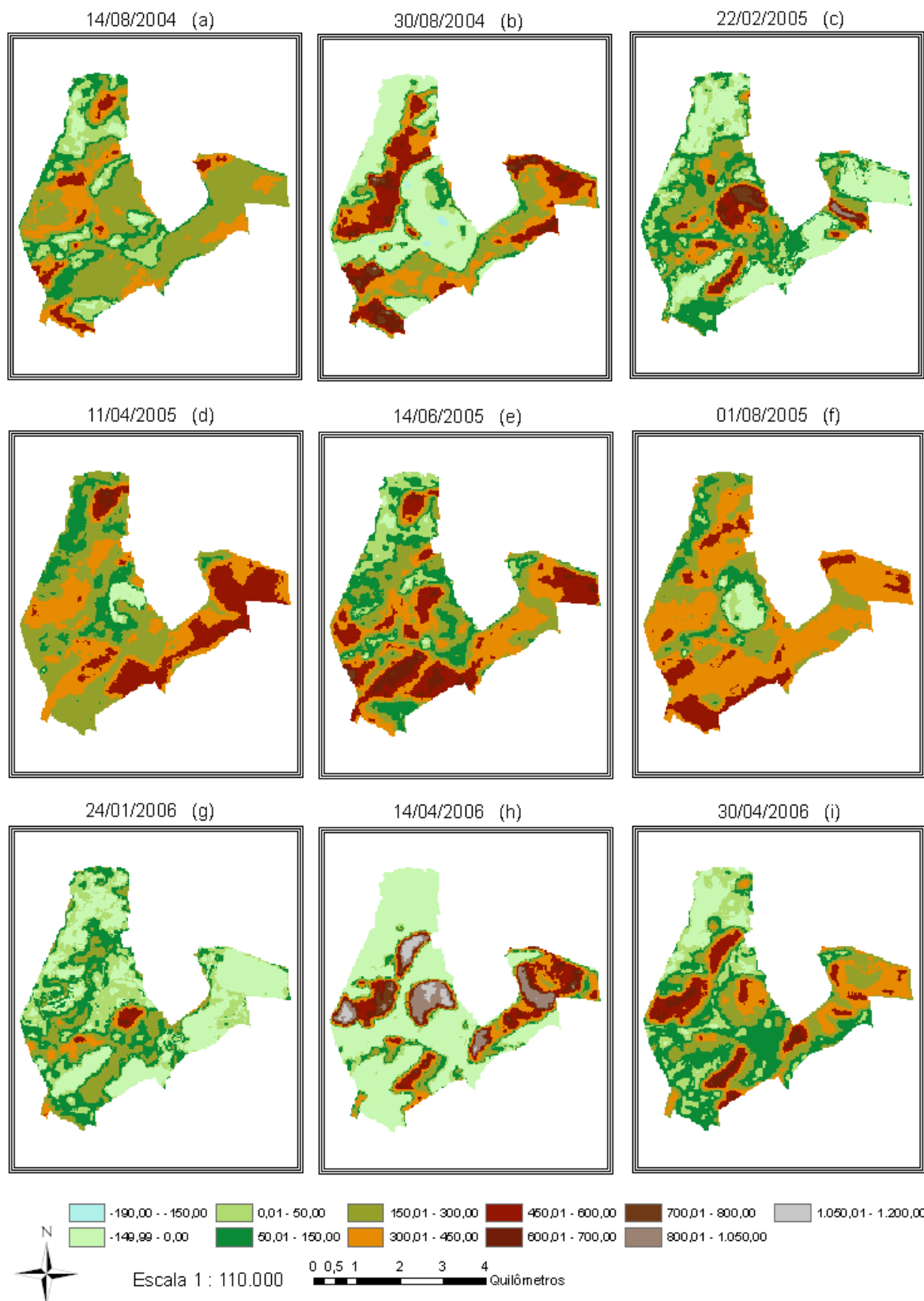


Figura 45 - Fluxo de calor sensível ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.

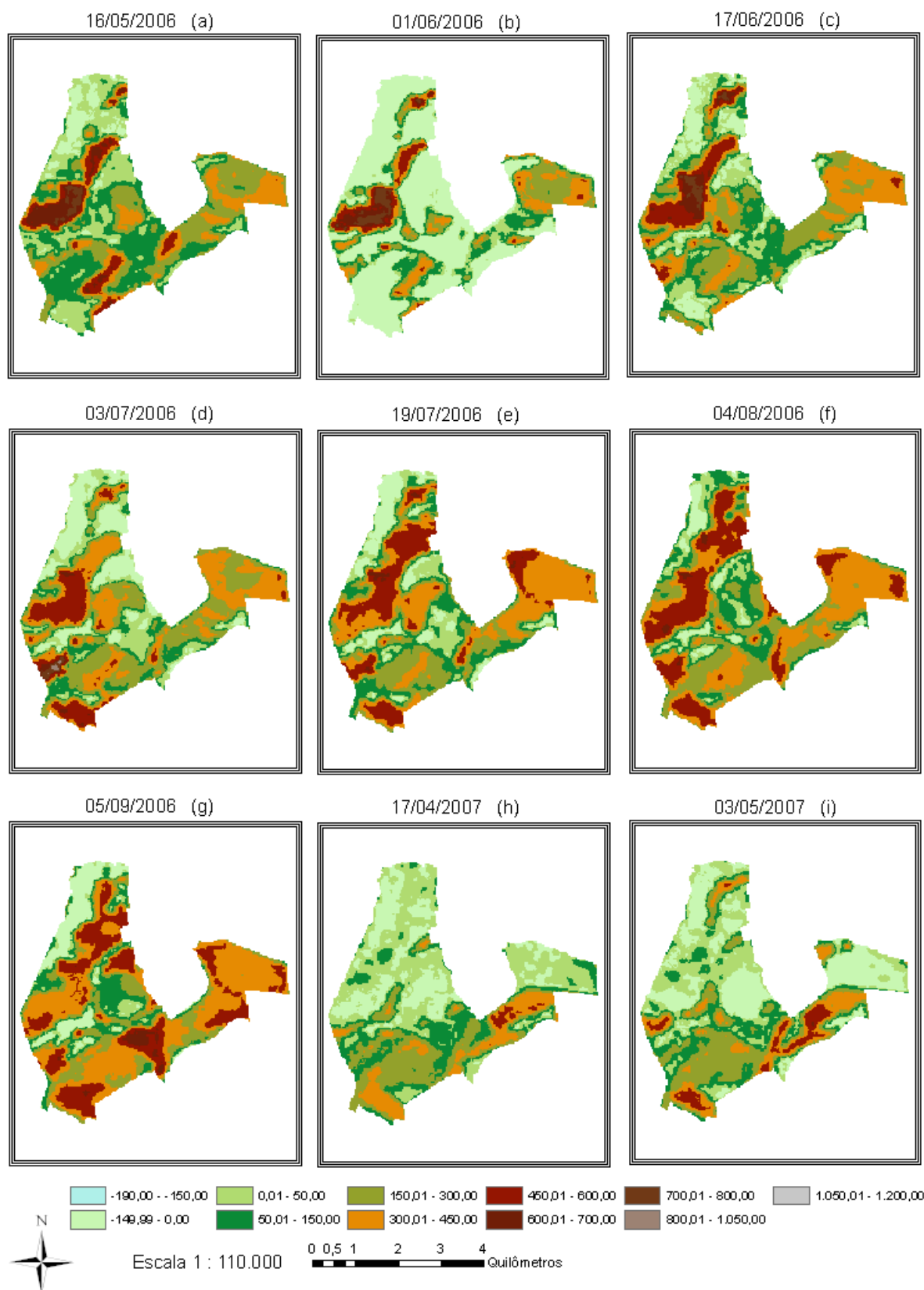


Figura 46 - Fluxo de calor sensível (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

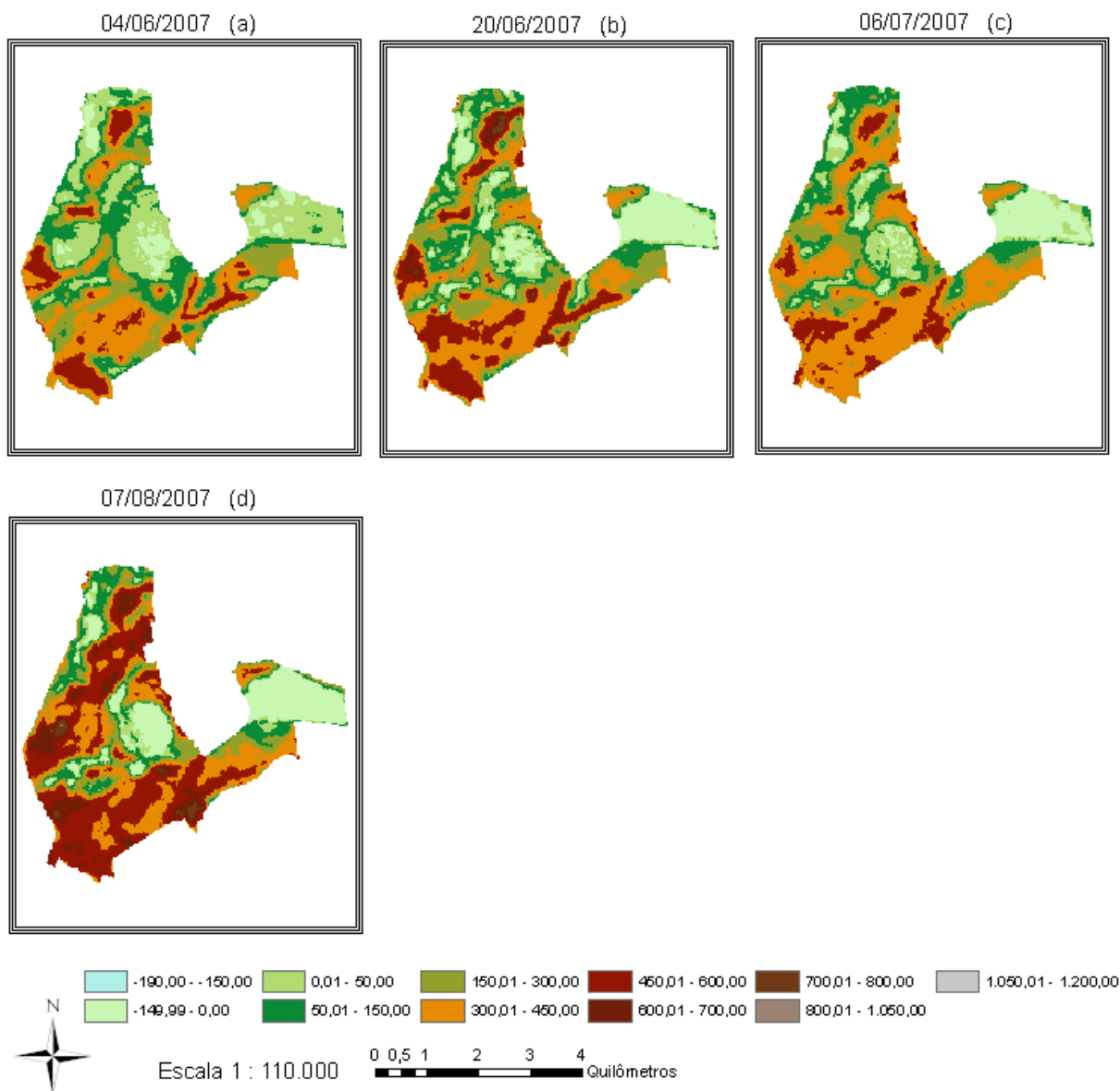


Figura 47 - Fluxo de calor sensível (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

4.1.6 Fluxo de Calor Latente

O fluxo de calor latente é uma das componentes da partição do saldo de radiação e é esta a energia responsável pelos processos evapotranspirativos.

A Figura 48 mostra o fluxo de calor latente (LE) máximo, mínimo e médio. Nas Figuras 49, 50 e 51 apresentam-se a distribuição espacial de LE na área da fazenda Boa Fé nos anos de 2004 a 2007.

O LE médio da série de 2004 a 2007 foi de $418,62 \text{ W m}^{-2}$, sendo que, em média, o LE mínimo e máximo foi de $0,00 \text{ W m}^{-2}$ e $835,34 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente. Estudando as taxas de transpiração em áreas agrícolas na Dinamarca, por meio de imagens Landsat, Boegh et al. (2000) obtiveram LE médio de $121,3 \text{ W m}^{-2}$, no qual teve concordância com os valores medidos à superfície.

Na maior parte das áreas de vegetação nativa (matas) da série de 2004 a 2007 o LE oscilou de 400 W m^{-2} a 900 W m^{-2} . Bezerra (2006) obteve LE acima de 620 W m^{-2} em áreas ocupadas por densas florestas (NDVI entorno de 0,76) da reserva florestal da chapada do Araripe, Estado do Ceará.

Já na gleba A1 com plantio de cana-de-açúcar em pleno estágio de desenvolvimento representadas pelas cenas dos dias 22/02/2005 e 24/01/2006 foram encontrados LE máximos oscilando de 900 W m^{-2} a 1000 W m^{-2} . No entanto, LE mínimos ($0,00 \text{ W m}^{-2}$ a 100 W m^{-2}) são observados na gleba A1 da cena do dia 14/06/2005 devido a presença de solo exposto em boa parte dos talhões.

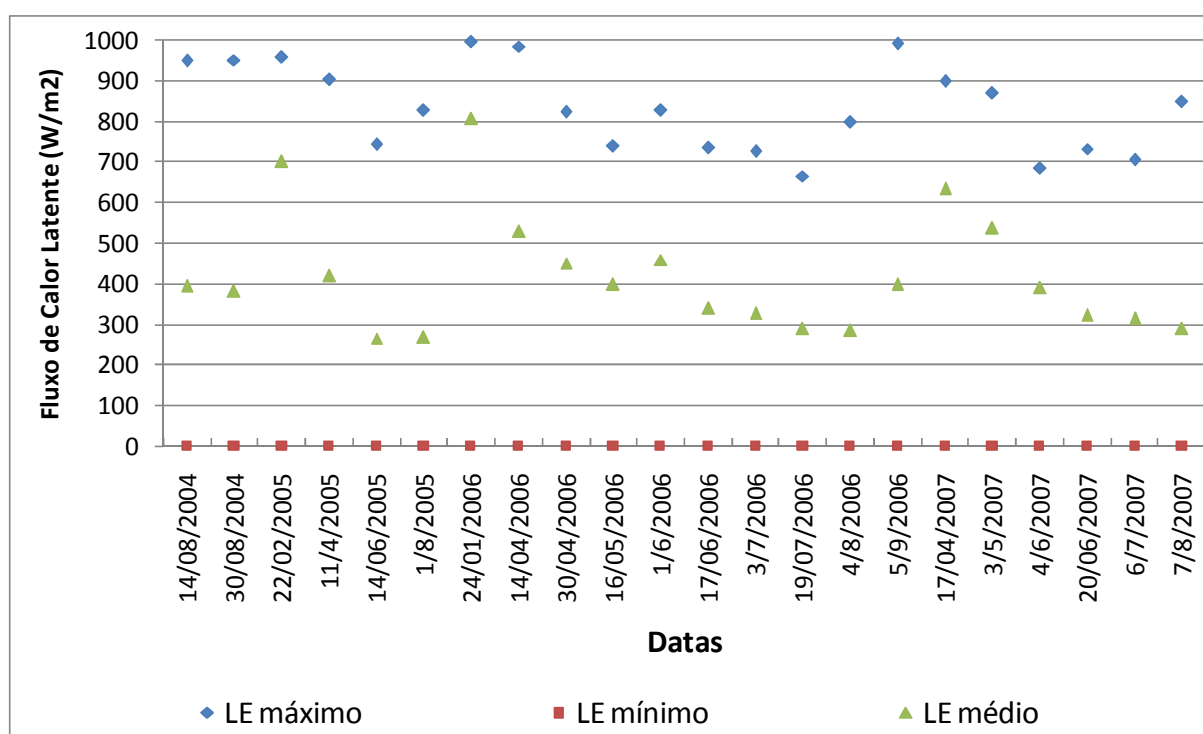


Figura 48 - Fluxo de calor latente máximo, mínimo e médio da superfície territorial da fazenda Boa Fé, no município de Conquista-MG, para imagens TM-Landsat 5 entre os anos de 2004 a 2007.

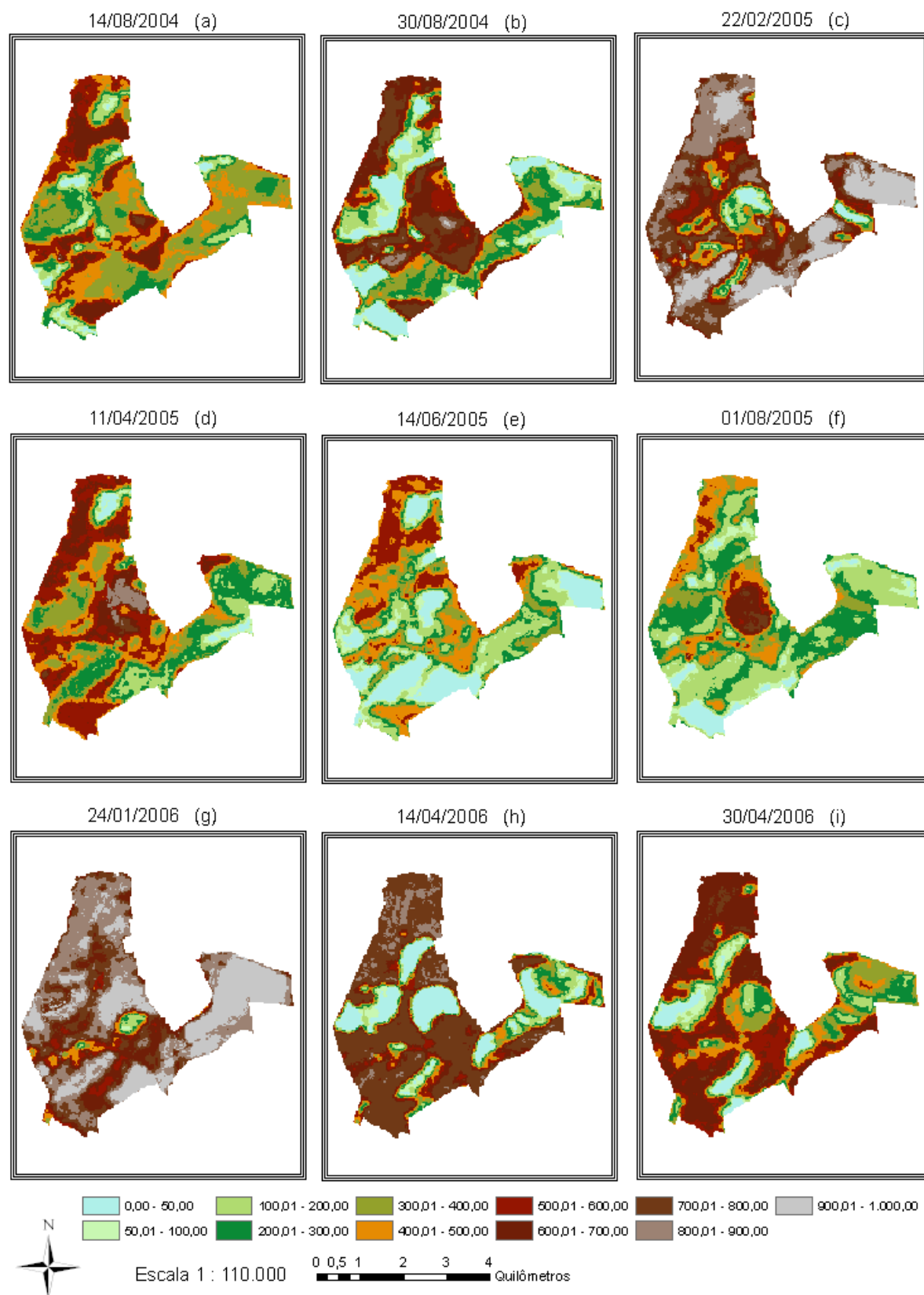


Figura 49 - Fluxo de calor latente (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.

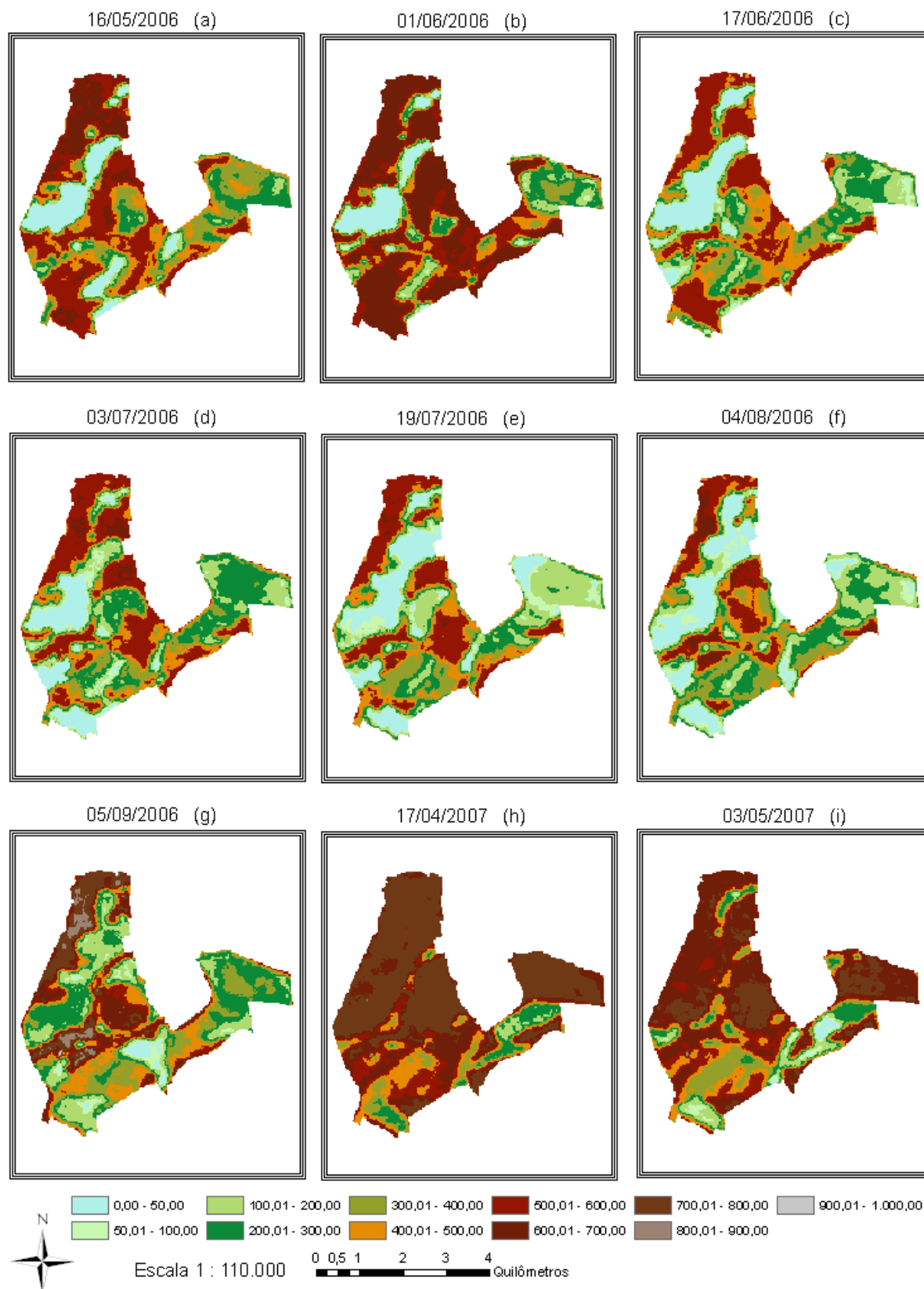


Figura 50 - Fluxo de calor latente (W m^{-2}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

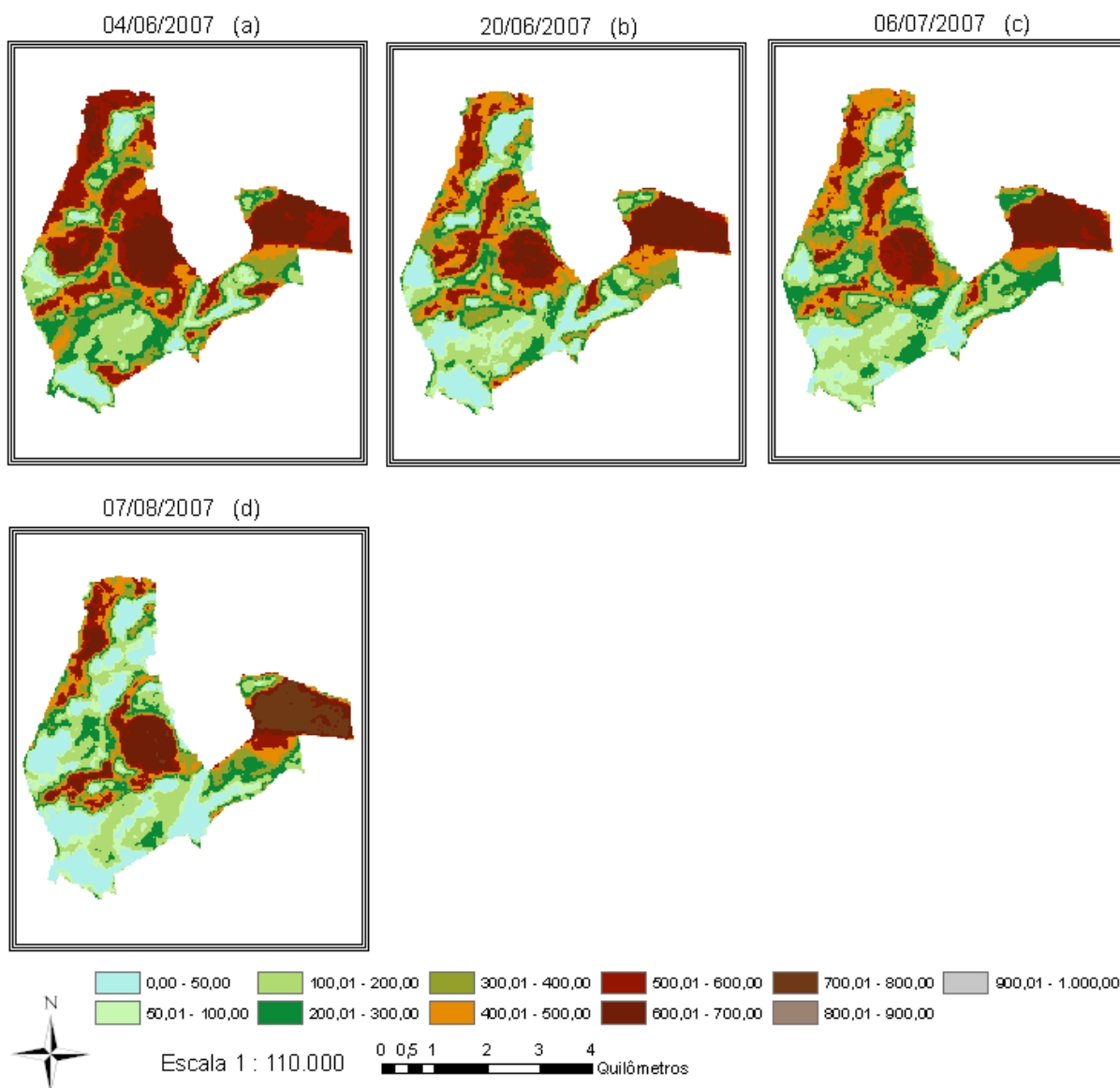


Figura 51 - Fluxo de calor latente ($W m^{-2}$) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

4.1.7 Evapotranspiração

As Figuras 52, 53 e 54 apresentam a distribuição espacial da Evapotranspiração (ET) na área da fazenda Boa Fé nos anos de 2004 a 2007. A ET média diária da série estudada foi de 1,90.

Os menores valores de ET foram obtidos em áreas com solo exposto e palhada (representados pelas cores ciano). Valores de 8,01 a 10,00 $mm d^{-1}$ foram observados em pixels das duas pequenas represas presentes na Fazenda.

Em área de vales na bacia de Gediz, na Turquia, Bastiaanssen (2000) obteve ET de $3,1 \text{ mm d}^{-1}$ e $3,4 \text{ mm d}^{-1}$ para os dias 26/06/1998 e 29/08/1998, respectivamente.

Bastiaanssen e Bandara (2001), ao utilizar o SEBAL em áreas agrícolas próximas a um reservatório em Kirindi Oya, Sri Lanka, obtiveram ET da ordem de $2,9 \text{ mm d}^{-1}$, $4,9 \text{ mm d}^{-1}$ e $5,6 \text{ mm d}^{-1}$ para os dias 19/06/1995, 08/08/1996 e 16/02/1997, respectivamente.

Aynew (2003), utilizando uma imagem Landsat do dia 29/11/1989 e o algoritmo SEBAL com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial da evapotranspiração em bacias da Etiópia, encontraram ET variando numa faixa de $4,9 \text{ mm d}^{-1}$ a $5,9 \text{ mm d}^{-1}$, enquanto que na superfície foi observado que a ET aumentava de acordo com a variabilidade da umidade do solo ao invés do gradiente de temperatura.

Em áreas no Sri Lanka, que possuem vegetação heterogênea (árvores, coqueiros, pastagens, etc.), Hemakumara et al. (2003) encontraram ET de $3,6 \text{ mm d}^{-1}$ para o mês de janeiro de 2000.

Bezerra (2006) obteve ET oscilando de 4 mm d^{-1} a 6 mm d^{-1} em áreas de densas florestas da reserva florestal da chapada do Araripe, Estado do Ceará.

Trezza (2006) obteve valores de ET, para o dia 14/03/2001, que oscilaram entre $0,01 \text{ mm d}^{-1}$ a $8,20 \text{ mm d}^{-1}$, em áreas agrícolas que abrangem o reservatório do Rio Guárico, localizado no Estado de Guarico, na Venezuela, sendo que, em áreas irrigadas, onde o arroz é o principal cultivo, a ET média foi de $4,43 \text{ mm d}^{-1}$.

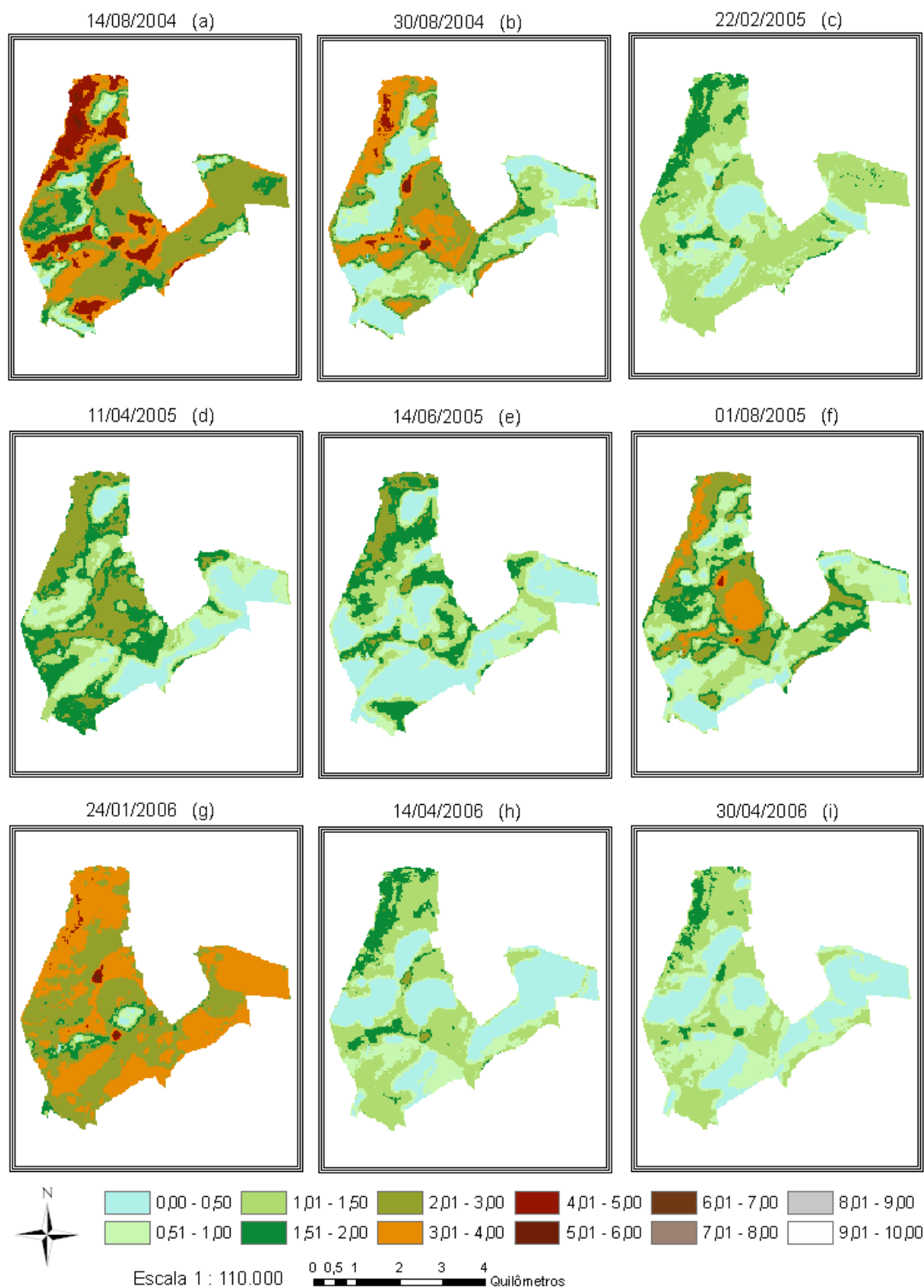


Figura 52 - Evapotranspiração diária (mm d^{-1}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 14/08/2004, (b) 30/08/2004, (c) 22/02/2005, (d) 11/04/2005, (e) 14/06/2005, (f) 01/08/2005, (g) 24/01/2006, (h) 14/04/2006, (i) 30/04/2006.

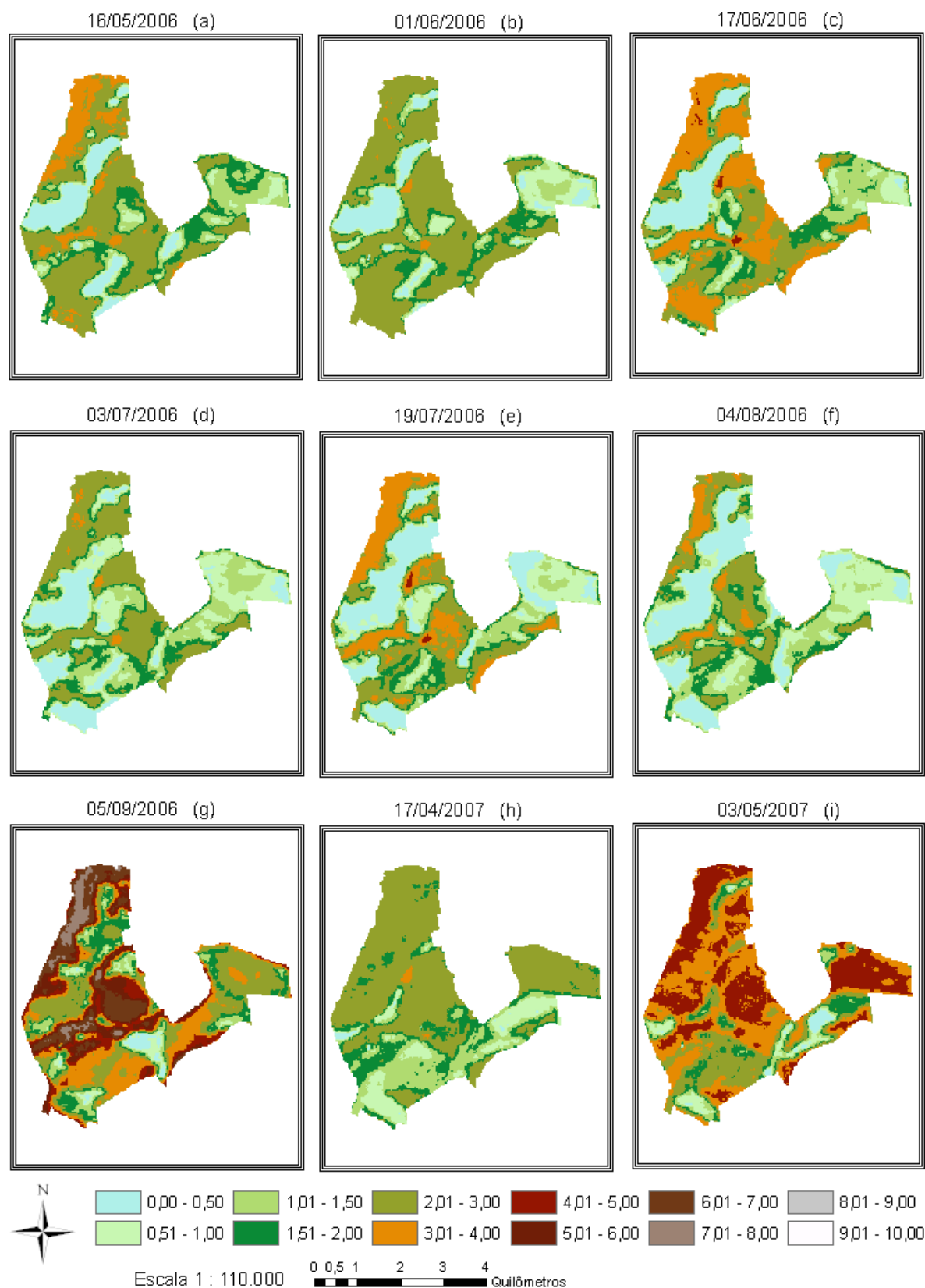


Figura 53 - Evapotranspiração diária (mm d^{-1}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 16/05/2006, (b) 01/06/2006, (c) 17/06/2006, (d) 03/07/2006, (e) 19/07/2006, (f) 04/08/2006, (g) 05/09/2006, (h) 17/04/2007, (i) 03/05/2007.

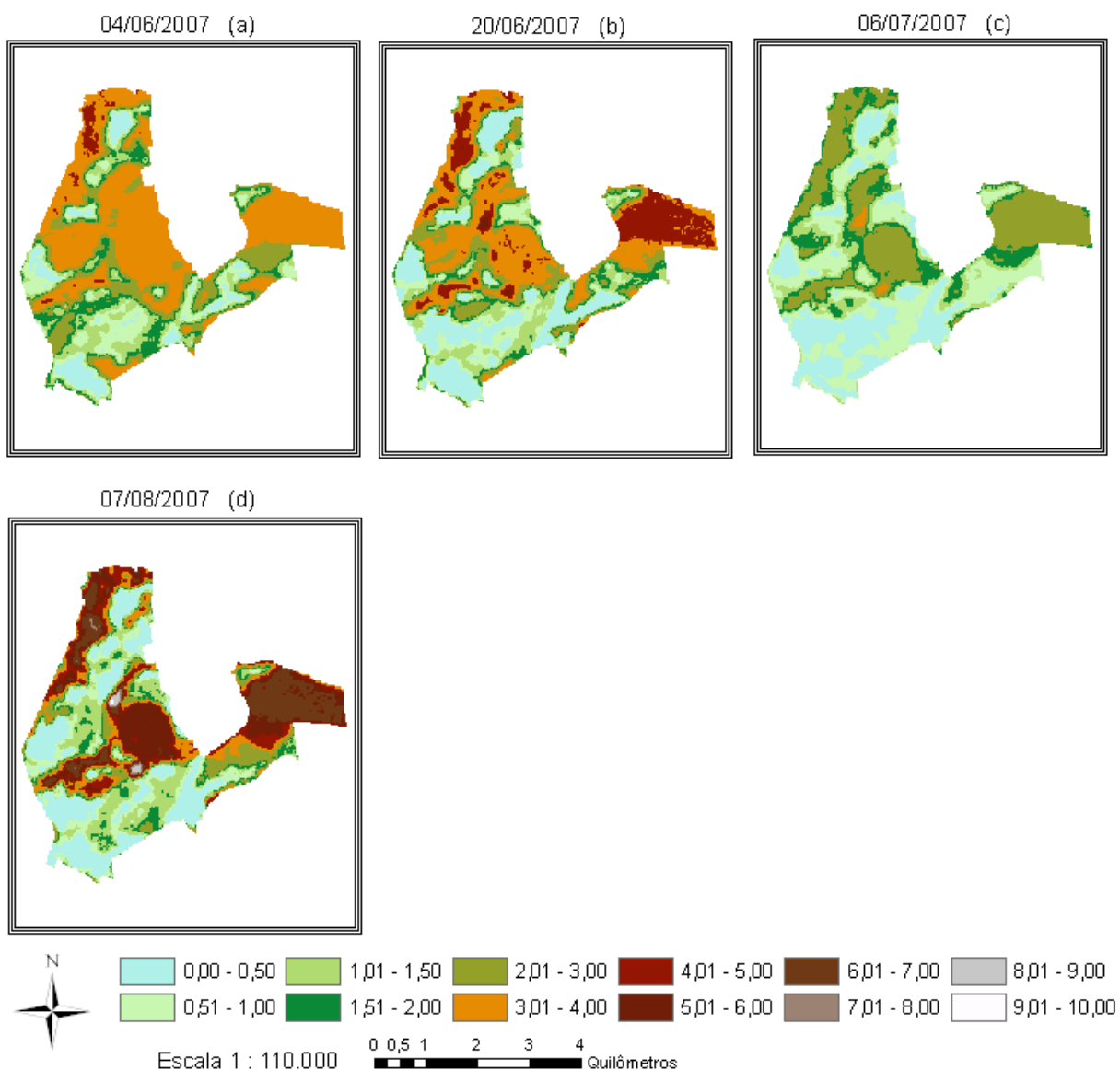


Figura 54 - Evapotranspiração diária (mm d^{-1}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor TM do Landsat 5 para as datas: (a) 04/06/2007, (b) 20/06/2007, (c) 06/07/2007, (d) 07/08/2007.

As Figuras 55 a 60 mostram a variação da evapotranspiração referência (ET_0) pelo método de Penman-Monteith (referência grama, Allen et al., 1998) e a ET média estimada por meio do algoritmo SEBAL para as glebas E1, Pivô, A1, A2, A4 e A5. Nota-se que para a gleba E1 (Figura 55), a ET (SEBAL) ficou muito próxima da ET_c nos dias: 14/08/2004, 30/08/2004, 14/06/2005, 01/08/2005, 16/05/2006, 01/06/2006, 17/06/2006, 03/07/2006, 04/08/2006, 05/09/2006 e 03/05/2007.

Na gleba Pivô (Figura 56) nota-se que a estimativa de ET_c para o dia 04/06/2007 foi a que mais se aproximou do valor médio de ET (SEBAL).

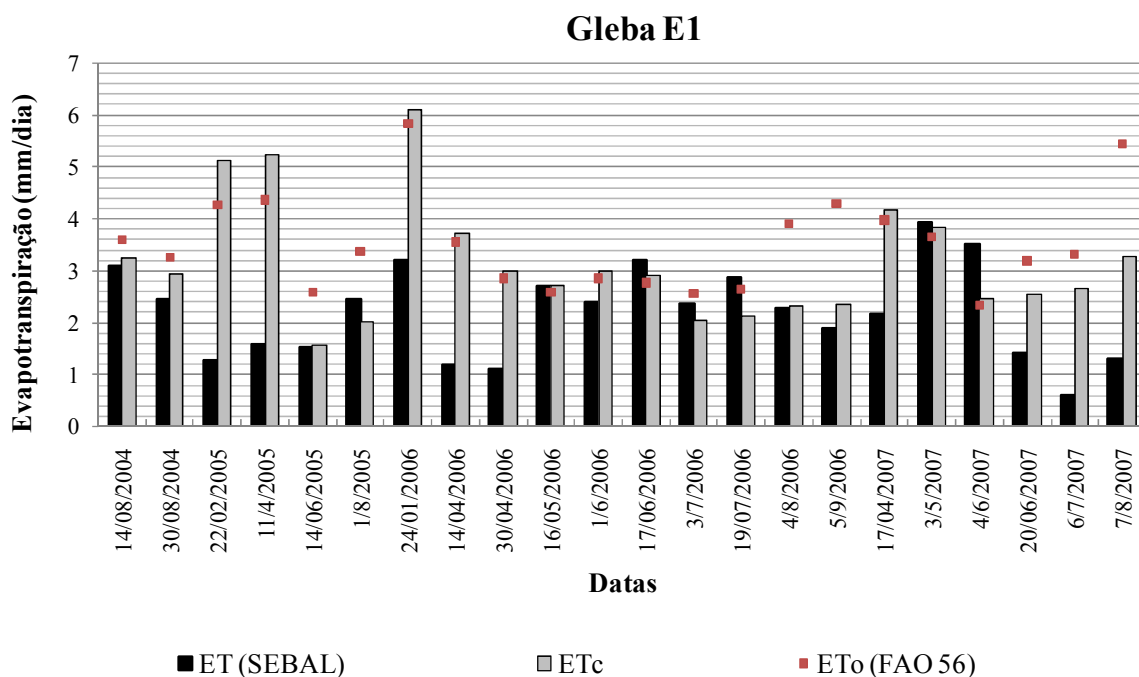


Figura 55 - Evapotranspiração de referência (ETo) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba E1 (talhões 1, 2, 3, 4 e 7).

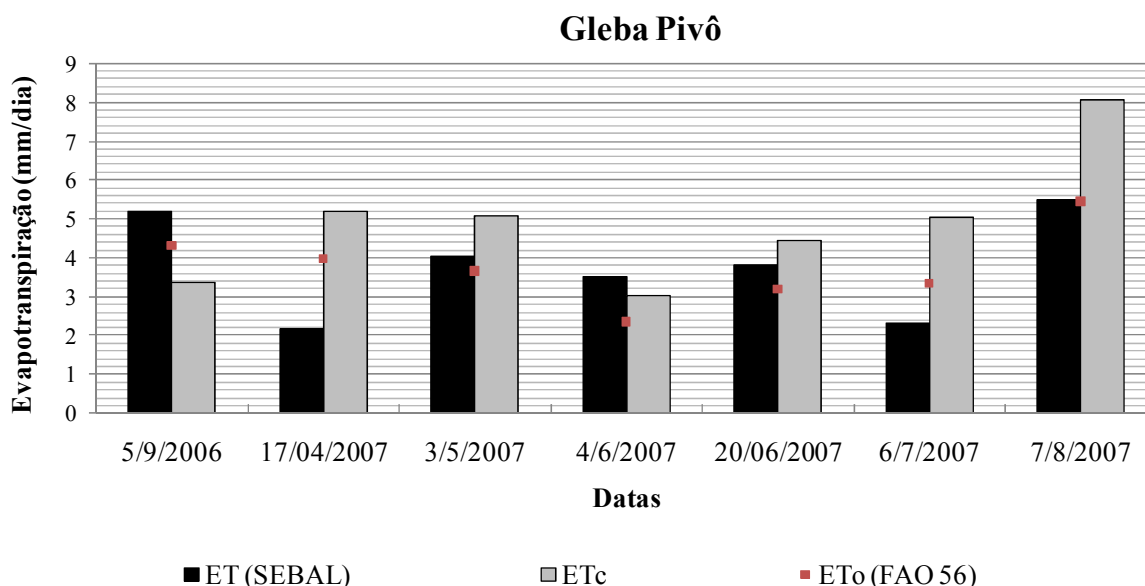


Figura 56 - Evapotranspiração de referência (ETo) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba Pivô (talhões P1, P2 e P3).

Na gleba A1 (Figura 57), houve boa aproximação da ETc com a ET (SEBAL) nos dias: 03/05/2007, 20/06/2007 e 07/08/2007. Já para a gleba A2 (Figura 58), o dia 04/06/2007 foi o que apresentou resultados mais próximos.

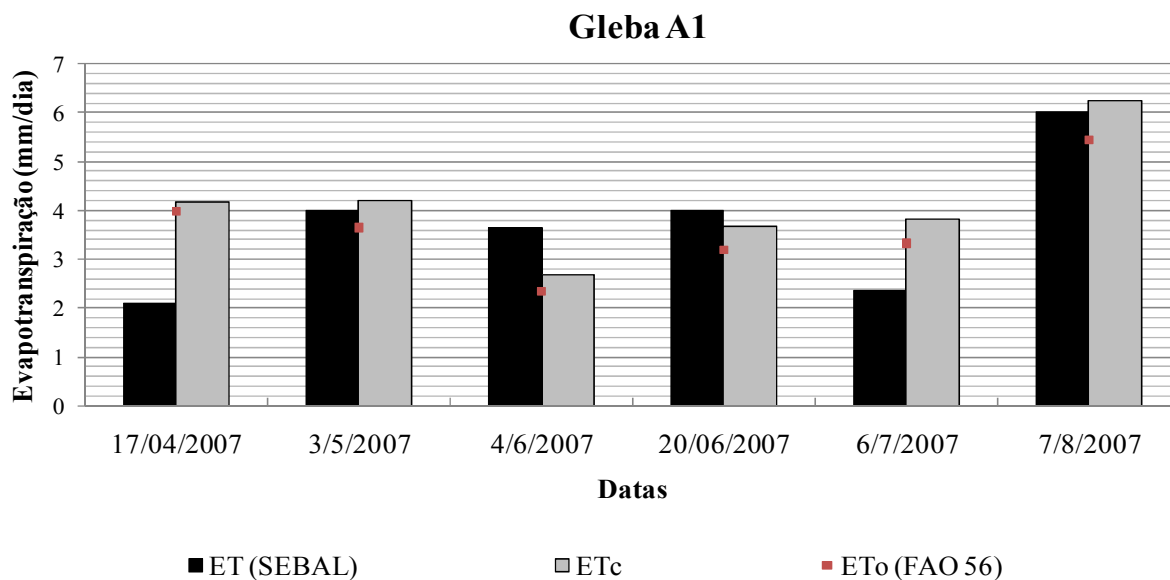


Figura 57 - Evapotranspiração de referência (ETo) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A1 (talhões 1 a 10).

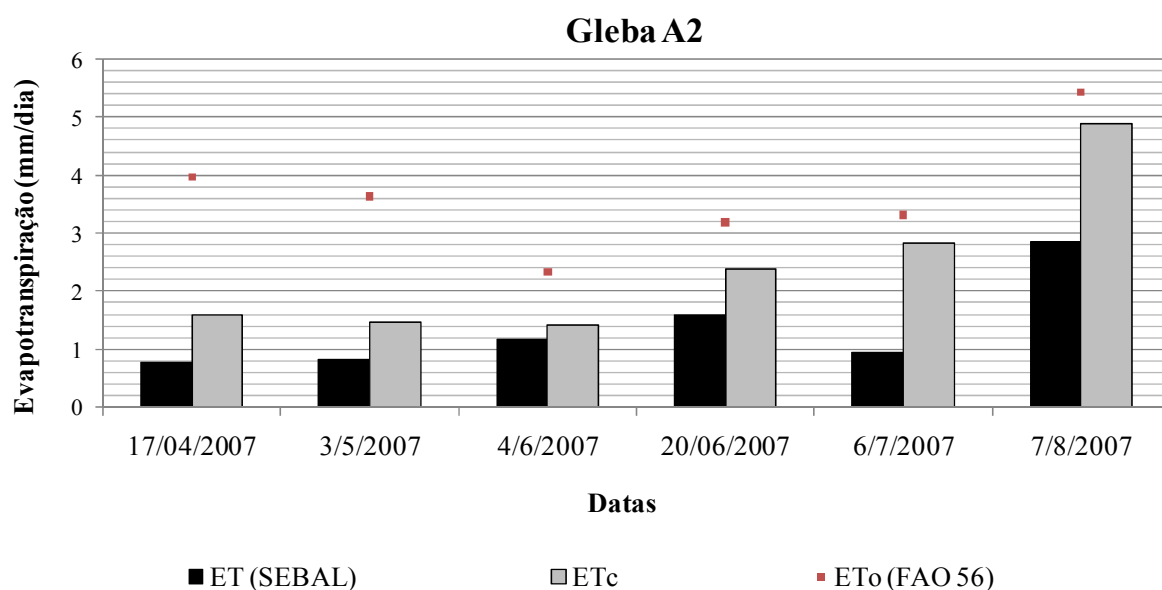


Figura 58 - Evapotranspiração de referência (ETo) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A2 (talhões 1 e 2).

Nota-se na gleba A4 (Figura 59) que as menores diferenças entre ET (SEBAL) e ETc ocorreram nos dias: 16/05/2006, 17/06/2006, 03/07/2006 e 19/07/2006. Na gleba A5 (Figura 60) as maiores diferenças foram observadas nos dias: 30/04/2006 e 04/08/2006.

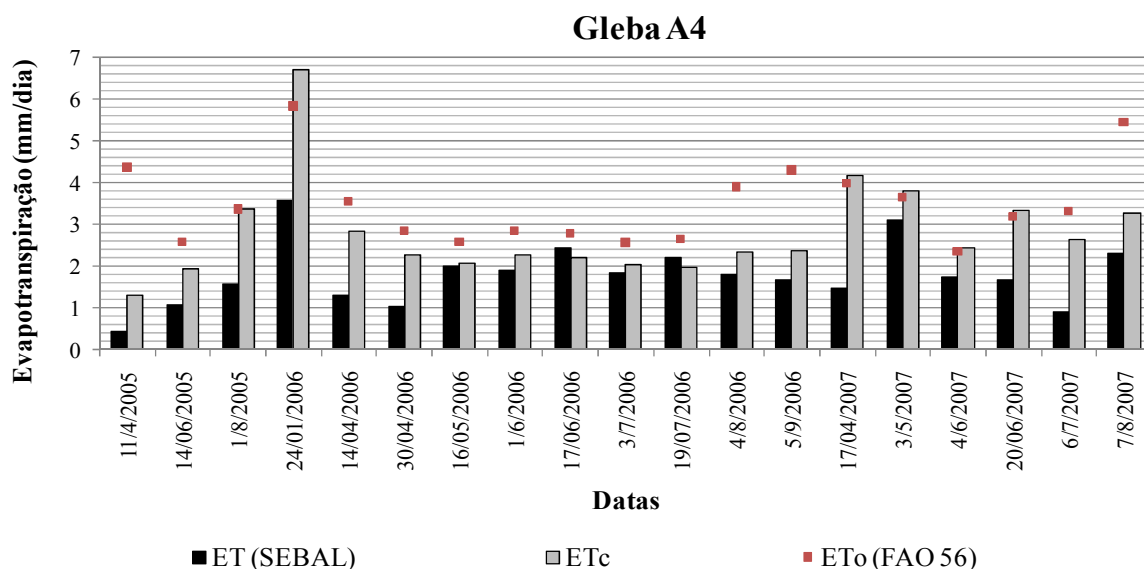


Figura 59 - Evapotranspiração de referência (ETo) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A4 (talhões 1 a 4).

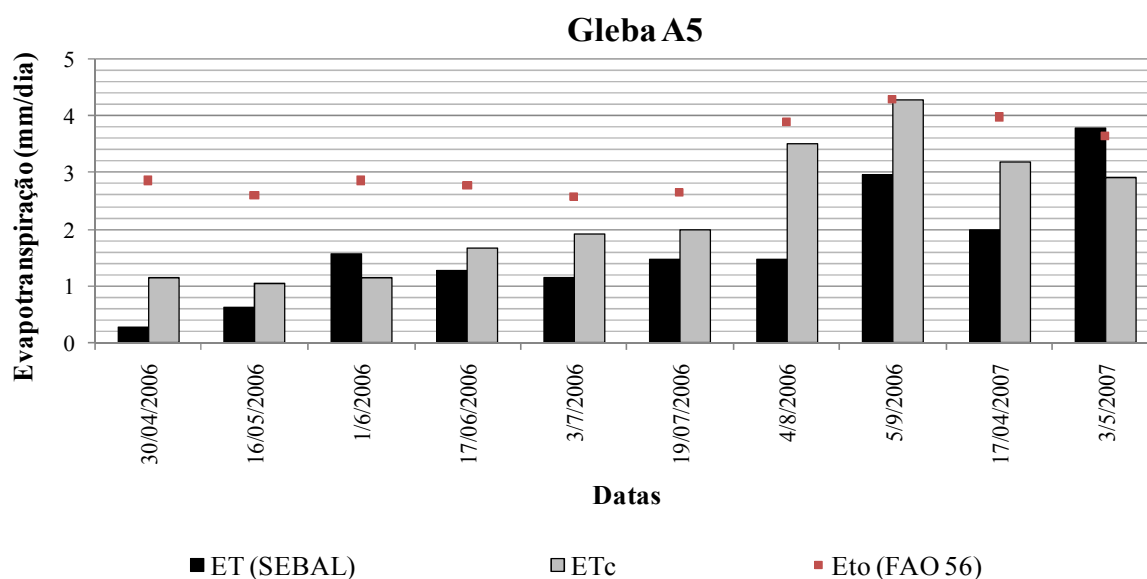


Figura 60 - Evapotranspiração de referência (ETo) (método FAO 56), evapotranspiração da cultura (ETc) e valores de evapotranspiração real obtida por meio do algoritmo SEBAL para a cultura da cana-de-açúcar da gleba A5 (talhões 22, 23 e 24).

4.1.8 Biomassa

Na Figura 61 tem-se a produção média da biomassa estimada por meio do SEBAL e a observada em campo na colheita da cana dos talhões de 1 a 10 da gleba A1. Essa cana foi plantada em 25/10/2006 e colhida em 31/08/2007 (talhões 1 a 7) e 27/09/2007 (talhões 8 a 10). A data de colheita antecipada se deve a problemas com queimadas, entretanto, esses problemas não tiveram reflexos na cena de 07/08/2007 (ultima cena da série adquirida), pois tal fato aconteceu poucos dias antes da colheita e para que não ocorresse prejuízos decidiram pelo corte.

As estimativas feitas pelo SEBAL foram boas, sendo que, teve casos de superestimativa e subestimativa. Nos talhões 1, 4 e 6 as estimativas foram bem próximas da produção observada, com erros máximos de 2 ton/ha. Já os talhões 3 e 8 tiveram os maiores erros (14 ton/ha). Nos demais talhões os erros variaram de 4 ton/ha a 6 ton/ha.

Na Figura 62 tem-se a produção de biomassa medida e estimada por meio do SEBAL para a gleba A4. O menor erro observado foi no talhão 1 (1,3 ton/ha) e os maiores erros da ordem de 34,8 ton/ha, 30,8 ton/ha e 35,6 ton/ha acontecerem nos talhões 3, 6 e 13, respectivamente.

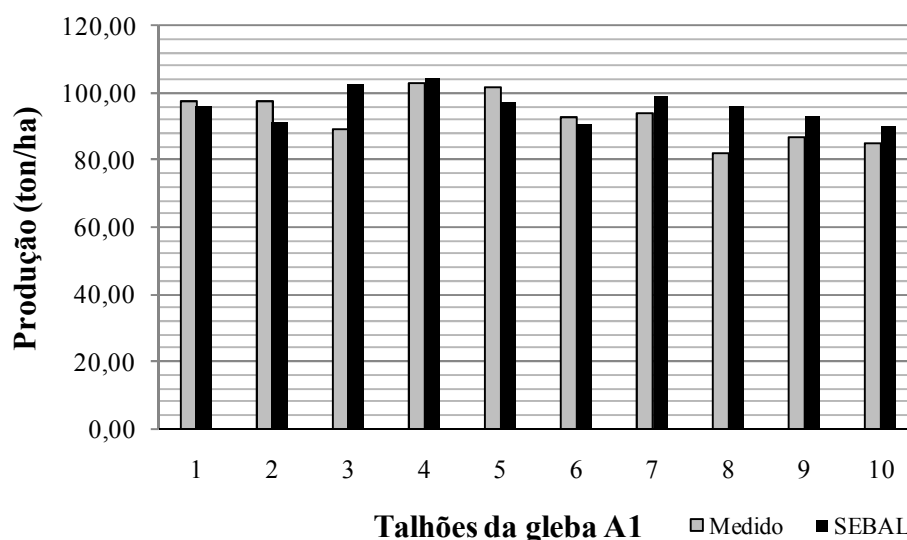


Figura 61 - Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba A1.

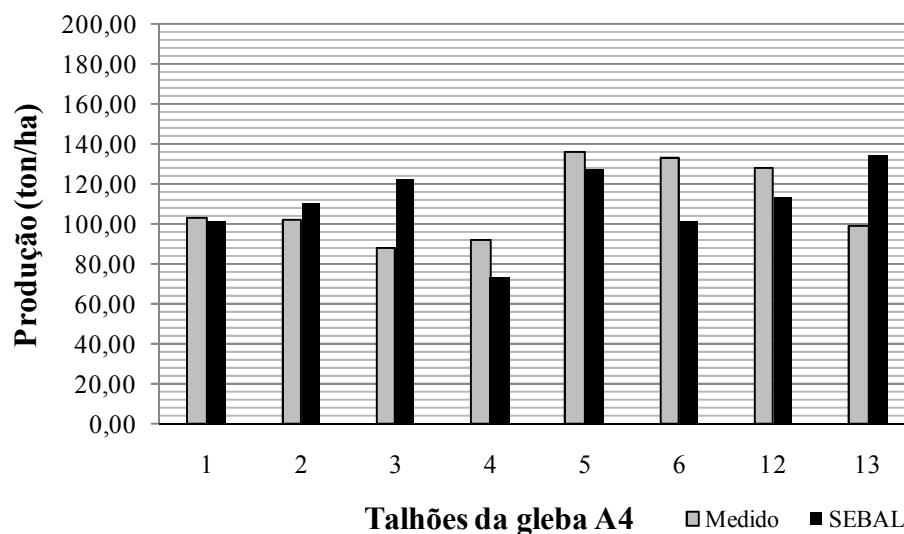


Figura 62 - Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba A4.

Na gleba A5 (Figura 63) o menor erro entre a produção observada e a estimada por meio do SEBAL foi registrado no talhão 24 (7,2 ton/ha) e o maior erro foi no talhão 22 (25,1 ton/ha). Já na gleba E1 (Figura 64), com 7 talhões de plantios da cana, o menor erro foi de 7,4 ton/ha (talhão 4) e o maior foi de 31,5 ton/ha (talhão 5).

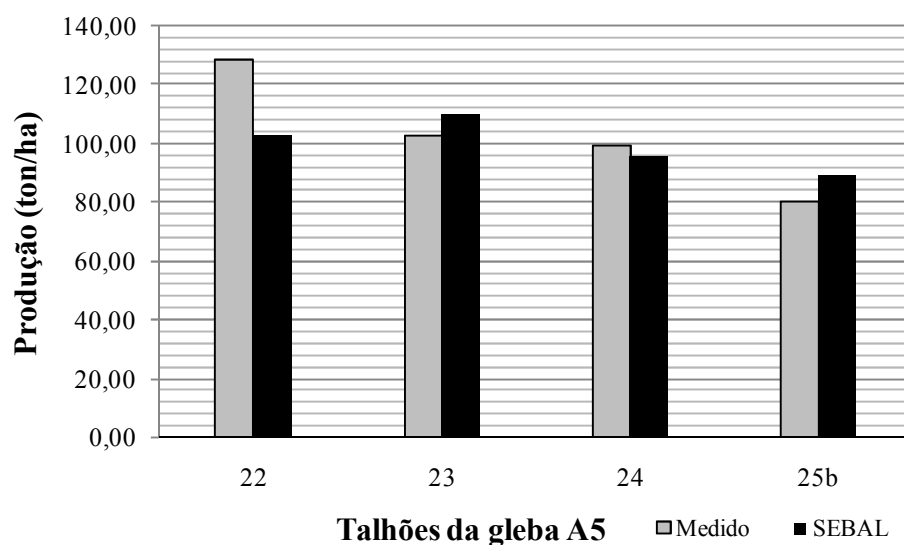


Figura 63 - Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba A5.

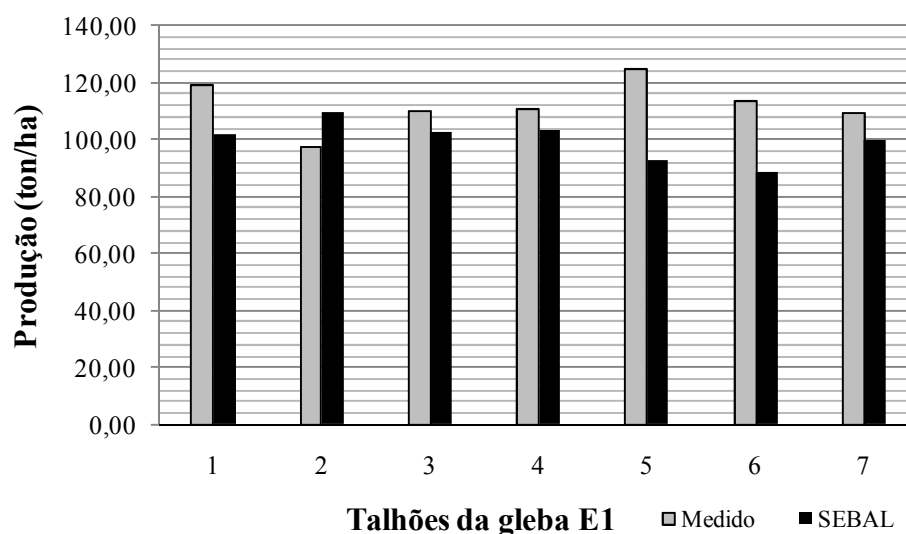


Figura 64 - Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba E1.

Na gleba Pivô as estimativas de produção feitas por meio do SEBAL (Figura 65) apresentaram erros de 3,9 ton/ha, 8,1 ton/ha e 23,2 ton/ha para os talhões 1, 2 e 3, respectivamente.

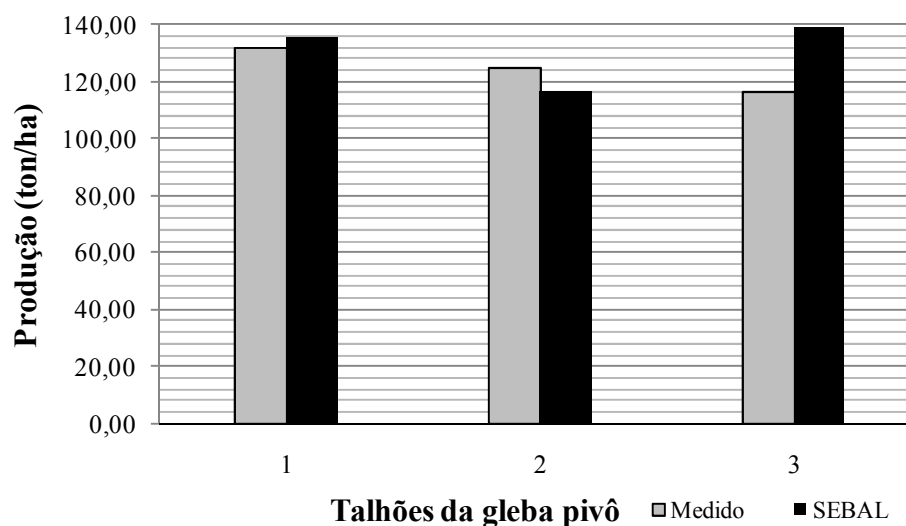


Figura 65 - Valores comparativos entre a produção medida e a estimada por meio do SEBAL para os talhões da gleba pivô.

No Quadro 11 tem-se as informações estatísticas relacionadas à estimativa da produção de biomassa da cana-de-açúcar por meio do algoritmo SEBAL. As análises

de concordância de Willmott (d) apresentaram variação na exatidão das estimativas de acordo com cada gleba analisada, indo de 0,48 na gleba Pivô a 0,79 na gleba A5. Os valores do erro absoluto médio (EAM), erro padrão de estimativa (EPE) e raiz do erro quadrático médio (REQM) estão apresentados em toneladas por hectare. O erro mais elevado foi encontrado na gleba A4 e o menor na gleba A1. Numa análise geral na qual os talhões não foram separados por glebas, foi de 0,64.

Bastiaanssen e Ali (2003), ao utilizar o algoritmo SEBAL juntamente com os modelos de eficiência do uso da radiação (Field et al., 1995) e acúmulo de biomassa (Monteith, 1972), com intuito de estimar a produção de algumas culturas na bacia de Indus no Paquistão, obtiveram REQM de 13,484 ton/ha para a cultura da cana-de-açúcar.

Quadro 11 - Análises estatísticas de concordância de Willmott (d), erro absoluto médio (EAM), erro padrão de estimativa (EPE) e raiz do erro quadrático médio (REQM) para os dados de produção de biomassa da cana-de-açúcar da fazenda Boa Fé nas glebas A1, A4, A5, E1, Pivô e para todos os dados juntos

| Glebas | d | EAM | EPE | REQM |
|--------|------|-------|-------|-------|
| A1 | 0,70 | 5,96 | 7,70 | 7,31 |
| A4 | 0,66 | 18,96 | 24,21 | 22,65 |
| A5 | 0,79 | 11,28 | 16,14 | 13,97 |
| E1 | 0,47 | 15,74 | 19,32 | 17,88 |
| Pivô | 0,48 | 11,72 | 17,58 | 14,35 |
| Todos | 0,64 | 12,55 | 16,34 | 16,08 |

4.2 Imagens MODIS-Terra

Nos Quadros 12 e 13 são apresentados os valores de albedo (α), índices de vegetação (NDVI e SAVI), emissividade (ϵ_0), parâmetro de rugosidade (z_{om}), velocidade de fricção (u_*), resistência aerodinâmica (r_{ah}), temperatura da superfície (T_s), radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$), saldo de radiação (R_n), fluxos de calor no solo (G), sensível (H) e latente (LE) obtidos nos pixels âncoras (pixels “quente” e “frio”) para os meses de fevereiro a dezembro de 2005.

Com a baixa resolução espacial das imagens MODIS-Terra não foi possível selecionar os pixels âncoras dentro da área da fazenda Boa Fé, estes pixels foram

selecionados na região situada entre o município de Miguelópolis-SP a Uberaba-MG, ou seja, estão dentro da área apresentada na Figura 16. Infelizmente, apesar do sensor MODIS-Terra apresentar resolução temporal de 1 a 2 dias, não foi possível obter imagens desse sensor para o mesmo dia de passagem do sensor TM-Landsat 5.

Quadro 12 - Valores de albedo (α), índices de vegetação (NDVI e SAVI), emissividades (ϵ_o), parâmetro de rugosidade (z_{om}), velocidade de fricção (u_*) e resistência aerodinâmica (r_{ah}) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem MODIS-Terra, nos meses de fevereiro a dezembro de 2005

| Data | Pixels âncoras | Parâmetros | | | | | | |
|------------|----------------|------------|------|------|--------------|-----------------|--------------------------|-----------------------------|
| | | α | NDVI | SAVI | ϵ_o | z_{om} (m) | u_* ($m\ s^{-1}$) | r_{ah} ($s\ m^{-1}$) |
| 09/02/2005 | Pixel Quente | 0,19 | 0,48 | 0,31 | 0,968 | 0,017 | 0,640 | 10,624 |
| | Pixel Frio | 0,27 | 0,89 | 0,77 | 0,950 | 0,234 | 0,450 | 14,883 |
| 23/02/2005 | Pixel Quente | 0,15 | 0,65 | 0,42 | 0,974 | 0,031 | 0,936 | 7,487 |
| | Pixel Frio | 0,26 | 0,88 | 0,74 | 0,950 | 0,190 | 0,249 | 5,434 |
| 06/03/2005 | Pixel Quente | 0,19 | 0,35 | 0,24 | 0,965 | 0,011 | 0,272 | 20,225 |
| | Pixel Frio | 0,02 | 0,24 | 0,02 | 0,957 | 0,003 | 0,200 | 32,732 |
| 05/04/2005 | Pixel Quente | 0,12 | 0,18 | 0,08 | 0,959 | 0,005 | 0,588 | 11,911 |
| | Pixel Frio | 0,16 | 0,75 | 0,49 | 0,980 | 0,058 | 0,280 | 8,710 |
| 12/04/2005 | Pixel Quente | 0,13 | 0,28 | 0,17 | 0,962 | 0,008 | 0,514 | 13,058 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,81 | 0,55 | 0,985 | 0,098 | 0,212 | 36,647 |
| 05/05/2005 | Pixel Quente | 0,13 | 0,34 | 0,19 | 0,963 | 0,009 | 0,469 | 14,586 |
| | Pixel Frio | 0,12 | 0,75 | 0,41 | 0,974 | 0,033 | 0,456 | 15,373 |
| 16/05/2005 | Pixel Quente | 0,12 | 0,54 | 0,30 | 0,967 | 0,016 | 1,132 | 6,189 |
| | Pixel Frio | 0,15 | 0,77 | 0,48 | 0,979 | 0,044 | 1,317 | 5,319 |
| 08/06/2005 | Pixel Quente | 0,14 | 0,48 | 0,11 | 0,960 | 0,006 | 0,772 | 9,071 |
| | Pixel Frio | 0,18 | 0,73 | 0,50 | 0,981 | 0,051 | 1,034 | 6,774 |
| 10/06/2005 | Pixel Quente | 0,16 | 0,27 | 0,17 | 0,962 | 0,008 | 0,947 | 7,400 |
| | Pixel Frio | 0,18 | 0,74 | 0,51 | 0,982 | 0,053 | 0,604 | 15,550 |
| 17/06/2005 | Pixel Quente | 0,15 | 0,29 | 0,13 | 0,973 | 0,029 | 0,716 | 9,788 |
| | Pixel Frio | 0,18 | 0,69 | 0,49 | 0,980 | 0,049 | 0,481 | 19,399 |
| 25/06/2005 | Pixel Quente | 0,09 | 0,42 | 0,23 | 0,965 | 0,011 | 0,264 | 20,945 |
| | Pixel Frio | 0,13 | 0,81 | 0,57 | 0,985 | 0,073 | 0,094 | 94,928 |
| 13/07/2005 | Pixel Quente | 0,10 | 0,40 | 0,18 | 0,963 | 0,016 | 0,615 | 11,396 |
| | Pixel Frio | 0,15 | 0,72 | 0,44 | 0,975 | 0,035 | 0,573 | 15,463 |
| 02/08/2005 | Pixel Quente | 0,14 | 0,39 | 0,22 | 0,964 | 0,011 | 0,317 | 19,158 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,64 | 0,50 | 0,981 | 0,050 | 0,357 | 18,908 |
| 14/08/2005 | Pixel Quente | 0,09 | 0,15 | 0,07 | 0,959 | 0,004 | 0,230 | 23,669 |
| | Pixel Frio | 0,13 | 0,56 | 0,32 | 0,968 | 0,018 | 0,186 | 37,004 |
| 08/09/2005 | Pixel Quente | 0,10 | 0,44 | 0,20 | 0,965 | 0,011 | 0,333 | 17,509 |
| | Pixel Frio | 0,13 | 0,69 | 0,40 | 0,973 | 0,028 | 0,117 | 66,424 |
| 21/09/2005 | Pixel Quente | 0,13 | 0,34 | 0,19 | 0,963 | 0,009 | 0,392 | 15,863 |
| | Pixel Frio | 0,15 | 0,57 | 0,35 | 0,970 | 0,033 | 0,150 | 51,680 |
| 08/10/2005 | Pixel Quente | 0,10 | 0,36 | 0,16 | 0,962 | 0,007 | 1,210 | 5,789 |
| | Pixel Frio | 0,11 | 0,77 | 0,41 | 0,975 | 0,033 | 1,380 | 5,077 |
| 24/12/2005 | Pixel Quente | 0,17 | 0,49 | 0,31 | 0,968 | 0,017 | 0,527 | 12,751 |
| | Pixel Frio | 0,17 | 0,76 | 0,54 | 0,979 | 0,048 | 0,480 | 18,680 |

Quadro 13 - Valores de temperatura da superfície (T_s), radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$), saldo de radiação (R_n), fluxos de calor no solo (G), sensível (H) e latente (LE) obtidos nos pixels âncoras de cada imagem MODIS-Terra, nos meses de fevereiro a dezembro de 2005

| Data | Pixels âncoras | T_s (k) | $R_{L\uparrow}$ ($w\ m^{-2}$) | R_n ($w\ m^{-2}$) | G ($w\ m^{-2}$) | H ($w\ m^{-2}$) | LE ($w\ m^{-2}$) |
|------------|----------------|--------------|------------------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 09/02/2005 | Pixel Quente | 304,32 | 479,78 | 936,03 | 126,31 | 1062,34 | 0 |
| | Pixel Frio | 301,04 | 345,89 | 974,63 | 85,57 | 0 | 888,79 |
| 23/02/2005 | Pixel Quente | 309,46 | 499,71 | 885,06 | 131,08 | 754,33 | 0 |
| | Pixel Frio | 300,60 | 439,81 | 1031,37 | 67,50 | 0 | 963,84 |
| 06/03/2005 | Pixel Quente | 306,88 | 491,53 | 911,00 | 158,39 | 752,80 | 0 |
| | Pixel Frio | 301,10 | 445,53 | 764,40 | 83,57 | 0 | 679,11 |
| 05/04/2005 | Pixel Quente | 312,86 | 468,18 | 759,38 | 105,12 | 864,49 | 0 |
| | Pixel Frio | 304,22 | 475,71 | 822,40 | 87,71 | 0 | 734,64 |
| 12/04/2005 | Pixel Quente | 311,74 | 516,77 | 731,89 | 134,26 | 597,65 | 0 |
| | Pixel Frio | 303,22 | 477,39 | 823,62 | 69,19 | 0 | 753,69 |
| 05/05/2005 | Pixel Quente | 303,68 | 464,33 | 725,32 | 84,06 | 643,70 | 0 |
| | Pixel Frio | 298,34 | 441,51 | 717,09 | 60,74 | 0 | 656,26 |
| 16/05/2005 | Pixel Quente | 305,82 | 476,78 | 651,86 | 91,65 | 560,25 | 0 |
| | Pixel Frio | 298,54 | 441,50 | 718,78 | 59,77 | 0 | 659,76 |
| 08/06/2005 | Pixel Quente | 302,72 | 446,97 | 609,92 | 75,72 | 534,20 | 0 |
| | Pixel Frio | 297,98 | 436,48 | 637,17 | 51,68 | 0 | 585,2 |
| 10/06/2005 | Pixel Quente | 298,84 | 431,43 | 622,31 | 73,47 | 548,70 | 0 |
| | Pixel Frio | 297,58 | 435,20 | 662,73 | 57,56 | 0 | 718,84 |
| 17/06/2005 | Pixel Quente | 300,94 | 449,05 | 695,48 | 87,35 | 608,03 | 0 |
| | Pixel Frio | 299,06 | 444,72 | 773,24 | 79,23 | 0 | 688,90 |
| 25/06/2005 | Pixel Quente | 300,76 | 452,08 | 555,03 | 70,81 | 625,50 | 0 |
| | Pixel Frio | 297,14 | 431,95 | 608,72 | 40,15 | 0 | 568,43 |
| 13/07/2005 | Pixel Quente | 302,80 | 457,85 | 606,87 | 80,18 | 526,50 | 0 |
| | Pixel Frio | 297,34 | 434,62 | 644,52 | 60,53 | 0 | 582,63 |
| 02/08/2005 | Pixel Quente | 304,48 | 465,23 | 678,99 | 112,42 | 566,50 | 0 |
| | Pixel Frio | 300,06 | 453,37 | 683,02 | 77,48 | 0 | 603,05 |
| 14/08/2005 | Pixel Quente | 309,54 | 511,89 | 611,13 | 104,10 | 715,20 | 0 |
| | Pixel Frio | 304,38 | 472,98 | 683,71 | 91,20 | 0 | 592,43 |
| 08/09/2005 | Pixel Quente | 311,06 | 499,12 | 749,45 | 125,23 | 624,34 | 0 |
| | Pixel Frio | 303,86 | 470,36 | 805,37 | 91,08 | 0 | 714,26 |
| 21/09/2005 | Pixel Quente | 306,26 | 470,92 | 822,42 | 127,15 | 695,20 | 0 |
| | Pixel Frio | 300,52 | 450,75 | 892,28 | 100,94 | 0 | 791,31 |
| 08/10/2005 | Pixel Quente | 312,05 | 489,35 | 827,94 | 137,52 | 690,20 | 0 |
| | Pixel Frio | 306,98 | 493,65 | 872,01 | 110,50 | 0 | 761,04 |
| 24/12/2005 | Pixel Quente | 309,56 | 493,84 | 934,04 | 156,44 | 777,57 | 0 |
| | Pixel Frio | 302,00 | 390,76 | 1012,68 | 154,61 | 0 | 858,07 |

Nas Figuras 66 e 67 tem-se a evapotranspiração diária na área de abrangência da fazenda Boa Fé para os meses de fevereiro a dezembro de 2005. Devido à baixa resolução espacial do sensor MODIS, áreas que apresentam solo exposto e cobertura vegetal estão presentes no mesmo pixel.

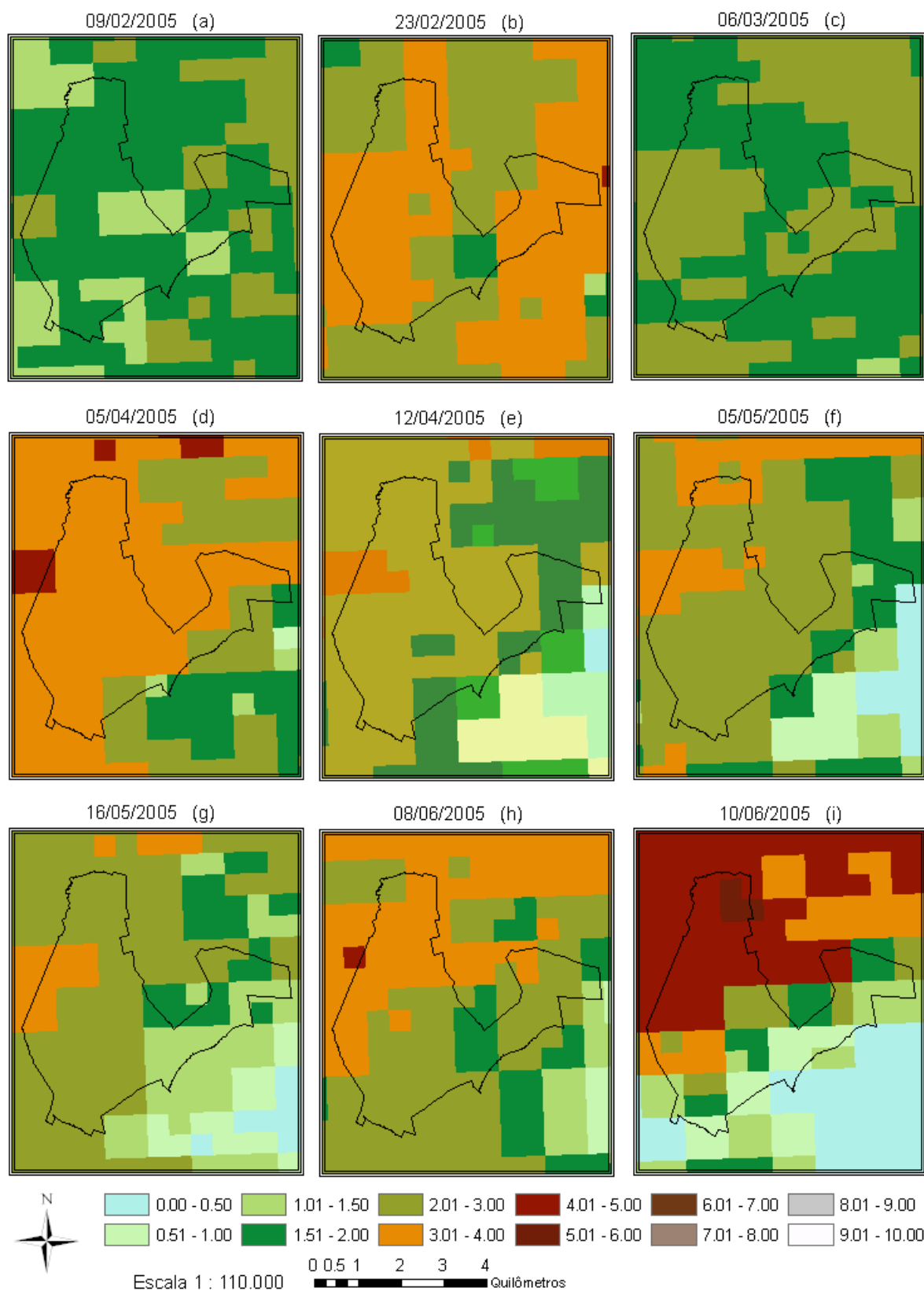


Figura 66 - Evapotranspiração diária (mm d^{-1}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor MODIS-Terra para as datas: (a) 09/02/2005, (b) 23/02/2005, (c) 06/03/2005, (d) 05/04/2005, (e) 12/04/2005, (f) 05/05/2005, (g) 16/05/2005, (h) 08/06/2005, (i) 10/06/2005.



Figura 67 - Evapotranspiração diária (mm d^{-1}) da superfície territorial da fazenda Boa Fé, obtido por meio de imagens do sensor MODIS-Terra para as datas: (a) 17/06/2005, (b) 25/06/2005, (c) 13/07/2005, (d) 02/08/2005, (e) 14/08/2005, (f) 08/09/2005, (g) 21/09/2005, (h) 08/10/2005, (i) 24/12/2005.

5. RESUMOS E CONCLUSÕES

Realizou-se a estimativa dos componentes de energia por meio do algoritmo SEBAL, nos quais, foram utilizados no cálculo da fração evaporativa, que serviu como variável de entrada na equação de Ayenew (2003) para a determinação da evapotranspiração diária com imagens dos sensores TM-Landsat 5 e MODIS-Terra. Ao acoplar os modelos de eficiência do uso da radiação e de acúmulo de biomassa, obteve-se a produção de biomassa da cultura da cana-de-açúcar apenas com imagens TM-Landsat 5 devido a baixa resolução espacial do sensor MODIS.

Os resultados obtidos, para as condições analisadas, possibilitaram as seguintes conclusões:

- Os valores de α , NDVI, SAVI, ϵ_0 , T_s , $R_{L\uparrow}$, H, LE, G e R_n dos pixels âncoras oscilaram de acordo com o ano e o mês analisado.
- O NDVI dentro dos limites territoriais da fazenda variou de -1,0 a 0,87, com média de 0,445. Indicando haver uma grande variação nas superfícies refletoras na área de estudo.

- O albedo mínimo foi verificado em áreas de corpos d'água de duas pequenas represas. Já o albedo máximo situa-se exatamente sobre área edificada da fazenda Boa Fé.
- O albedo da cana-de-açúcar variou de acordo com o estágio de desenvolvimento, época do ano e condição hídrica da cultura.
- Para a série de imagens TM-Landsat 5 e nos domínios territoriais da fazenda Boa Fé, foram obtidos valores médios de R_n , G , H e LE de $711,82 \text{ W m}^{-2}$, $81,91 \text{ W m}^{-2}$, $216,00 \text{ W m}^{-2}$ e $418,62 \text{ W m}^{-2}$, respectivamente.
- A ET diária teve valores máximos em áreas de corpos d'água e mínimos em áreas de solo exposto, o que já era esperado. Sendo que nas glebas com plantio da cana-de-açúcar as taxas evapotranspirométricas tiveram influência do estágio de desenvolvimento, época do ano e condição hídrica da cultura.
- A ET diária média da série 2004 a 2007 obtida por meio do algoritmo SEBAL e imagens TM – Landsat 5 para a área de abrangência da fazenda Boa Fé foi de $1,90 \text{ mm d}^{-1}$.
- Ao comparar a ET média estimada via SEBAL com a ET_o , verificou-se coerência nos resultados encontrados, com respaldo na literatura.
- A produção de biomassa média para a cultura da cana-de-açúcar estimada por meio do algoritmo SEBAL, apresentou concordância que variou de 0,48 na gleba Pivô a 0,79 na gleba A5. Além disso, numa análise geral, na qual os talhões não foram separados por glebas, a concordância foi de 0,64. Com erros de estimativa dentro da faixa encontrada na literatura.
- Apesar de não ter coincidência entre as datas das cenas TM-Landsat 5 e MODIS-Terra, os resultados obtidos com o MODIS teve os valores de ET diária atenuados devido a presença de cobertura vegetal e solo exposto no mesmo pixel da imagem (limitação da resolução espacial).
- Os resultados obtidos demonstraram que o SEBAL é um algoritmo que apresenta bom desempenho na estimativa dos fluxos de energia e produção de

biomassa da cultura da cana-de-açúcar, com potenciais para ser aplicado em áreas com limitada disponibilidade de dados meteorológicos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agam, N., Kustas, W. P., Anderson, C. M., Li, F., Colaizzi, P. D. Utility of thermal sharpening over Texas high plains irrigated agricultural fields. *Journal of Geophysical Research*, v. 112 (D19110, doi:10.1029/2007JD008407), 2007.

Akbari, M., Toomanian, N., Droogers, P., Bastiaanssen, W. G., Gieske, A. Monitoring irrigation performance in Esfahan, Iran, using NOAA satellite imagery. *Agricultural Water Management*, v. 88, p. 99-109, 2007.

Al-Abbas, A. H., Swain, P. H., Baumgardner, M. F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils. *Soil Science*, v. 11, n. 6, p. 477-485, 1972.

Allen, R. G., Morse, A., Tasumi, M. Application of SEBAL for Western US Water Rights Regulation and Planning. *54th IEC Meeting of the International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)*, Montpellier, France. 2003, 13p.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper: 56*, 1998, 300p.

Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 19, p. 251-268, 2005.

Allen, R. G., Tasumi, M., Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, p. 380-394, 2007a.

Allen, R. G., Tasumi, M., Morse, A., Trezza, R., Kramber, W., Lorite, I. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) - Applications. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, p. 395-406, 2007b.

Allen, R., Tasumi, M., Trezza, R. SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithms for Land*) - *Advanced Training and Users Manual - Idaho Implementation*, version 1.0, 2002, 98p.

Alvarenga, B. S., Arco, E., Adami, M., Formaggio, A. R. O ensino de conceitos e práticas de espectrorradiometria laboratorial: estudo de caso com solos do Estado de São Paulo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 739-747.

Anderson, L. O. *Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS*. São José dos Campos: INPE, 247p., Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

Anderson, L. O., Latorre, M. L., Shimabukuro, Y. E., Arai, E., Junior, O. A. de C. *Sensor MODIS: uma abordagem geral*. INPE-10131-RPQ/752, São José dos Campos, SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003, 58p.

Anderson, M. C., Norman, J. M., Diak, G. R., Kustas, W. P., Mecikalski, J. R. A two-source time-integrated model for estimating surface fluxes using thermal infrared remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 60, p. 195-216, 1997.

Anderson, M. C., Norman, J. M., Meyers, T. P., Diak, G. R. An analitica model for estimating canopy transpiration and carbon assimilation fluxes based on canopy light-use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 101, p. 265-289, 2000.

Araújo, J. C. de. *Determinação de zonas de manejo e estimativa da produtividade de culturas de grãos por meio de videografia aérea digital multiespectral*. Piracicaba: ESALQ-USP, 101p., Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004.

Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E. T., Hatfield, J. L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agronomy Journal*, v. 76, n.2, p. 300-306, 1984.

Ayenew, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highland. *Journal of Hidrology*, v. 279, p. 83-93, 2003.

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

- Bastiaanssen, W. G., Ali, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 94, p. 321-340, 2003.
- Bastiaanssen, W. G., Bos, M. G. Irrigation performance indicators based on remotely sensed data: a review of literature. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 13, p. 291-301, 1999.
- Bastiaanssen, W. G., Bandara, K. M. Evaporative depletion assessments for irrigated watersheds in Sri Lanka. *Irrigation Science*, v. 21, p. 1-15, 2001.
- Bastiaanssen, W. G., Chandrapala, L. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. *Agricultural Water Management*, v. 58, p. 171-192, 2003.
- Bastiaanssen, W. G., Menenti, M., Feddes, R. A., Holtslag, A. A. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 198-212, 1998a.
- Bastiaanssen, W. G., Molden, D. J., Makin, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, v. 46, p. 137-155, 2000.
- Bastiaanssen, W. G., Noordman, E. J., Pelgrum, 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*, v. 131, p. 85-93, 2005.
- Bastiaanssen, W. G. M., Pelgrum, H., Wang, J., Ma, Y., Moreno, J. F., Roerink, G. J., van der Wal, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 213-229, 1998b.
- Baumgardner, M. F., Kristof, S. J., Johannsen, C. J., Zachary, A. L. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. *Proceedings of the Indiana Academy of Science*, v. 79, p. 413-422, 1969.
- 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: UFCG, 127p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, 2006.
- Boegh, E., Schelde, K., Soegaard, H., Estimating transpiration rates in a Danish agricultural area using Landsat Thermal Mapper data. *Physical Chem. Earth (B)*, v. 25, n. 7-8, p. 685-689, 2000.
- Boegh, E., Soegaard, H., Thomsen, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. *Remote Sensing of Environment*, v. 79, p. 329-343, 2002.

Bradford, J. B., Hicke, J. A., Lauenroth, W. K. The relative importance of light-use efficiency modifications from environmental conditions and cultivation for estimation of large-scale net primary productivity. *Remote Sensing of Environment*, v. 96, p. 246-255, 2005.

Chander, G., Markham, B. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 41, n.11, p. 2674-2677, 2003.

Chandrapala, L., Wimalasuiya, M. Satellite measurements supplemented with meteorological data to operationally estimate evaporation in Sri Lanka. *Agricultural Water Management*, v. 58, p. 89-107, 2003.

Chemin, Y., Platonov, A., Ul-Hassan, M., Abdullaev, I. Using remote sensing data for water depletion assessment at administrative and irrigation-system levels: case study of the Ferghana Province of Uzbekistan. *Agricultural Water Management*, v. 64, p. 183-196, 2004.

Compaoré, H., Hendrickx, J. M., Hong, S., Friesen, J., van de Giesen, N. C., Rodgers, C., Szarzynski, J., Vlek, P. L. G. Evaporation mapping at two scales using optical imagery in the White Volta Basin, Upper East Ghana. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 33, p. 127-140, 2008.

Conrad, C., Dech, S. W., Hafeez, M., Lamers, J., Martius, C., Strunz, G. Mapping and assessing water use in a Central Asian irrigation system by utilizing MODIS remote sensing products. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 21, p. 197-218, 2007.

Cosgrove, B. A., Lohmann, D., Mitchell, K. E., Houser, P. R., Wood, E. F., Schaake, J., Robock, A., Marshall, C. H., Sheffield, J., Luo, L., Duan, Q., Pinker, R., Tarpley, J. D., Higgins, R. W., Ming, J. Real-time and retrospective forcing in the North American Land Data Assimilation Systems (NLDAS) project. *Journal of Geophysical Research*, v. 108 ((D22), 8842. doi: 10.1029/2002JD003118), 2003.

Costa, M. C. *Estimativa da evapotranspiração regional por meio de imagens orbitais*. Viçosa: UFV, 52p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

Crosta, A. P. *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. 2^a Ed. Campinas, UNICAMP/IG. 1993, 170p.

Daughtry, C. S., Goward, K. P., Prince, S. D., Kustas, W. P. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sensing of the Environment*, v. 39, p. 141-152, 1992.

Delgado-Rojas, J. S., Barbieri, V. Modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade da cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 7, n.1, p. 67-73, 1999.

Doorenbos, J., Kassam, A. H. *Efeito da água no rendimento das culturas*. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33 ed., 1979). Tradução de H. R. Gheyi, A. A. Sousa, F. A. Damasceno, J. F. Medeiros. Campina Grande, UFPB, 1994. 306p.

Field, C. B., Randerson, J. R., Malmström, C. M. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 51, p. 74-88, 1995.

Folhes, M. T. *Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos*. São José dos Campos: INPE, 186p., Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.

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, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 3349-3356.

Fonseca, E. L. *Caracterização espectral e índices de vegetação em Paspalum notatum Flügge var. notatum com vistas à modelagem de crescimento*. Porto Alegre: UFRGS, 61p., Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

Fonseca, E. L. *Desenvolvimento de modelo da disponibilidade de fitomassa aérea para formações campestres naturais a partir de dados espectrais orbitais e agrometeorológicos*. São José dos Campos: INPE, 193p., Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004.

Fortes, C. *Discriminação varietal e estimativa de produtividade agroindustrial de cana-de-açúcar pelo sensor orbital ETM+/Landsat 7*. Piracicaba: ESALQ-USP, 131p., Dissertação (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2003.

French, A. N., Jacob, F., Anderson, M. C., Kustas, W. P., Timmermans, W., Gieske, A., Su, Z., Su, H., McCabe, M. F., Prueger, J., Brunsell, N. Surface energy fluxes with the advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). *Remote Sensing of Environment*, v. 99, p. 55-65, 2005.

Galvão, L. S., Vitorello, I., Filho, R. A. Effects of band positioning and bandwidth on NDVI measurements of tropical savannas. *Remote Sensing of Environment*, v. 67, n. 2, p. 181-193, 1999.

Gamon, J. A., Field, C. B., Goulden, M. L., Griffin, K. L., Hartley, A. E., Joel, G., Peñuelas, J., Valentini, R. Relationships between NDVI, canopy structure and photosynthesis in three californian vegetation types. *Ecological Applications*, v. 5, p. 28-41, 1995.

Gausman, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. *Photogrammetric Engineering*, v. 40, p. 183-191, 1974.

Gieske, A., Meijninger, W. High density NOAA time series of ET in the Gediz Basin, Turkey. *Irrigation and Drainage Systems*, v. 19, p. 285-299, 2005.

Granger, R. J., Satellite-derived Estimates of Evapotranspiration in the Gediz Basin. *Journal of Hydrology*, v. 229, p. 70-76, 2000.

Grupo Ma Shou Tao. Galeria de imagens, 1999. Disponível em: <<http://www.mashoutao.com.br/galeria.php>>. Acesso em: 7 mar. 2008.

Gusso, A., Fontana, D. C., Gonçalves, G. A. Mapeamento da temperatura da superfície terrestre com o uso do sensor AVHRR/NOAA. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, n. 2, p. 231-237, 2007.

Hemakumara, H. M., Chandrapala, L., Moene, A. F. Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer. *Agricultural Water Management*, v. 58, p. 109-122, 2003.

Hoffer, R. M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: Swain, P. H.; Davis, S. M. ed. *Remote sensing: the quantitative approach*. New York: McGraw-Hill. Cap. 5, p. 228-289, 1978.

Huete, A. R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 89-105, 1988.

IBGE. *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. (Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão). Mapas Interativos, 2008. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/solos/viewer.htm>>. Acesso em: 7 mar. 2008.

Ines, A. V., Honda, K., Gupta, A. D., Droogers, P., Clemente, R. S. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. *Agricultural Water Management*, v. 83, p. 221-232, 2006.

INPE, *Divisão de Geração de Imagens*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/html/landsat.htm>>. Acesso em: 19 mar. 2008.

Justice, C. O., Townshend, J. R. G., Vermote, E. F., Masuoka, E., Wolfe, R. E., Saleous, N., Roy, D. P., Morisette, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n.1-2, p. 3-15, 2002.

Kerr, Y. H., Lagouarde, J. P., Imbernom, J. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. *Remote Sensing of Environment*, v. 41, p. 197-209, 1992.

Kimura, R., Bai, L., Fan, J., Takayama, N., Hinokidani, O. Evapo-transpiration estimation over the river basin of the Loess Plateau of China based on remote sensing. *Journal of Arid Environments*, v. 68, p. 53-65, 2007.

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

Kongo, V. M., Jewitt, G. P. Preliminary investigation of catchment hydrology in response to agricultural water use innovations: A case study of the Potshini catchment - South Africa. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 31, p. 976-987, 2006.

Kuntschik, G. *Estimativa de biomassa vegetal lenhosa em cerrado por meio de sensoriamento remoto óptico e de radar*. São Paulo, 154p., Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2004.

LEB, *WikiEpidemio*. Laboratório de Epidemiologia e Bioestatística, USP. Geoprocessamento, 2008. Disponível em: <http://www.vps.fmvz.usp.br/mediawiki/index.php/Radia%C3%A7%C3%A3o_eletromagn%C3%A9tica>. Acesso em: 16 mar. 2008.

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, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 255-262.

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

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., Chipman, J. W. *Remote sensing and image interpretation*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2004, 763p.

Liu, W. T. H. *Aplicações de sensoriamento remoto*. Ed. UNIDERP, Campo Grande. 2007, 908p.

Lucchesi, A. A. Processos fisiológicos da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp). *Boletim Técnico - ESALQ/CENA*, n. 7, p. 1-50, 1995.

Lyra, G. B., Pereira, A. R., Lyra, G. B., Sedyama, G. C., Maia, S. M. F. Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros do Estado de Alagoas: coeficiente da cultura “dual” padrao boletim FAO-56. *STAB*, v. 25, n. 5, p. 44-51, 2007.

Ma, Y., Menenti, M., Tsukamoto, O., Ishikawa, H., Wang, J., Gao, Q. Remote sensing parameterization of regional land surface heat fluxes over arid area in northwestern China. *Journal of Arid Environments*, v. 57, p. 117-133, 2004.

Maule, R. F., Mazza, J. A., Martha Júnior, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. *Scientia Agrícola*, v. 58, n.2, p. 295-301, 2001.

- Mathews, H. L., Cunningham, R. L., Petersen, G. W. Spectral reflectance of selected Pennsylvania Soils. *Soil Science Society of America Proceedings*, v. 37, p. 421-424, 1973.
- Medina, J. L., Camacho, E., Reza, J., López, R., Roldán, J. Determination and analysis of regional evapotranspiration in Southern Spain based on Remote Sensing and GIS. *Physical Chem. Earth*, v. 23, n. 4, p. 427-432, 1998.
- Menezes, S. J. M. C. *Evapotranspiração regional utilizando o SEBAL em condições de relevo montanhoso*. Viçosa: UFV, 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2006.
- Mohamed, Y.A., Bastiaanssen, W. G. M., Savenije, H. H. G. Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. *Journal of Hydrology*, v. 289, p. 145-164, 2004.
- Monteith, J. L., Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, v. 9, p. 747-766, 1972.
- Moreira, M. A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Ed. UFV. 3ª Ed. atual. ampl., Viçosa. 2005, 320p.
- Moreira, R. C. *Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação*. São José dos Campos: INPE, 179p., Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.
- National Academy of Sciences (NAS). *Remote sensing with special reference to agriculture and forestry*. Washington, D. C. 1970, 424p.
- Nourbaeva, G., Kazama, S., Sawamoto, M. Assessment of daily evapotranspiration using remote sensing data. *Environmental Informatics Archives*, v. 1, p. 421-427, 2003.
- Novo, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto. Princípios e aplicações*. Ed. Edgard Blücher Ltda. 2ª Ed. São Paulo, Brasil. 1992, 308p.
- Novo, E. M. L. M. *Sensoriamento remoto: Princípios e aplicações*. São José dos Campos, SP: INPE/MCT, 1998. 363p.
- Paiva, C. M. *Estimativa do balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR*. Rio de Janeiro: UFRJ, 218p., Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005.
- Pereira, S. *Princípios físicos em sensoriamento remoto*. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM. 1997, 69p.
- Peters-Lidard, C. D., Houser, P. R., Tian, Y., Kumar, S. V., Geiger, J., Olden, S., Lighty, L., Doty, B., Dirmeyer, P., Adams, J., Mitchell, K., Wood, E. F., Sheffield, J.

High-performance Earth system modeling with NASA/GSFC's Land Information System. *Innovations in Systems and Software Engineering*, v. 3, p. 157-165, 2007.

Roerink, G., Su, Z., Menenti, M. A simple remote sensing algorithm to estimate the surface energy balance. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, v. 25, n.2, p. 147-157, 2000.

Samarasinghe, G. B. Growth and yields of Sri Lanka's major crops interpreted from public domain satellites. *Agricultural Water Management*, v. 58, p. 145-157, 2003.

Santos, A. J. *Micrometeorologia de um cultivo de cana-de-açúcar em Alagoas*. Maceió: UFAL. 91p., Dissertação (Mestrado meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, 2001.

Schüttemeyer, D., Schillings, C., Moene, A. F., Bruin, H. A. Satellite-based actual evapotranspiration over drying semiarid terrain in West Africa. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 46, p. 97-111, 2007.

Sellers, P. J. Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, v. 6, n. 8, p. 1335-1372, 1985.

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, n. 2, p. 174-186, 2006.

Silva, B. B., Lopes, G. M., Azevedo, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens Landsat 5-TM. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 13, n. 2, p. 201-211, 2005a.

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, J. W., Santos, R. L. Estimativa da temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IRMSS (banda 4) do CBERS-2. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 1159-1166.

Silva, J. W., Guimarães, E. C., Tavares, M. Variabilidade temporal da precipitação mensal e anual na estação climatológica de Uberaba-MG. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, n. 3, p. 665-674, 2003.

Soares, V. P. *Princípios gerais de sensoriamento remoto*. Viçosa: UFV/Departamento de Engenharia Florestal. Apostila de aula, 2004. 47p.

Stafford, J. V. Implementing Precision Agriculture in the 21 th century. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 76, p. 267-275, 2000.

Steinmetz, S., Guerif, M., Delecolle, R., Baret, F. Spectral estimates of the absorbed photosynthetically active radiation and light-use efficiency of a winter wheat crop subjected to nitrogen and water deficiencies. *International Journal of Remote Sensing*, v. 11, n. 10, p. 1797-1808, 1990.

Su, Z. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 6, n. 1, p. 85-99, 2002.

Tasumi, M. *Progress in operational estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery*. 357p., (Dissertation Doctor of Philosophy). University of Idaho, 2003.

Timmermans, W. J., Meijerink, A. M. Remotely sensed actual evapotranspiration: implications for groundwater management in Botswana. *JAG*, v. 1, p. 222-233, 1999.

Trezza, R. Evapotranspiration from a remote sensing for water a management in an irrigation system in Venezuela. *Interciencia*, v. 31 n. 6, p. 417-423, 2006.

Verstraete, M. M., Pinty, B., Myneni, R. B. Potential and limitations of information extraction on the terrestrial biosphere from satellite remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, p. 201-214, 1996.

Apêndice

Quadro 14 - Processo iterativo do dia 14/08/2004 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -0,1070 | 84,0590 | 83,4910 | -84,1040 | 4,4618 | 39,072 |
| 1 (corrigido) | -2,0800 | 4,1430 | 0,2350 | -4,1452 | 0,2199 | 1,926 |
| 2 (corrigido) | -0,4370 | 38,9170 | 0,1400 | -38,9378 | 2,0657 | 18,089 |
| 3 (corrigido) | -0,8740 | 26,2890 | 0,1760 | -26,3031 | 1,3954 | 12,219 |
| 4 (corrigido) | -0,6250 | 31,4410 | 0,1580 | -31,4578 | 1,6689 | 14,614 |
| 5 (corrigido) | -0,7310 | 28,8540 | 0,1660 | -28,8695 | 1,5315 | 13,412 |
| 6 (corrigido) | -0,6790 | 30,0380 | 0,1620 | -30,0541 | 1,5944 | 13,962 |
| 7 (corrigido) | -0,7040 | 29,4710 | 0,1640 | -29,4328 | 1,5614 | 13,698 |
| 8 (corrigido) | -0,6910 | 29,7510 | 0,1630 | -29,7669 | 1,5791 | 13,829 |
| 9 (corrigido) | -0,6970 | 29,6050 | 0,1630 | -29,6209 | 1,5714 | 13,761 |

Quadro 15 - Processo iterativo do dia 30/08/2004 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------|
| início | -0,1730 | 58,607 | 0,1250 | -137,7264 | 4,6838 | 30,0460 |
| 1 (corrigido) | -2,7900 | 4,6430 | 0,3040 | -10,9110 | 0,3711 | 2,3800 |
| 2 (corrigido) | -0,7720 | 31,0040 | 0,1930 | -72,8594 | 2,4778 | 15,8950 |
| 3 (corrigido) | -1,3250 | 22,3870 | 0,2300 | -52,6094 | 1,7891 | 11,4770 |
| 4 (corrigido) | -1,0450 | 25,6210 | 0,2120 | -60,2093 | 2,0476 | 13,1350 |
| 5 (corrigido) | -1,1550 | 24,1950 | 0,2200 | -56,8582 | 1,9336 | 12,4040 |
| 6 (corrigido) | -1,1070 | 24,7820 | 0,2170 | -58,2377 | 1,9805 | 12,7050 |
| 7 (corrigido) | -1,1270 | 24,5340 | 0,2180 | -57,6549 | 1,9607 | 12,5780 |
| 8 (corrigido) | -1,1180 | 24,6370 | 0,2170 | -57,8969 | 1,9689 | 12,6310 |
| 9 (corrigido) | -1,1220 | 24,5940 | 0,2180 | -57,7959 | 1,9655 | 12,6090 |

Quadro 16 - Processo iterativo do dia 22/02/2005 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -8,7020 | 17,4200 | 0,4200 | -30,7949 | 1,2643 | 11,2600 |
| 1 (corrigido) | -24,5580 | 8,9110 | 0,5930 | -15,7528 | 0,6467 | 5,7600 |
| 2 (corrigido) | -17,8800 | 12,7230 | 0,5330 | -22,4916 | 0,9234 | 8,2240 |
| 3 (corrigido) | -19,5550 | 12,1120 | 0,5500 | -21,4115 | 0,8791 | 7,8290 |
| 4 (corrigido) | -19,0600 | 12,2880 | 0,5450 | -21,7226 | 0,8918 | 7,9430 |
| 5 (corrigido) | -19,1980 | 12,2380 | 0,5460 | -21,6342 | 0,8882 | 7,9100 |
| 6 (corrigido) | -19,1600 | 12,2520 | 0,5460 | -21,6590 | 0,8892 | 7,9190 |
| 7 (corrigido) | -19,1720 | 12,2480 | 0,5460 | -21,6519 | 0,8889 | 7,9170 |
| 8 (corrigido) | -19,1630 | 12,2500 | 0,5460 | -21,6555 | 0,8891 | 7,9180 |

Quadro 17 - Processo iterativo do dia 11/04/2005 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -12,6620 | 16,4720 | 0,4440 | -16,2992 | 0,7738 | 8,6260 |
| 1 (corrigido) | -28,0150 | 9,8240 | 0,5780 | -9,7209 | 0,4615 | 5,1450 |
| 2 (corrigido) | -23,0020 | 12,6220 | 0,5410 | -12,4896 | 0,5930 | 6,6100 |
| 3 (corrigido) | -24,0870 | 12,2970 | 0,5500 | -12,1680 | 0,5777 | 6,4400 |
| 4 (corrigido) | -23,8280 | 12,3740 | 0,5480 | -12,2442 | 0,5813 | 6,4800 |
| 5 (corrigido) | -23,8830 | 12,3560 | 0,5480 | -12,2264 | 0,5805 | 6,4700 |
| 6 (corrigido) | -23,8680 | 12,3600 | 0,5480 | -12,2303 | 0,5807 | 6,4730 |
| 7 (corrigido) | -23,8780 | 12,3590 | 0,5480 | -12,2293 | 0,5806 | 6,4720 |

Quadro 18 - Processo iterativo do dia 14/06/2005 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|--------|
| início | -0,0860 | 90,4400 | 0,0800 | -139,6498 | 7,0598 | 39,994 |
| 1 (corrigido) | -1,9150 | 3,8020 | 0,2240 | -5,8707 | 0,2968 | 1,681 |
| 2 (corrigido) | -0,3510 | 41,8870 | 0,1280 | -64,6784 | 3,2697 | 18,523 |
| 3 (corrigido) | -0,7780 | 26,6110 | 0,1660 | -41,0905 | 2,0773 | 11,768 |
| 4 (corrigido) | -0,5190 | 33,0570 | 0,1450 | -51,0438 | 2,5804 | 14,618 |
| 5 (corrigido) | -0,6330 | 29,6340 | 0,1550 | -45,7583 | 2,3132 | 13,105 |
| 6 (corrigido) | -0,5730 | 31,2660 | 0,1500 | -48,2783 | 2,4406 | 13,826 |
| 7 (corrigido) | -0,6020 | 30,4430 | 0,1520 | -47,0075 | 2,3764 | 13,462 |
| 8 (corrigido) | -0,5870 | 30,8460 | 0,1510 | -47,6298 | 2,4079 | 13,64 |
| 9 (corrigido) | -0,5940 | 30,6450 | 0,1520 | -47,3194 | 2,3922 | 13,552 |

Quadro 19 - Processo iterativo do dia 01/08/2005 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 12,7640 | 0,5730 | -11,3397 | 0,5766 | 5,7920 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 9,1910 | 0,6970 | -8,1654 | 0,4152 | 4,1710 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 10,4290 | 0,6720 | -9,2653 | 0,4712 | 4,7330 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 10,4290 | 0,6720 | -9,2653 | 0,4712 | 4,7330 |

Quadro 20 - Processo iterativo do dia 24/01/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -11,0610 | 16,5140 | 0,4430 | -22,1369 | 0,8347 | 10,0240 |
| 1 (corrigido) | -27,0820 | 9,2920 | 0,5960 | -12,4559 | 0,4696 | 5,6400 |
| 2 (corrigido) | -21,1850 | 12,4130 | 0,5500 | -16,6396 | 0,6274 | 7,5350 |
| 3 (corrigido) | -22,5590 | 11,9880 | 0,5610 | -16,0698 | 0,6059 | 7,2770 |
| 4 (corrigido) | -22,1940 | 12,0990 | 0,5580 | -16,2186 | 0,6115 | 7,3440 |
| 5 (corrigido) | -22,2810 | 12,0700 | 0,5590 | -16,1798 | 0,6101 | 7,3270 |
| 6 (corrigido) | -22,2640 | 12,0770 | 0,5590 | -16,1891 | 0,6104 | 7,3310 |
| 7 (corrigido) | -22,2620 | 12,0760 | 0,5590 | -16,1878 | 0,6104 | 7,3300 |

Quadro 21 - Processo iterativo do dia 14/04/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------|
| início | -0,9870 | 36,1180 | 0,2020 | -120,0023 | 4,6859 | 20,7170 |
| 1 (corrigido) | -6,1870 | 7,4010 | 0,3780 | -24,5899 | 0,9602 | 4,2450 |
| 2 (corrigido) | -2,9780 | 21,1620 | 0,2930 | -70,3109 | 2,7456 | 12,1380 |
| 3 (corrigido) | -3,9140 | 17,8500 | 0,3210 | -59,3067 | 2,3159 | 10,2380 |
| 4 (corrigido) | -3,5230 | 19,0490 | 0,3100 | -63,2904 | 2,4714 | 10,9260 |
| 5 (corrigido) | -3,6660 | 18,5890 | 0,3140 | -61,7621 | 2,4117 | 10,6620 |
| 6 (corrigido) | -3,6110 | 18,7610 | 0,3120 | -62,3335 | 2,4340 | 10,7610 |
| 7 (corrigido) | -3,6670 | 18,5130 | 0,3130 | -61,5096 | 2,4019 | 10,6190 |
| 8 (corrigido) | -3,6450 | 18,5800 | 0,3120 | -61,7322 | 2,4106 | 10,6570 |

Quadro 22 - Processo iterativo do dia 30/04/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -30,0000 | 27,4630 | 0,2660 | -29,4392 | 1,3398 | 13,1390 |
| 1 (corrigido) | -5,1190 | 19,9100 | 0,3230 | -21,3427 | 0,9713 | 9,5260 |
| 2 (corrigido) | -8,1500 | 16,0910 | 0,3800 | -17,2489 | 0,7850 | 7,6990 |
| 3 (corrigido) | -7,0920 | 17,5880 | 0,3620 | -18,8536 | 0,8580 | 8,4150 |
| 4 (corrigido) | -7,4650 | 16,9540 | 0,3670 | -18,1740 | 0,8271 | 8,1110 |
| 5 (corrigido) | -7,2740 | 17,3070 | 0,3650 | -18,5524 | 0,8443 | 8,2800 |
| 6 (corrigido) | -7,3290 | 17,2220 | 0,3660 | -18,4613 | 0,8402 | 8,2400 |
| 7 (corrigido) | -7,3140 | 17,2460 | 0,3660 | -18,4870 | 0,8413 | 8,2510 |
| 8 (corrigido) | -7,3160 | 17,2400 | 0,3660 | -18,4806 | 0,8411 | 8,2480 |

Quadro 23 - Processo iterativo do dia 16/05/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -0,2320 | 62,8280 | 0,1180 | -67,0740 | 3,1152 | 31,9250 |
| 1 (corrigido) | -2,7530 | 5,3610 | 0,2710 | -5,7233 | 0,2658 | 2,7240 |
| 2 (corrigido) | -0,8590 | 31,1420 | 0,1820 | -33,2466 | 1,5441 | 15,8240 |
| 3 (corrigido) | -1,3840 | 23,4430 | 0,2140 | -25,0273 | 1,1624 | 11,9120 |
| 4 (corrigido) | -1,1250 | 26,4090 | 0,2000 | -28,1937 | 1,3094 | 13,4190 |
| 5 (corrigido) | -1,2280 | 25,0880 | 0,2060 | -26,7835 | 1,2439 | 12,7480 |
| 6 (corrigido) | -1,1820 | 25,6420 | 0,2030 | -27,3749 | 1,2714 | 13,0290 |
| 7 (corrigido) | -1,2020 | 25,4030 | 0,2040 | -27,1198 | 1,2596 | 12,9080 |
| 8 (corrigido) | -1,1930 | 25,5040 | 0,2040 | -27,2276 | 1,2646 | 12,9590 |
| 9 (corrigido) | -1,1970 | 25,4600 | 0,2040 | -27,1806 | 1,2624 | 12,9370 |

Quadro 24 - Processo iterativo do dia 01/06/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* corrigido | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|--------------|----------|--------|---------|
| início | -1,9390 | 30,7690 | 0,2380 | -68,1659 | 2,9132 | 15,9670 |
| 1 (corrigido) | -7,9170 | 9,0870 | 0,3800 | -20,1314 | 0,8604 | 4,7160 |
| 2 (corrigido) | -4,9250 | 19,2610 | 0,3240 | -42,6710 | 1,8236 | 9,9950 |
| 3 (corrigido) | -5,7040 | 17,5130 | 0,3400 | -38,7984 | 1,6581 | 9,0880 |
| 4 (corrigido) | -5,4430 | 18,0550 | 0,3350 | -39,9992 | 1,7094 | 9,3690 |
| 5 (corrigido) | -5,5230 | 17,8820 | 0,3370 | -39,6159 | 1,6931 | 9,2800 |
| 6 (corrigido) | -5,4980 | 17,9360 | 0,3360 | -39,7356 | 1,6982 | 9,3080 |
| 7 (corrigido) | -5,5060 | 17,9190 | 0,3360 | -39,6979 | 1,6966 | 9,2990 |
| 8 (corrigido) | -5,5040 | 17,9240 | 0,3360 | -39,7090 | 1,6970 | 9,3010 |

Quadro 25 - Processo iterativo do dia 17/06/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* corrigido | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|--------------|----------|--------|---------|
| início | -1,5220 | 34,5470 | 0,2120 | -42,6633 | 2,1400 | 14,5670 |
| 1 (corrigido) | -7,4230 | 9,4140 | 0,3480 | -11,6257 | 0,5832 | 3,9700 |
| 2 (corrigido) | -4,4000 | 21,2540 | 0,2920 | -26,2473 | 1,3166 | 8,9620 |
| 3 (corrigido) | -5,2020 | 19,0800 | 0,3090 | -23,5626 | 1,1819 | 8,0450 |
| 4 (corrigido) | -4,9210 | 19,7770 | 0,3030 | -24,4233 | 1,2251 | 8,3390 |
| 5 (corrigido) | -5,0120 | 19,5450 | 0,3050 | -24,1368 | 1,2107 | 8,2410 |
| 6 (corrigido) | -4,9810 | 19,6220 | 0,3040 | -24,2319 | 1,2155 | 8,2320 |
| 7 (corrigido) | -4,9910 | 19,5960 | 0,3040 | -24,1998 | 1,2139 | 8,2630 |
| 8 (corrigido) | -4,9880 | 19,6040 | 0,3040 | -24,2097 | 1,2144 | 8,2660 |
| 9 (corrigido) | -4,9900 | 19,6020 | 0,3040 | -24,2072 | 1,2142 | 8,2660 |

Quadro 26 - Processo iterativo do dia 03/07/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* corrigido | a | b | dT |
|----------------|------------------|--------------------|--------------|-----------|--------|---------|
| início | -0,1440 | 77,5560 | 0,0940 | -116,4994 | 5,8892 | 33,4500 |
| 1 (corrigido) | -2,2440 | 4,7250 | 0,3840 | -7,0976 | 0,3588 | 2,0380 |
| 2 (corrigido) | -0,5640 | 36,7760 | 0,1480 | -55,2424 | 2,7926 | 15,8620 |
| 3 (corrigido) | -1,0280 | 25,8280 | 0,1810 | -38,7971 | 1,9612 | 11,1400 |
| 4 (corrigido) | -0,7770 | 30,2230 | 0,1650 | -45,3990 | 2,2950 | 13,0350 |
| 5 (corrigido) | -0,8820 | 28,1010 | 0,1720 | -42,2114 | 2,1338 | 12,1200 |
| 6 (corrigido) | -0,8320 | 29,0450 | 0,1690 | -43,6294 | 2,2055 | 12,5270 |
| 7 (corrigido) | -0,8540 | 28,6090 | 0,1700 | -42,9745 | 2,1724 | 12,3390 |
| 8 (corrigido) | -0,8440 | 28,8070 | 0,1700 | -43,2719 | 2,1874 | 12,4250 |
| 9 (corrigido) | -0,8490 | 28,7170 | 0,1700 | -43,1367 | 2,1806 | 12,3860 |
| 10 (corrigido) | -0,8470 | 28,7570 | 0,1700 | -43,1968 | 2,1836 | 12,4030 |

Quadro 27 - Processo iterativo do dia 19/07/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* corrigido | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|--------------|----------|--------|---------|
| início | -0,4570 | 53,0380 | 0,1380 | -62,0526 | 2,9389 | 22,7970 |
| 1 (corrigido) | -3,6100 | 6,9800 | 0,2740 | -8,1664 | 0,3868 | 3,0000 |
| 2 (corrigido) | -1,7570 | 28,1170 | 0,2050 | -28,2160 | 1,3364 | 12,0860 |
| 3 (corrigido) | -1,9670 | 23,7330 | 0,2240 | -27,7668 | 1,3151 | 10,2010 |
| 4 (corrigido) | -1,8820 | 24,3960 | 0,2210 | -28,5425 | 1,3518 | 10,4860 |
| 5 (corrigido) | -1,9150 | 24,1360 | 0,2220 | -28,2383 | 1,3374 | 10,3740 |
| 6 (corrigido) | -1,9020 | 24,2360 | 0,2220 | -28,3553 | 1,3430 | 10,4170 |
| 7 (corrigido) | -1,9070 | 24,1960 | 0,2220 | -28,3085 | 1,3407 | 10,4000 |
| 8 (corrigido) | -1,9050 | 24,2130 | 0,2220 | -28,3284 | 1,3417 | 10,4070 |

Quadro 28 - Processo iterativo do dia 04/08/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -2,4740 | 44,1630 | 0,1640 | -49,3804 | 2,1286 | 20,0210 |
| 1 (corrigido) | -2,8800 | 14,3590 | 0,2530 | -16,0554 | 0,6921 | 6,5100 |
| 2 (corrigido) | -2,7240 | 21,9540 | 0,2490 | -24,5477 | 1,0581 | 9,9530 |
| 3 (corrigido) | -2,7310 | 22,0460 | 0,2510 | -24,6505 | 1,0626 | 9,9950 |
| 4 (corrigido) | -2,7290 | 22,0590 | 0,2510 | -24,6651 | 1,0632 | 10,0000 |
| 5 (corrigido) | -2,7300 | 22,0550 | 0,2510 | -24,6606 | 1,0630 | 9,9990 |
| 6 (corrigido) | -2,7290 | 22,0570 | 0,2510 | -24,6628 | 1,0631 | 10,0000 |
| 7 (corrigido) | -2,7260 | 22,0560 | 0,2510 | -24,6617 | 1,0631 | 9,9990 |

Quadro 29 - Processo iterativo do dia 05/09/2006 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -4,0460 | 23,7700 | 0,3070 | -21,4608 | 1,0819 | 12,9420 |
| 1 (corrigido) | -12,5850 | 9,7340 | 0,4490 | -8,7884 | 0,4430 | 5,3000 |
| 2 (corrigido) | -8,9630 | 16,1960 | 0,4010 | -14,6226 | 0,7371 | 8,8180 |
| 3 (corrigido) | -9,8450 | 15,2630 | 0,4140 | -13,7802 | 0,6947 | 8,3100 |
| 4 (corrigido) | -9,5860 | 15,5240 | 0,4100 | -14,0159 | 0,7066 | 8,4520 |
| 5 (corrigido) | -9,6590 | 15,4500 | 0,4110 | -13,9491 | 0,7032 | 8,4120 |
| 6 (corrigido) | -9,6380 | 15,4720 | 0,4110 | -13,9689 | 0,7042 | 8,4240 |
| 7 (corrigido) | -9,6450 | 15,4660 | 0,4110 | -13,9635 | 0,7039 | 8,4210 |
| 8 (corrigido) | -9,6420 | 15,4680 | 0,4110 | -13,9653 | 0,7040 | 8,4220 |

Quadro 30 - Processo iterativo do dia 17/04/2007 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -1,8920 | 30,9010 | 0,2360 | -30,1420 | 1,4451 | 16,4020 |
| 1 (corrigido) | -7,7390 | 9,0420 | 0,3780 | -8,8199 | 0,4229 | 4,7990 |
| 2 (corrigido) | -4,8160 | 19,2900 | 0,3230 | -18,8162 | 0,9021 | 10,2390 |
| 3 (corrigido) | -5,5740 | 17,5380 | 0,3390 | -17,1072 | 0,8202 | 9,3090 |
| 4 (corrigido) | -5,3210 | 18,0790 | 0,3340 | -17,6349 | 0,8455 | 9,5960 |
| 5 (corrigido) | -5,4000 | 17,9070 | 0,3350 | -17,4672 | 0,8374 | 9,5050 |
| 6 (corrigido) | -5,3750 | 17,9620 | 0,3350 | -17,5208 | 0,8400 | 9,5340 |
| 7 (corrigido) | -5,3820 | 17,9440 | 0,3350 | -17,5033 | 0,8392 | 9,5240 |
| 8 (corrigido) | -5,3800 | 17,9490 | 0,3350 | -17,5081 | 0,8394 | 9,5270 |

Quadro 31 - Processo iterativo do dia 03/05/2007 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|----------|---------|
| início | -3,6850 | 25,4820 | 0,2870 | -24,7026 | 1,1670 | 12,3670 |
| 1 (corrigido) | -12,3120 | 9,9150 | 0,4290 | -9,6117 | 0,4541 | 4,8120 |
| 2 (corrigido) | -8,4260 | 17,1490 | 0,3780 | -16,6245 | 0,7854 | 8,3230 |
| 3 (corrigido) | -9,4040 | 16,0150 | 0,3920 | 0,7335 | -15,5252 | 7,7720 |
| 4 (corrigido) | -9,1020 | 16,3470 | 0,3880 | 0,7487 | -15,8470 | 7,9340 |
| 5 (corrigido) | -9,1940 | 16,2420 | 0,3890 | 0,7439 | -15,7452 | 7,8830 |
| 6 (corrigido) | -9,1620 | 16,2790 | 0,3890 | 0,7456 | -15,7811 | 7,9010 |
| 7 (corrigido) | -9,1730 | 16,2690 | 0,3890 | 0,7451 | -15,7714 | 7,8960 |
| 8 (corrigido) | -9,1720 | 16,2720 | 0,3890 | 0,7452 | -15,7743 | 7,8970 |

Quadro 32 - Processo iterativo do dia 04/06/2007 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|----------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | 0,1710 | 71,9650 | 0,1020 | -52,9631 | 3,7353 | 32,3670 |
| 1 (corrigido) | -2,3790 | 4,9690 | 0,2440 | -3,6570 | 0,2579 | 2,2350 |
| 2 (corrigido) | -0,6570 | 34,6450 | 0,1590 | -25,4972 | 1,7982 | 15,5820 |
| 3 (corrigido) | -1,1320 | 25,0760 | 0,1910 | -18,4548 | 1,3016 | 11,2780 |
| 4 (corrigido) | -0,8840 | 28,8480 | 0,1750 | -21,2309 | 1,4973 | 12,9750 |
| 5 (corrigido) | -0,9860 | 27,0870 | 0,1820 | -19,9349 | 1,4059 | 12,1820 |
| 6 (corrigido) | -0,9390 | 27,8510 | 0,1790 | -20,4971 | 1,4456 | 12,5260 |
| 7 (corrigido) | -0,9590 | 27,5080 | 0,1800 | -20,2447 | 1,4278 | 12,3720 |
| 8 (corrigido) | -0,9500 | 27,6590 | 0,1800 | -20,3558 | 1,4356 | 12,4400 |
| 9 (corrigido) | -0,9540 | 27,5920 | 0,1800 | -20,3065 | 1,4322 | 12,4100 |
| 10 (corrigido) | -0,9530 | 27,6210 | 0,1800 | -20,3279 | 1,4337 | 12,4230 |

Quadro 33 - Processo iterativo do dia 20/06/2007 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -12,3350 | 17,9770 | 0,4070 | -27,2938 | 1,3587 | 7,8850 |
| 1 (corrigido) | -28,9220 | 10,3240 | 0,5360 | -15,6745 | 0,7803 | 4,5110 |
| 2 (corrigido) | -22,9590 | 13,6020 | 0,4980 | -20,6514 | 1,0280 | 5,9430 |
| 3 (corrigido) | -24,2680 | 13,1890 | 0,5080 | -20,0244 | 0,9968 | 5,7630 |
| 4 (corrigido) | -23,9350 | 13,2920 | 0,5050 | -20,1808 | 1,0046 | 5,8080 |
| 5 (corrigido) | -24,0100 | 13,2660 | 0,5060 | -20,1413 | 1,0027 | 5,7960 |
| 6 (corrigido) | -23,9970 | 13,2720 | 0,5060 | -20,1504 | 1,0031 | 5,7990 |
| 7 (corrigido) | -24,0040 | 13,2710 | 0,5060 | -20,1489 | 1,0030 | 5,7990 |

Quadro 34 - Processo iterativo do dia 06/07/2007 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 9,7960 | 0,7460 | -12,7452 | 0,6069 | 4,2650 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 7,0970 | 0,9080 | -9,2336 | 0,4397 | 3,0900 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 8,0050 | 0,8750 | -10,4150 | 0,4960 | 3,4860 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 8,0057 | 0,8750 | -10,4159 | 0,4960 | 3,4860 |
| 4 (corrigido) | -50,0000 | 8,0057 | 0,8750 | -10,4159 | 0,4960 | 3,4860 |

Quadro 35 - Processo iterativo do dia 07/08/2007 (Imagem TM-Landsat 5)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 8,2350 | 0,8870 | -14,5496 | 0,6347 | 3,9700 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 5,9240 | 1,0940 | -10,3733 | 0,4525 | 2,8560 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 6,7350 | 1,0520 | -11,7934 | 0,5145 | 3,2470 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 6,7350 | 1,0520 | -11,7934 | 0,5145 | 3,2470 |

Quadro 36 - Processo iterativo do dia 09/02/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -11,9030 | 14,6740 | 0,4980 | -83,8309 | 3,0058 | 9,8590 |
| 1 (corrigido) | 7,1750 | 8,3780 | 0,6920 | -47,8625 | 1,7161 | 5,6290 |
| 2 (corrigido) | -21,0200 | 11,6400 | 0,6020 | -66,4980 | 2,3843 | 7,8200 |
| 3 (corrigido) | -26,6060 | 10,3270 | 0,6510 | -58,9970 | 2,1153 | 6,9380 |
| 4 (corrigido) | -24,8300 | 10,7100 | 0,6360 | -61,1850 | 2,1938 | 7,1960 |
| 5 (corrigido) | -25,3230 | 10,6000 | 0,6410 | -60,5566 | 2,1713 | 7,1220 |
| 6 (corrigido) | -25,1860 | 10,6310 | 0,6390 | -60,7337 | 2,1776 | 7,1430 |
| 7 (corrigido) | -25,2220 | 10,6220 | 0,6400 | -60,6823 | 2,1758 | 7,1370 |
| 8 (corrigido) | -25,2110 | 10,6250 | 0,6400 | -60,6994 | 2,1764 | 7,1390 |
| 9 (corrigido) | -25,2140 | 10,6240 | 0,6400 | -60,6937 | 2,1762 | 7,1380 |

Quadro 37 - Processo iterativo do dia 23/02/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 9,7860 | 0,7630 | -19,2546 | 0,7014 | 9,7860 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 6,5230 | 0,9820 | -12,8345 | 0,4676 | 4,1430 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 7,4870 | 0,9360 | -14,7312 | 0,5367 | 7,4870 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 7,4870 | 0,9360 | -14,7312 | 0,5367 | 7,4870 |

Quadro 38 - Processo iterativo do dia 06/03/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|----------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------|
| início | -0,4020 | 48,4280 | 0,1510 | -125,4760 | 4,6559 | 31,5670 |
| 1 (corrigido) | -5,9500 | 4,8800 | 0,3700 | -12,6440 | 0,4692 | 3,1810 |
| 2 (corrigido) | -1,6300 | 25,2490 | 0,2410 | -65,4197 | 2,4274 | 16,4197 |
| 3 (corrigido) | -2,7710 | 18,3690 | 0,2870 | -47,5937 | 1,7660 | 11,9730 |
| 4 (corrigido) | -2,1920 | 21,0900 | 0,2660 | -54,6438 | 2,0276 | 13,7470 |
| 5 (corrigido) | -2,4230 | 19,8650 | 0,2750 | -51,4698 | 1,9098 | 12,9490 |
| 6 (corrigido) | -2,3200 | 20,3860 | 0,2710 | -52,8197 | 1,9599 | 13,2880 |
| 7 (corrigido) | -2,3640 | 20,1590 | 0,2720 | -52,2316 | 1,9381 | 13,1400 |
| 8 (corrigido) | -2,3450 | 20,2560 | 0,2720 | -52,4829 | 1,9474 | 13,2030 |
| 9 (corrigido) | -2,3530 | 20,2140 | 0,2720 | -52,3741 | 1,9434 | 13,1760 |
| 10 (corrigido) | -2,3500 | 20,2320 | 0,2720 | -52,4207 | 1,9451 | 13,1880 |

Quadro 39 - Processo iterativo do dia 05/04/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 14,6150 | 0,5000 | -29,7815 | 0,9585 | 8,2820 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 10,4910 | 0,6110 | -21,3779 | 0,6881 | 5,9450 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 11,9110 | 0,5880 | -24,2715 | 0,7812 | 6,7490 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 11,9110 | 0,5880 | -24,2715 | 0,7812 | 6,7490 |

Quadro 40 - Processo iterativo do dia 12/04/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -9,3670 | 18,4090 | 0,3970 | -33,6299 | 1,1184 | 9,5290 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 9,6320 | 0,5570 | -17,5959 | 0,5852 | 4,9860 |
| 2 (corrigido) | -19,0110 | 13,5390 | 0,5030 | -24,7333 | 0,8225 | 7,0080 |
| 3 (corrigido) | -20,7200 | 12,9200 | 0,5170 | -23,6025 | 0,7849 | 6,6880 |
| 4 (corrigido) | -20,2090 | 13,0970 | 0,5130 | -23,9258 | 0,7957 | 6,7790 |
| 5 (corrigido) | -20,3530 | 13,0460 | 0,5140 | -23,8327 | 0,7926 | 6,7530 |
| 6 (corrigido) | -20,3180 | 13,0600 | 0,5140 | -23,8582 | 0,7934 | 6,7600 |
| 7 (corrigido) | -20,3300 | 13,0570 | 0,5140 | -23,8528 | 0,7932 | 6,7580 |
| 8 (corrigido) | -20,3220 | 13,0580 | 0,5140 | -23,8546 | 0,7933 | 6,7590 |

Quadro 41 - Processo iterativo do dia 05/05/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -13,2610 | 20,1870 | 0,3640 | -52,8892 | 2,0996 | 11,2120 |
| 1 (corrigido) | -42,7600 | 11,0630 | 0,5130 | -28,9847 | 1,1506 | 6,1440 |
| 2 (corrigido) | -28,1240 | 15,3910 | 0,4540 | -40,3239 | 1,6008 | 8,5480 |
| 3 (corrigido) | -31,8290 | 14,3960 | 0,4730 | -37,7117 | 1,4973 | 7,9930 |
| 4 (corrigido) | -29,8330 | 14,7110 | 0,4670 | -38,5423 | 1,5301 | 8,1710 |
| 5 (corrigido) | -31,4060 | 14,5740 | 0,4690 | -38,1834 | 1,5158 | 8,0940 |
| 6 (corrigido) | -29,9430 | 14,6700 | 0,4670 | -38,4349 | 1,5258 | 8,1480 |
| 7 (corrigido) | -31,3730 | 14,5850 | 0,4690 | -38,2122 | 1,5170 | 8,1010 |
| 8 (corrigido) | -29,9500 | 14,6660 | 0,4670 | -38,4244 | 1,5254 | 8,1460 |
| 9 (corrigido) | -31,3720 | 14,5860 | 0,4690 | -38,2148 | 1,5171 | 8,1010 |

Quadro 42 - Processo iterativo do dia 16/05/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|-------|
| início | -30,0000 | 7,7860 | 0,9390 | -13,1755 | 0,5189 | 3,778 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 5,4170 | 1,1830 | -9,1667 | 0,3610 | 2,628 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 6,1890 | 1,1320 | -10,4731 | 0,4125 | 3,003 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 6,1890 | 1,1320 | -10,4731 | 0,4125 | 3,003 |

Quadro 43 - Processo iterativo do dia 08/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 11,1950 | 0,6530 | -27,1331 | 1,0928 | 5,1800 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 7,9780 | 0,8030 | -19,3361 | 0,7787 | 3,6910 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 9,0710 | 0,7720 | -21,9852 | 0,8854 | 4,1970 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 7,6300 | 0,7720 | -18,4927 | 0,7448 | 3,5300 |
| 4 (corrigido) | -50,0000 | 9,0710 | 0,7720 | -21,9852 | 0,8854 | 4,1970 |
| 5 (corrigido) | -50,0000 | 9,0710 | 0,7720 | -21,9852 | 0,8854 | 4,1970 |

Quadro 44 - Processo iterativo do dia 10/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 9,2230 | 0,7920 | -85,0028 | 3,4794 | 4,3840 |
| 1 (corrigido) | 7,2270 | 6,4910 | 0,9870 | -59,8236 | 2,4488 | 3,0850 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 7,4000 | 0,9470 | -68,2013 | 2,7917 | 3,5180 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 7,4000 | 0,9470 | -68,2013 | 2,7917 | 3,5180 |

Quadro 45 - Processo iterativo do dia 17/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 12,0720 | 0,6050 | -87,6306 | 3,3821 | 6,3580 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 8,6100 | 0,7490 | -62,5000 | 2,4122 | 4,5350 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 9,7880 | 0,7160 | -71,0511 | 2,7422 | 5,1550 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 9,7880 | 0,7160 | -71,0511 | 2,7422 | 5,1550 |

Quadro 46 - Processo iterativo do dia 25/06/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------|
| início | -0,6190 | 43,8520 | 0,1660 | -121,8764 | 5,0803 | 18,3910 |
| 1 (corrigido) | -4,6730 | 6,8450 | 0,3260 | -19,0241 | 0,7903 | 2,8710 |
| 2 (corrigido) | -1,9620 | 24,2980 | 0,2440 | -67,5306 | 2,8149 | 10,1900 |
| 3 (corrigido) | -2,7340 | 19,7350 | 0,2720 | -54,8488 | 2,2863 | 8,2760 |
| 4 (corrigido) | -2,3930 | 21,4310 | 0,2610 | -59,5625 | 2,4828 | 8,9880 |
| 5 (corrigido) | -2,5140 | 20,8040 | 0,2650 | -57,8199 | 2,4102 | 8,7250 |
| 6 (corrigido) | -2,4730 | 20,9970 | 0,2630 | -58,3563 | 2,4325 | 8,8060 |
| 7 (corrigido) | -2,4890 | 20,9120 | 0,2640 | -58,1200 | 2,4227 | 8,7700 |
| 8 (corrigido) | -2,4830 | 20,9450 | 0,2640 | -58,2117 | 2,4265 | 8,7840 |

Quadro 47 - Processo iterativo do dia 13/07/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -22,1600 | 14,3620 | 0,5100 | -29,0253 | 1,1999 | 6,5510 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 9,3560 | 0,6610 | -18,9083 | 0,7817 | 4,2680 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 11,3960 | 0,6150 | -23,0311 | 0,9521 | 5,1980 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 11,3960 | 0,6150 | -23,0311 | 0,9521 | 5,1980 |

Quadro 48 - Processo iterativo do dia 02/08/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------|
| início | -1,7820 | 33,8150 | 0,1840 | -101,0243 | 3,7542 | 16,5930 |
| 1 (corrigido) | -8,9220 | 9,2270 | 0,3710 | -27,5662 | 1,0244 | 4,5280 |
| 2 (corrigido) | -4,8260 | 21,1130 | 0,3000 | -63,0763 | 2,3440 | 10,3600 |
| 3 (corrigido) | -6,0080 | 18,4730 | 0,3230 | -55,1892 | 2,0509 | 9,0650 |
| 4 (corrigido) | -5,8860 | 18,2760 | 0,3140 | -54,6006 | 2,0290 | 8,9680 |
| 5 (corrigido) | -5,5840 | 19,3170 | 0,3150 | -57,7107 | 2,1446 | 9,4790 |
| 6 (corrigido) | -5,6900 | 19,0970 | 0,3170 | -57,0534 | 2,1202 | 9,3710 |
| 7 (corrigido) | -5,6530 | 19,1760 | 0,3160 | -57,2894 | 2,1289 | 9,4100 |
| 8 (corrigido) | -5,6660 | 19,1490 | 0,3170 | -57,2088 | 2,1259 | 9,3970 |
| 9 (corrigido) | -5,6620 | 19,1580 | 0,3170 | -57,2357 | 2,1269 | 9,4010 |

Quadro 49 - Processo iterativo do dia 14/08/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|----------------|------------------|--------------------|-------------------|-----------|--------|---------|
| início | -0,4020 | 57,1660 | 0,1390 | -151,9347 | 4,8650 | 25,1040 |
| 1 (corrigido) | -5,5510 | 5,2800 | 0,3040 | -14,0331 | 0,4493 | 2,3190 |
| 2 (corrigido) | -1,4450 | 28,7370 | 0,2010 | -76,3757 | 2,4456 | 12,6190 |
| 3 (corrigido) | -2,3900 | 21,8550 | 0,2430 | -58,0858 | 1,8599 | 9,5970 |
| 4 (corrigido) | -1,9360 | 24,4970 | 0,2250 | -65,1077 | 2,0848 | 10,7570 |
| 5 (corrigido) | -2,1130 | 23,3320 | 0,2320 | -62,0114 | 1,9856 | 10,2460 |
| 6 (corrigido) | -2,0360 | 23,8170 | 0,2290 | -63,3004 | 2,0269 | 10,4590 |
| 7 (corrigido) | -2,0680 | 23,6100 | 0,2310 | -62,7502 | 2,0093 | 10,3680 |
| 8 (corrigido) | -2,0550 | 23,6970 | 0,2300 | -62,9814 | 2,0167 | 10,4060 |
| 9 (corrigido) | -2,0610 | 23,6600 | 0,2300 | -62,8831 | 2,0135 | 10,3900 |
| 10 (corrigido) | -2,4460 | 23,6770 | 0,2300 | -62,9283 | 2,0150 | 10,3970 |

Quadro 50 - Processo iterativo do dia 08/09/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|----------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -2,6950 | 31,1170 | 0,2340 | -71,7551 | 2,3365 | 16,8230 |
| 1 (corrigido) | -14,3350 | 8,3070 | 0,3860 | -19,1557 | 0,6238 | 4,4910 |
| 2 (corrigido) | -6,9200 | 19,3930 | 0,3140 | -44,7198 | 1,4562 | 10,4850 |
| 3 (corrigido) | -8,7990 | 16,8420 | 0,3400 | -38,8373 | 1,2646 | 9,1050 |
| 4 (corrigido) | -8,0660 | 17,7590 | 0,3310 | -40,9518 | 1,3335 | 9,6010 |
| 5 (corrigido) | -8,3620 | 17,4160 | 0,3340 | -40,1609 | 1,3070 | 9,4160 |
| 6 (corrigido) | -8,2190 | 17,5540 | 0,3330 | -40,4791 | 1,3181 | 9,4900 |
| 7 (corrigido) | -8,2670 | 17,4910 | 0,3340 | -40,3338 | 1,3134 | 9,4560 |
| 8 (corrigido) | -8,2510 | 17,5140 | 0,3330 | -40,3869 | 1,3151 | 9,4690 |
| 9 (corrigido) | -8,2560 | 17,5060 | 0,3330 | -40,3684 | 1,3145 | 9,4640 |
| 10 (corrigido) | -8,2550 | 17,5090 | 0,3330 | -40,3753 | 1,3147 | 9,4660 |

Quadro 51 - Processo iterativo do dia 21/09/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -2,7950 | 26,0390 | 0,2810 | -74,7670 | 2,7317 | 15,6800 |
| 1 (corrigido) | -10,8730 | 8,8460 | 0,4410 | -25,3999 | 0,9280 | 5,3270 |
| 2 (corrigido) | -6,8340 | 16,9690 | 0,3780 | -48,7239 | 1,7802 | 10,2180 |
| 3 (corrigido) | -7,9010 | 15,5150 | 0,3970 | -44,5489 | 1,6277 | 9,3430 |
| 4 (corrigido) | -7,5410 | 15,9730 | 0,3910 | -45,8640 | 1,6757 | 9,6190 |
| 5 (corrigido) | -7,6540 | 15,8260 | 0,3930 | -45,4419 | 1,6603 | 9,5300 |
| 6 (corrigido) | -7,6180 | 15,8730 | 0,3920 | -45,5769 | 1,6652 | 9,5580 |
| 7 (corrigido) | -7,6300 | 15,8590 | 0,3920 | -45,5367 | 1,6637 | 9,5500 |
| 8 (corrigido) | -7,6250 | 15,8630 | 0,3920 | -45,5482 | 1,6642 | 9,5520 |

Quadro 52 - Processo iterativo do dia 08/10/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|--------|
| início | -30,0000 | 7,2490 | 1,0080 | -28,9237 | 0,8550 | 4,3350 |
| 1 (corrigido) | -50,0000 | 5,0720 | 1,2630 | -20,2374 | 0,5982 | 3,0330 |
| 2 (corrigido) | -50,0000 | 5,7890 | 1,2100 | -23,0983 | 0,6828 | 3,4620 |
| 3 (corrigido) | -50,0000 | 5,7890 | 1,2100 | -23,0983 | 0,6828 | 3,4620 |

Quadro 53 - Processo iterativo do dia 24/12/2005 (Imagem MODIS-Terra)

| Iteração | L (Pixel Quente) | rah (Pixel Quente) | u* (Pixel Quente) | a | b | dT |
|---------------|------------------|--------------------|-------------------|----------|--------|---------|
| início | -9,5850 | 18,0020 | 0,4060 | -46,2668 | 1,6037 | 12,1240 |
| 1 (corrigido) | -26,9680 | 9,4020 | 0,5730 | -24,1640 | 0,8376 | 6,3320 |
| 2 (corrigido) | -19,5670 | 13,2420 | 0,5150 | -34,0332 | 1,1797 | 8,9180 |
| 3 (corrigido) | -21,4520 | 12,6070 | 0,5310 | -32,4012 | 1,1231 | 8,4910 |
| 4 (corrigido) | -20,8770 | 12,7930 | 0,5260 | -32,8792 | 1,1397 | 8,6160 |
| 5 (corrigido) | -21,0440 | 12,7380 | 0,5280 | -32,7378 | 1,1348 | 8,5790 |
| 6 (corrigido) | -20,9980 | 12,7540 | 0,5270 | -32,7790 | 1,1362 | 8,5900 |
| 7 (corrigido) | -21,0150 | 12,7500 | 0,5270 | -32,7687 | 1,1358 | 8,5870 |
| 8 (corrigido) | -21,0100 | 12,7510 | 0,5270 | -32,7712 | 1,1359 | 8,5880 |

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)