

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Estimativa da Produtividade Primária Bruta em Áreas Agrícolas e de Vegetação  
Primária no Cerrado por Sensoriamento Remoto**

Aluno: Alan Pantoja Braga

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Campina Grande – Paraíba

Novembro de 2013

ALAN PANTOJA BRAGA

**Estimativa da Produtividade Primária Bruta em Áreas Agrícolas e de Vegetação Primária no Cerrado por Sensoriamento Remoto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) em cumprimento às exigências para a obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

Área de concentração: **Agrometeorologia e Micrometeorologia**

Subárea: **Sensoriamento Remoto Aplicado**

Orientador: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva

Campina Grande - Paraíba

Novembro de 2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

B813e Braga, Alan Pantoja.  
Estimativa da produtividade primária bruta em áreas agrícolas e de  
vegetação primária no cerrado por sensoriamento remoto / Alan Pantoja  
Braga. – Campina Grande, 2013.  
66 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade Federal de  
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

"Orientação: Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva".  
Referências.

1. GPP. 2. Balanço de Energia. 3. Sebal. 4. Fração Evaporativa.  
5. IVDN. I. Silva, Bernardo Barbosa da. II. Título.

CDU 551.5:528.8(043)

ALAN PANTOJA BRAGA

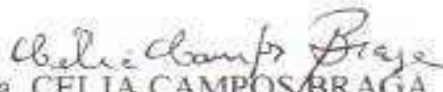
ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA EM ÁREAS  
AGRÍCOLAS E DE VEGETAÇÃO PRIMÁRIA NO CERRADO POR  
SENSORIAMENTO REMOTO

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 29/11/2013

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. BERNARDO BARBOSA DA SILVA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Prof.ª Dra. CELIA CAMPOS BRAGA  
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas  
Universidade Federal de Campina Grande



Dr. KLEBER RENATO DA PAIXÃO ATAÍDE  
Instituto Nacional de Meteorologia

## *DEDICATÓRIA*

*A família que esteve sempre do meu lado nos momentos mais difíceis.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por fortalecer e iluminar meus pensamentos e não desistir do objetivos.

Ao prof. Dr. Bernardo, pela orientação e contribuição neste trabalho, me ajudando a ampliar meus conhecimentos na área de Meteorologia, em específico a área do sensoriamento remoto voltado para a agricultura, além da amizade construída no decorrer do curso.

Ao amigo Kleber Ataíde, pela aprendizagem prestada e troca de experiência, ensinando-me a entender as ferramentas utilizadas para a elaboração de imagens utilizadas no trabalho.

Ao amigo Luiz André, pela ajuda na elaboração dos gráficos, ensinando a entender as ferramentas utilizadas no trabalho.

Aos colegas da minha seção SEGER no INMET, em especial ao Wallace, que sempre foram compreensivos, nos momentos em que precisei me ausentar para elaborar este trabalho.

Aos meus pais Edson Braga e Nair Pantoja, por terem sempre acreditado em mim, e terem dado para mim e para os meus irmãos, o maior bem que uma pessoa pode ganhar, o amor e a educação.

A minha mulher Elane de Faria, pela paciência e compreensão nos momentos que estava me dedicando a elaboração da dissertação.

A todos os professores do Departamento de Ciências Atmosféricas da UFCG, pela aprendizagem e troca de conhecimentos em suas aulas ministradas.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, pela disponibilidade dos dados meteorológicos utilizados no estudo; e pelo convênio acordado com a UFCG, que proporcionou tanto a vinda dos professores para ministrarem as aulas, quanto a nossa ida a Campina Grande, defender nossas dissertações, prestando todo o apoio necessário.

A Empresa Goiás Verde Ltda, pela disponibilidade das informações das culturas plantadas nos pivôs selecionados na área de estudo.

## RESUMO

A produtividade primária bruta (Gross Primary Productivity – GPP), corresponde a taxa na qual o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera é convertido, por meio da fotossíntese, em substâncias orgânicas. O presente trabalho objetivou determinar a GPP, que utiliza fundamentalmente o modelo de eficiência de uso da luz pela vegetação proposto por Monteith. Foram realizados recortes na região do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF) e regiões circunvizinhas com grande potencial agrícola. A radiação fotossinteticamente ativa diária foi obtida com base na radiação solar global diária medida na localidade de Luiziânia – GO, em estação da rede observacional do INMET. A fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação foi determinada em função do NDVI e o fator água determinante na formação da GPP foi considerado igual à fração evaporativa - FE, obtida por meio do SEBAL. Foram selecionadas cinco imagens do TM - Landsat 5 e dados meteorológicos complementares, coletados entre junho a setembro de 2011 em Luiziânia, GO. Os resultados obtidos foram comparados com a GPP extraída do MOD17A2, que se fundamenta no mesmo princípio mas que emprega dados meteorológicos de reanálise e imagens MODIS, com resolução espacial de 1 km. Os resultados obtidos nos recortes e pivôs selecionados na área do PAD, mostraram padrões bem distintos entre vegetação nativa e áreas irrigadas, mas há clara influência do regime pluvial sobre todas as três variáveis investigadas. As comparações entre a GPP Landsat e produto MOD17A2 revelam grandes discrepâncias entre os mesmos, possivelmente decorrentes das imprecisões relativas às variáveis meteorológicas empregadas no MOD17A2, mas também do valor que é arbitrado ao mesmo para a eficiência máxima de uso da luz no Cerrado. Os valores da GPP Landsat chegaram a atingir 17 gC m<sup>-2</sup>, enquanto os do MOD17A2 não ultrapassaram os 7 gC m<sup>-2</sup>. Os pivôs com plantações de tomate e milho mostraram que os valores de IVDN acompanharam os valores de GPP para ambas as áreas selecionadas, sendo que os maiores valores de GPP nos pivôs com milho ficaram entre 13 e 16 gC m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, enquanto os pivôs com plantação de tomate os maiores valores ficaram entre 14 e 16 gC m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Conclui-se que as áreas irrigadas apresentam altas taxas de fixação de carbono, quando comparadas com as de vegetação nativa e que o produto MOD17A2 não retratou adequadamente os valores da GPP nas áreas de vegetação nativa e, também, nas áreas irrigadas.

Palavras-chave: GPP, balanço de energia, Sebal, fração evaporativa, IVDN.

## ABSTRACT

The Gross primary productivity - GPP corresponds to the rate at which the atmospheric CO<sub>2</sub> is converted by photosynthesis in organic substances. This study aimed to determine the GPP, which basically uses the efficiency use of light model proposed by Monteith . Subsets were made in the Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF) and surrounding areas with high agricultural potential region. The daily photosynthetically active radiation was obtained based on the daily global solar radiation measured in an automatic weather station of INMET, located in Luiziânia - GO. The fraction of photosynthetically active radiation absorbed by vegetation was determined as a function of NDVI and the water determinate factor in the formation of GPP was considered to be equal to the evaporative fraction - EF, obtained through SEBAL. TM - Landsat 5 images and additional meteorological data, collected between June and September 2011 at Luiziânia , GO were selected for the study . The GPP obtained according to SEBAL were compared with the one extracted from MOD17A2, which is based on the same principle but employing meteorological reanalysis data and MODIS images with a spatial resolution of 1 km. Results obtained in cuttings and selected areas of PAD, showed distinct patterns between native vegetation and irrigated areas, but there is clear influence of rainfall patterns over the variables investigated. Comparisons between GPP Landsat and MOD17A2 product reveal large discrepancies between them , possibly resulting from inaccuracies related to meteorological variables used in MOD17A2 , but also because of the value that is refereed to as the maximum efficiency of use of light in Cerrado. The values of Landsat GPP reached 17 gC m<sup>-2</sup>, while the MOD17A2 did not exceed 7 gC m<sup>-2</sup>. The pivots with tomatoes and corn showed that the NDVI values followed GPP for both selected areas, with the highest values of GPP in pivots with corn were between 13 and 16 gC m<sup>-2</sup>day<sup>-1</sup>, while the highest values in pivots with tomato plantation varied between 14 and 16 gC m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>. It is concluded that irrigated areas have high rates of carbon fixation, compared with the native vegetation, and the MOD17A2 product does not adequately represented the values of GPP in the areas of native vegetation and also in irrigated areas .

Key words: GPP, energy balance, Sebal, evaporative fraction, NDVI.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Recorte da área de estudo da região onde localiza-se o Programa de Assentamento Dirigido – PAD-DF.....	14
Figura 3.2 – Distribuição dos pivôs selecionados na área de estudo.....	15
Figura 3.3 – a) Série histórica da precipitação; b) velocidade do vento; e c) temperatura média do ar, na Estação Climatológica Principal de Brasília no período de 1963 a 2011.....	17
Figura 3.4 – Imagem MODIS-Terra do sensor MOD17A, Tile H13V10, que abrange os estados de Goiás, Tocantins, Bahia e Minas Gerais.....	19
Figura 3.5 – Etapas do cômputo da produtividade primária bruta.....	22
Figura 3.6 – Etapas do cômputo do fluxo de calor sensível.....	25
Figura 4.1.1 – Variabilidade espacial da FE na área do PAD.....	28
Figura 4.1.2 – Variabilidade espacial da FE nos pivôs selecionados na área do PAD	29
Figura 4.1.3 – Frequência dos valores de Fração Evaporativa – FE, no recorte da área do PAD.....	30
Figura 4.1.4 – Frequência dos valores de Fração Evaporativa – FE, no recorte da área dos Pivos selecionados no PAD.....	31
Figura 4.2.1 – Variabilidade espacial do IVDN na área do PAD.....	32
Figura 4.2.2 – Variabilidade espacial do IVDN nos pivôs selecionados na área do PAD.....	33
Figura 4.2.3 – Frequência dos valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, no recorte da área do PAD.....	34
Figura 4.2.4 – Frequência dos valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, no recorte da área dos Pivos selecionados no PAD.....	34

Figura 4.2.5 – Frequência de valores de IVDN no pivô 30 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	36
Figura 4.2.6 – Frequência de valores de IVDN no pivô 38 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	36
Figura 4.2.7 – Frequência de valores de IVDN no pivô 40 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	37
Figura 4.2.8 – Frequência de valores de IVDN no pivô 06 na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	37
Figura 4.2.9 – Frequência de valores de IVDN no pivô 02G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	38
Figura 4.2.10 – Frequência de valores de IVDN no pivô 03G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	38
Figura 4.3.1 – Variabilidade espacial da GPP na área do PAD.....	40
Figura 4.3.2 – Variabilidade espacial da GPP nos pivôs selecionados na área do PAD.....	41
Figura 4.3.3 – Histograma de frequências da GPP no recorte da área do PAD.....	42
Figura 4.3.4 – Histograma de frequências dos valores da GPP no recorte da área dos Pivos selecionados no PAD.....	42
Figura 4.3.5 – Histograma de frequências de valores da GPP no pivô 30 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	44
Figura 4.3.6 – Histograma de frequências de valores de GPP no pivô 38 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	45
Figura 4.3.7 – Histograma de frequências de valores de GPP no pivô 40 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	45

Figura 4.3.8 – Histograma de frequências de valores de GPP no pivô 06 na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	46
Figura 4.3.9 – Histograma de frequências de valores de GPP no pivô 02G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	46
Figura 4.3.10 – Histograma de frequências de valores de GPP no pivô 03G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.....	47
Figura 4.4.1.1 – Recorte da GPP na área do PAD, obtida pelo Landsat 5.....	48
Figura 4.4.1.2 – Recorte da GPP na área do PAD, obtida pelo MOD17A2.....	48
Figura 4.4.1.3 – Recorte da GPP na área do PAD, obtido pelo TM – Landsat 5 e pelo produto MOD17A2 do MODIS.....	49
Figura 4.4.1.4 – Recorte da GPP na área dos pivôs selecionados no PAD, obtidos pelo Landsat 5.....	51
Figura 4.4.1.5 – Recorte da GPP na área dos pivôs selecionados no PAD, obtidos pelo produto MOD17A2 do MODIS.....	51
Figura 4.4.1.6 – Área dos pivôs selecionados no PAD, comparação de GPP, obtidas pelo Landsat 5 e produto MOD17A2 do MODIS.....	52
Figura 4.4.1.7 – Saldo de radiação instantâneo ( $Wm^{-2}$ ) para os dias: junho, julho, agosto e setembro de 2011 na área de estudo.....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Histórico do programa dos satélites Landsat.....	09
Tabela 2.2 – Características e principais aplicações das bandas do sensor TM do satélite Landsat 5.....	10
Tabela 2.3 – Especificações técnicas do sensor MODIS/TERRA.....	11
Tabela 3.1 – Data das imagens, dia juliano (DJ), horário de geração da imagem, correção de excentricidade da órbita terrestre – (dr), ângulo de elevação do Sol (E, °), cosseno do ângulo zenital do Sol (cos Z), temperatura do ar (Tar, °C), umidade relativa do ar (UR, %) e pressão atmosférica do ar (po, kPa) no instante da passagem do satélite.....	18
Tabela 3.2 – Pivôs selecionados da Empresa Goiás Verde, com suas respectivas informações das culturas.....	20
Tabela 4.1 – Valores mediano, médio, máximo da GPP em $\text{g.C.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e desvio padrão no recorte da área do PAD-DF e regiões circunvizinhas.....	53
Tabela 4.2 – Valores mediano, médio, máximo da GPP em $\text{g.C.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$ e desvio padrão da área dos pivôs selecionados no PAD-DF.....	53

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ANA	– Agencia Nacional das guas
ACM	– Aggregate Canopy Model
Chl	– Cont�udo de clorofila
COOPA/DF	– Cooperativa Agrícola do Distrito Federal
CV	– Coeficiente de Variação
DJ	– Dia Juliano
ETM+	– Enhanced Thematic Mapper Plus
FE	– Fração Evaporativa
fPAR	– Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa
GPP	– Gross Primary Productivity (Produtividade Primária Bruta)
IAF	– �ndice de rea Foliar
INMET	– Instituto Nacional de Meteorologia
IVDN	– �ndice de Vegetação da Diferença Normalizada
IV	– �ndice de Vegetação
LUE	– Light Use Efficiency
METRIC	– Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration
MODIS	– Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MVF	– Modelo de Vegetação Fotossintética
NASA	– National Aeronautics and Space Administration
NPP	– Net Primary Productivity (Produção L�gua Primária)
PAD-DF	– Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal e Regiões
PAR	– Radiação Fotossinteticamente Ativa
PARpotential	– Radiação Fotossinteticamente Ativa incidente potencial
RFAA	– Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
RFA	– Radiação Fotossinteticamente Ativa
SAVI	– �ndice de Vegetação com Ajuste do Solo
SEBAL	– Surface Energy Balance Algorithm for Land
TM	– Thematic Mapper
UNICAMP	– Universidade de Campinas
ZCAS	– Zona de Convergência do Atlântico Sul

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Descrição</b>	<b>Unidade</b>
E	Ângulo de elevação do Sol	°
dr	Correção de excentricidade da órbita terrestre	-
Cos Z	Cosseno do ângulo zenital do Sol	°
UR	Umidade relativa do ar	%
Po	Pressão atmosférica do ar	kPa
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico	-
RFA	Radiação Fotossinteticamente Ativa	W m <sup>-2</sup>
RFAA	Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida	W m <sup>-2</sup>
GPP	Gross Primary Productivity	gC m <sup>-2</sup> day <sup>-1</sup>
ε	Eficiência de uso da luz	gC MJ <sup>-1</sup>
ε'	Eficiência máxima de uso da luz	gC MJ <sup>-1</sup>
T <sub>1</sub> e T <sub>2</sub>	Contribuição da temperatura na eficiência de uso da luz	-
T <sub>opt</sub>	Temperatura média do ar do mês de máximo IVDN	°C
T <sub>ar</sub>	Temperatura do ar	°C
T <sub>dia</sub>	Temperatura média diária do ar	°C
LE	Fluxo de calor latente	W m <sup>-2</sup>
Rn	Saldo de radiação	W m <sup>-2</sup>
G	Fluxo de calor no solo	W m <sup>-2</sup>
H	Fluxo de calor sensível	W m <sup>-2</sup>
ρ	Massa específica do ar	kg m <sup>-3</sup>
c <sub>p</sub>	Calor específico do ar à pressão constante	KJ kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>
g	Campo gravitacional terrestre	m s <sup>-2</sup>
ΔT	Diferença entre a temperatura do ar entre dois níveis	-
ra	Resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível	s m <sup>-1</sup>
K	Constante de Von Karman	-
u*	Velocidade de fricção	m s <sup>-1</sup>
u200	Velocidade do vento a 200 metros	m s <sup>-1</sup>
z0m	Coefficiente de rugosidade ao transporte de momentum	-
ψh	Correção de estabilidade para o transporte de calor	-
ψm	Correção de estabilidade para o transporte de momentum	-

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1 Produtividade Primária Bruta.....	03
2.2 Os satélites Landsat e o sensor TM ( <i>Thematic Mapper</i> ) .....	09
2.3 O sensor MODIS do satélite TERRA.....	10
2.3.1 Produto MODIS – MOD17.....	12
2.3.1.1 O algoritmo do MOD17A2.....	12
2.4 Programa de Assentamento Dirigido.....	12
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	14
3.1 Áreas de estudo.....	14
3.2 Climatologia da região.....	16
3.3 Dados utilizados.....	18
3.3.1 Imagens do Landsat 5 – TM.....	18
3.3.2 Imagens do MODIS - produto MOD17A2.....	18
3.3.3 Estação meteorológica automática de Luziânia-GO.....	19
3.3.4 A empresa Goiás Verde Alimentos LTDA.....	20
3.4 Métodos Empregados.....	21
3.4.1 A produtividade primária bruta.....	21
3.4.2 Fração evaporativa.....	23
3.4.3 Fluxo de calor latente.....	23
3.4.4 Fluxo de calor sensível.....	23
3.4.5 Fluxo de calor no solo.....	26
3.4.6 Saldo de radiação.....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1 Fração Evaporativa – FE.....	27
4.2 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN.....	31
4.3 Produtividade Primária Bruta – GPP.....	39
4.4 Comparação entre a GPP Landsat 5 e MOD17A2.....	47
4.5 Saldo de radiação nas áreas de estudo.....	54
5 CONCLUSÕES.....	56
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

## 1. INTRODUÇÃO

A produção agrícola é de extrema importância para o desenvolvimento econômico e social do país, atividade esta diretamente ligada a elementos climáticos, como por exemplo, a radiação solar, temperatura, precipitação e umidade do solo. A implantação de grandes áreas voltada para a atividade agrícola acarreta em grandes alterações no uso do solo, influenciando diretamente o microclima local.

Atualmente, as medidas das áreas afetadas pelas mudanças no uso do solo podem ser realizadas com confiabilidade através do sensoriamento remoto. Essa importante ferramenta possibilita analisar diferentes tipos de ambientes e como as culturas ali presentes se desenvolvem. Por outro lado, verifica-se na literatura a dificuldade em se obter a biomassa das culturas em grandes áreas por meio do método clássico de pesagem da matéria orgânica. Nesse sentido, o emprego do sensoriamento remoto se apresenta com uma alternativa rápida, de boa precisão e baixo custo.

As mudanças climáticas por que passam diferentes regiões do planeta podem afetar a produção agrícola de várias maneiras, como aumento ou diminuição da safra, devido, por exemplo, às anomalias de precipitação e temperatura do ar, assim como, alterações na concentração de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico. O aumento do  $\text{CO}_2$  na atmosfera e o conseqüente aumento da temperatura da superfície terrestre levam a respostas diferentes nos processos bio-geoquímicos do sistema solo-planta-atmosfera. Por outro lado, estudos baseados em modelos de circulação geral da atmosfera têm mostrado que a produtividade de várias culturas tende a diminuir e outras a aumentar em diferentes regiões do planeta. As regiões tropicais e subtropicais, que dependem principalmente da chuva, tendem a ser mais afetadas que regiões de clima temperado (Jones et al., 1997).

Devido à escassez de dados, torna-se indispensável a utilização de técnicas alternativas para complementar as informações meteorológicas sobre uma determinada localidade. O sensoriamento remoto é uma fonte valiosa de informações, tanto espacial como temporal, que podem ser exploradas por pesquisadores, tomadores de decisão e produtores. Essas informações permitem a obtenção de variáveis que são essenciais para a mudança de escalas pontuais para regionais, possibilitando assim considerável melhoria nos sistemas de assimilação dos modelos. Através do sensoriamento remoto pode-se estimar diversas variáveis, dentre elas a produtividade primária bruta que essencialmente representa a quantidade de carbono fixado pela vegetação de dado



bioma. A sua determinação é de grande importância, haja vista que as mudanças no uso da terra estão diretamente relacionadas com alterações nas mesmas e em virtude dos impactos climáticos decorrentes de tais mudanças.

O Programa de Assentamento Dirigido – PAD do Distrito Federal é um programa concebido e implantado pelo Governo do Distrito Federal, que visa incorporar ao processo produtivo áreas rurais do DF e regiões em seu entorno que até então não tinham sido exploradas. O programa abrange uma área de 90.000 hectares, contemplando diversos projetos de atividade econômica, de acordo com suas características de relevo e aptidão agrícola, sendo as áreas distribuídas para plantio de cereais, cultivo de hortifrutigranjeiros, bovinocultura, avicultura, através de assentamentos de produtores em áreas isoladas, núcleos regionais, colônias agrícolas e agrovilas (Ghesti, 2009). Essas atividades têm promovido importantes mudanças no uso da terra, com alterações intensas nos processos de trocas de energia e massa entre a superfície e a atmosfera. Sob o ponto de vista das mudanças climáticas, deve-se investigar se a mudança promovida pela implantação do PAD estaria impactando as trocas de CO<sub>2</sub> entre a vegetação e a atmosfera.

Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo avaliar possíveis alterações na produção primária bruta (*Gross Primary Productivity* - GPP) entre áreas de vegetação primária e agricultura irrigada do PAD (Programa de Assentamento Dirigido). As áreas objeto da pesquisa compreendem áreas localizadas na região do estado de Goiás, próximas ao Distrito Federal, e para o alcance dos objetivos foram empregadas imagens TM - Landsat 5 e o conceito de eficiência de uso da luz – LUE (do inglês *Light Use Efficiency*) proposto por Monteith (1972). Complementarmente, são usados dados medidos em uma estação meteorológica automática, localizada próximo da região em estudo, e empreendidas comparações com a GPP oriunda do produto MOD17, que contém a produção primária bruta com resolução espacial de 1 km e intervalo temporal de 8 dias.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 – Produtividade Primária Bruta (Gross Primary Productivity – GPP)

A produtividade primária bruta corresponde a taxa na qual o CO<sub>2</sub> presente na atmosfera é convertido, por meio da fotossíntese, em substâncias orgânicas. Existem diversos métodos destinados à quantificação do carbono estocado na vegetação (Gallon et al., 2006; Lefsky et al., 2005; Santos & Costa, 2003), dentre os quais se destaca a técnica da covariância de vórtices turbulentos, muito empregada para quantificar o fluxo de CO<sub>2</sub> em diversos ecossistemas florestais (Falge et al., 2002; Baldocchi, 2003; Aguiar et al., 2006; Oliveira et al., 2006; Kirschbaum et al., 2007; Beer et al., 2010; Cabral et al., 2011). Esta técnica goza de grande prestígio junto à comunidade científica, mas seu custo e operacionalidade muitas vezes se apresentam proibitivos para vários grupos de pesquisa nos países em desenvolvimento. Outra questão que restringe o uso de tal técnica é a sua representatividade, que cobre apenas alguns quilômetros quadrados, salvo nos casos de áreas extensas e homogêneas. Nesse sentido, os métodos que empregam o sensoriamento remoto (Wu et al., 2009; Zhao et al., 2005; Xiao et al., 2004; Sims et al., 2008; Gitelson et al., 2008; Hilker et al., 2008; Li et al., 2007; Turner et al., 2006; Kalfas et al., 2011) apresentam como grande vantagem a ampla cobertura espacial, baixo custo e maior operacionalidade. Muitas dessas técnicas se fundamentam no conceito de eficiência de uso da luz – LUE (do inglês *Light Use Efficiency*) proposto por Monteith (1972). A sua aplicação prática resultou de grande contribuição dada por Field et al. (1995) e, mais recentemente, Bastiaanssen & Ali (2003) apresentaram contribuição significativa ao empregar o conceito de fração evaporativa com vistas a contabilizar o fator água no processo de fixação do carbono por parte da vegetação.

A modelagem da produtividade dos ecossistemas depende de parâmetros físicos, químicos e biológicos, que regulam a fotossíntese. Alguns desses parâmetros podem ser obtidos por meio de dados do sensoriamento remoto. Relacionando imagens de satélite e aplicação na agricultura, Bastiaanssen et al. (1998) propuseram o algoritmo denominado balanço de energia para superfície continental SEBAL (*Surface Energy Balance Algorithm for Land*), que necessita fundamentalmente de imagens orbitais e alguns poucos dados complementares de superfície, como radiação solar global, velocidade do vento e temperatura do ar. Por meio do SEBAL pode-se determinar a influência do fator água na composição da GPP.

Sellers et al. (1997) destacaram que os sensores orbitais podem oferecer boas estimativas da reflectância da superfície, da fração da radiação fotossinteticamente ativa (fPAR) e da área foliar (IAF). Outros modelos utilizam como entrada os valores de irradiância espectral, que podem ser extraídos de imagens de satélite (Colle e Pereira, 1998). Willians et al. (2001) fizeram análise da produção primária bruta em escala regional com estimativa para pixels com até 1 Km de resolução espacial. Verificaram que estas células têm uma boa conexão entre as medidas pontuais e aquelas de escala global.

Silva et al. (2004) determinaram os diferentes componentes do balanço de energia (saldo de radiação, fluxos de calor no solo, sensível e latente), através do SEBAL e imagens TM - Landsat 5. Concluíram que a técnica apresentou um grande potencial de aplicação prática. Costa Filho et al. (2008) estimaram os componentes do balanço de radiação e a evapotranspiração através do modelo SEBAL e imagens TM – Landsat 5 e MODIS/Terra. Os autores concluíram que de maneira geral os resultados alcançados com o algoritmo podem ser aplicados com um bom grau de confiabilidade na estimativa dos fluxos de energia à superfície.

Silva et al. (2008) avaliaram o impacto da correção atmosférica no albedo mediante uso de duas metodologias de correção atmosférica. Verificaram com o uso de imagens TM – Landsat 5, que a correção atmosférica afeta significativamente o albedo superficial e que o albedo da superfície obtido mediante o Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC) apresentou grande precisão, quando comparados com medidas piranométricas. Braga et al. (2009) avaliaram a variabilidade espacial e temporal do albedo e do Índice de Área Foliar (IAF) na região de Quixeré-CE no ano de 2006, por meio de imagens TM e encontraram diferenças significativas do albedo para os dias de 28 de janeiro e 24 de agosto, devido à presença de nuvens e o crescimento da vegetação provocada pelas precipitações que ocorreram no mês de agosto do ano de estudo.

A técnica da irrigação para a agricultura vem crescendo ao longo das últimas décadas no Brasil devido ao aumento da demanda interna por mais alimentos e também voltada para a sua exportação, onde o mercado se torna cada vez mais exigente em consumir produtos de qualidade. O Nordeste e o Centro-Oeste estão entre as principais regiões que utilizam esta técnica, devido ao regime pluviométrico não ser regular ao longo do ano, com a presença de períodos secos bem definidos, principalmente no inverno. Segundo informações da ANA (2007), a distribuição percentual do volume de

água consumido no Brasil entre os diferentes setores da sociedade são: agricultura irrigada 46%, consumo urbano 27% e indústria 18%. Apesar da grande quantidade demandada pela agricultura irrigada, há que se considerar que mais de 90% da água consumida pelas plantas são perdidas através da transpiração, retornando então para o ciclo hidrológico.

O uso da água pelas plantas faz-se necessário para que estas realizem metabolismo que resulte em produção. Este processo envolve grandes quantidades de água, que deverá ser adquirida pelas chuvas ou pela irrigação. Por exemplo, para produção de uma única tonelada de trigo e milho, as plantas exigem 1.000 toneladas de água e para produzir uma tonelada de soja e arroz são necessários 2.000 toneladas de água. Observa-se então que o processo metabólico das plantas exige grande quantidade de água (Testezlaf et al., 2002). Os principais métodos de irrigação utilizados no Brasil são: superficial (inundação e sulcos), aspersão (convencional, canhão, carretel), pivô central localizado (gotejamento, micro-aspersão) (Pires et al., 2008).

Feitosa (2004) estimou a evapotranspiração através da metodologia SEBAL no perímetro irrigado Nilo Coelho em Petrolina-PE, e validou o algoritmo SEBAL mediante comparação das componentes do balanço de energia à superfície com medições em superfície obtidas com o método das correlações turbulentas. A validação mostrou que todos os fluxos obtidos com SEBAL sobre-estimaram aqueles medidos em campo; no entanto, o saldo de radiação ( $R_n$ ) foi que apresentou melhor estimativa e a pior o fluxo de calor no solo ( $G$ ).

Silva et al. (2005) determinaram o saldo de radiação do perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, usando imagens do Mapeador Temático do Landsat 5 e concluíram que o saldo de radiação de grandes áreas, como perímetros irrigados, pode ser obtido através da aplicação de leis da radiação eletromagnética e imagens de satélite, com um reduzido número de dados de superfície e utilizando um software capaz de fazer operações matemáticas envolvendo diversas imagens relativas a uma ou várias bandas espectrais do TM – Landsat 5.

Moreira et al. (2010) estimaram a evapotranspiração da melancia irrigada, utilizando um sistema de aspersão formado por um conjunto bomba-motor, uma tubulação principal e tubos secundários instalados ao longo da cultura. No trabalho os autores avaliaram o algoritmo SEBAL na estimativa da evapotranspiração da cultura estudada, ao compararem a ET obtidas com os métodos do balanço hídrico no solo e das correlações turbulentas (eddy correlation). Concluíram que a evapotranspiração obtida

pelo balanço hídrico do solo foi o que mais se aproximou aos valores obtidos pelo SEBAL, enquanto que a evapotranspiração obtida pelo método de correlações turbulentas não apresentaram resultados compatíveis aos obtidos no SEBAL.

A técnica da utilização do sensoriamento remoto com o SEBAL é muito ampla, por propiciar não somente a estimativa do balanço de energia de grandes áreas de florestas, pastagem e cultivos, mais também por possibilitar identificar o status de água na vegetação, imprescindível para a materialização da fotossíntese e, por conseguinte, na efetivação da produtividade primária bruta (GPP). O processo fotossintético depende de três elementos básicos que são: a luz, o CO<sub>2</sub> e a água. A produtividade primária de uma comunidade compreende a quantidade de biomassa produzida em dado período de tempo (dia, semana, mês ou ano) através da fotossíntese, por unidade de área. Esta produtividade relaciona-se com as trocas de carbono na interface solo-planta-atmosfera. O carbono na atmosfera em escala global é um dos parâmetros ecológicos mais modelados, que diferem na abordagem e complexidade, produzindo estimativas comparáveis (Field et al., 1995).

Aragão (2005) modelou e caracterizou o processo de produtividade primária bruta com o uso do modelo agregado de dossel (ACM) em uma região da Amazônia Oriental. Os resultados mostraram que o modelo ACM possibilitou a análise da variação sazonal do processo da GPP, estimando valores diários contidos dentro de uma faixa de incertezas das medições em campo. Este modelo permitiu estimativas regionais diárias e com resolução espacial de 270 m, sensíveis às características biofísicas dos diferentes uso e cobertura da terra e às variações climáticas.

Gebremichael et al. (2006) avaliaram a GPP em dois ecossistemas tropicais representativos: um sítio de floresta mista nos trópicos úmidos (o Marsyandi bacia hidrográfica, no Nepal Himalaia), e um sítio de caatinga em uma região semiárida (no deserto de Sonora, bacia do rio Grande no estado americano do Novo México). Os produtos MODIS-GPP foram comparados com simulações feitas com um modelo baseado em processos bioquímico-hidrológico e observações meteorológicas em torres de fluxo. Verificaram que a estimativa da GPP usando dados observados de torres meteorológicas foi de 2,77 gC m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (ou seja, 77% da média do GPP medidos em torres) na Marsyandi, e 0,33 gC m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> (ou seja, 18% da média da torre de GPP medidos em torres) em Sonora. A análise da evolução temporal das discrepâncias entre o modelo e as medidas das torres apontam para a necessidade de examinar a parametrização da eficiência do uso de luz, especialmente no que diz respeito à

representação de dependências de funções não-lineares sobre déficit de pressão de vapor (DPV), radiação fotossinteticamente ativa disponível (PAR) e evolução sazonal da capacidade produtiva da vegetação que é influenciada pelo estresse hídrico.

Turner et al. (2006) estimaram a produção primária bruta (GPP) diária e a produção líquida primária (NPP) anual, com resolução espacial de 1 km, produzidos operacionalmente para a superfície terrestre, usando imagens do sensor MODIS. Foram realizadas comparações em locais amplamente diferentes quanto ao tipo de bioma e uso da terra, como florestas tropicais e temperadas, caatinga, cerrado, tundra ártica, deserto, pastos e plantações, ocasião em que foi aplicado o modelo Bioma-BGC, que estima o ciclo do carbono em um modo espacialmente distribuído. Os produtos MODIS NPP e GPP tenderam a ser superestimado em locais de baixa produtividade - muitas vezes por causa dos altos valores do produto MODIS-FPAR (fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel). Em contraste, o MODIS-GPP tende a ser subestimado em locais de alta produtividade - muitas vezes uma função de valores relativamente baixos para o uso de eficiência da luz na vegetação no algoritmo GPP MODIS.

Pereira et al. (2011) compararam a produtividade primária bruta em diferentes áreas do Pantanal com a magnitude de suas áreas alagadas, utilizando o produto MOD17A2, referente à GPP, que baseia-se no conceito de eficiência da utilização da radiação solar pela vegetação, que está relacionada linearmente com a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação (APAR). As regiões que mais contribuíram com a de produtividade primária média, ou seja, com o sequestro de carbono, foram as formações florestais e a savana lenhosa, enquanto que as que menos contribuíram foram às áreas centrais do leque do rio Taquari e o leque do rio Paraguai, pois são áreas que estão constantemente alagadas, impedindo a atividade plena da fotossíntese, diminuindo consideravelmente a produção primária e conseqüentemente o sequestro de carbono.

Kalfas et al. (2011) utilizaram o Modelo de Vegetação Fotossintética (MVF) e imagens MODIS, para estimar a dinâmica sazonal e variação interanual da GPP durante 2001-2005 em cinco áreas de cultivo de milho, localizados em Nebraska e Minnesota nos Estados Unidos. Os resultados mostraram que a dinâmica sazonal da GPP previsto pela MVF concordou bem com as estimativas de GPP através de dados de fluxos de vórtices turbulentos obtidos de torres e imagens do sensor MODIS.

Singh (2011) relacionou dados de Landsat e MODIS, através de um modelo de fusão espacial e temporal adaptado a reflectância para um período de 10 anos (2000-2009), com o produto da ETM+ e MODIS de reflectância observado em superfície (MOD09A1), para culturas de milho e cana-de-açúcar. As análises de regressão de GPP derivado de ETM+ com o observado mostrou um bom resultado para o trigo e a cana-de-açúcar, com  $r^2=0,85$ ,  $p \leq 0,01$  e  $r^2=0,86$ ,  $p \leq 0,01$ , respectivamente. Os valores de GPP derivados do produto MODIS mostraram uma boa consistência da dinâmica temporal. No entanto, erros sistemáticos na interpretação dos dados podem superestimar os valores de GPP MODIS.

Anatoly et al. (2012) quantificaram a GPP em culturas de milho e soja, através do seu conteúdo de clorofila (Chl) e radiação fotossinteticamente ativa incidente potencial (PARpotential). Utilizaram dados de sensoriamento remoto, especificamente índices de vegetação (VI), recuperados a partir de dados reflectância da superfície obtidos com o satélite Landsat 5. Concluíram que o modelo é capaz de estimar com precisão a GPP no milho, com coeficiente de variação (CV) inferior a 23%, e nas culturas de soja com CV inferior a 30%, com relação aos três sítios do AmeriFlux (rede americana que mede os fluxos de carbono e vapor d'água entre a biosfera e a atmosfera, conforme Xiao et al., 2010), localizados em Nebraska. O modelo utilizado foi capaz de estimar a GPP do milho e da soja em locais onde realizam-se medidas de fluxo de torre em Minnesota, Iowa e Illinois, com precisão aceitável.

Silva et al. (2013) determinaram a produtividade primária bruta – GPP no perímetro irrigado São Gonçalo (PB), localizado no semiárido brasileiro, por meio de imagens TM - Landsat 5 e dados meteorológicos de superfície do ano de 2008. Os resultados obtidos foram comparados aos valores da GPP extraídos do produto MOD17A2. Os resultados mostraram uma pequena diferença entre a GPP obtida com imagens TM - Landsat 5 com relação àquela derivada dos produtos MOD17A2, que foram de apenas 11,7%, o que possibilitou analisar com detalhes, distinções entre áreas irrigadas e não irrigadas.

Silva (2013) utilizou o Modelo Agregado de Dossel (ACM), utilizando dados de sensoriamento remoto e dados climáticos de uma base global (GLDAS) que permitiram estimar a espacialização da GPP na Amazônia. Os resultados mostraram que em todo o bioma a GPP total anual variou entre 6,68 a 7,34 Pg C ano<sup>-1</sup>, com média de 6,93 Pg C ano<sup>-1</sup>, sendo fortemente correlacionada à radiação e precipitação, para a GPP total

mensal a sazonalidade foi controlada pela radiação solar, com picos de máximo valor observados no período de poucas chuvas.

## 2.2 – Os satélites Landsat e o sensor TM (*Thematic Mapper*)

O primeiro satélite Landsat foi lançado em 23 de julho de 1972, pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). O objetivo principal do programa Landsat foi à aquisição de dados espaciais e temporais da superfície da Terra, de forma global, contínua e repetitiva (Bezerra et al., 2006). O programa Landsat possui uma série de oito satélites. No entanto, o lançamento do satélite Landsat 6 fracassou. A Tabela 2.1 apresenta um resumo da história do Programa Landsat.

**Tabela 2.1** – Histórico do programa dos satélites da série Landsat.

Satélite	Lançamento	Sensores	Fim da Transmissão
Landsat 1	23 de julho de 1972	MSS e RBV	janeiro de 1978
Landsat 2	22 de janeiro de 1975	MSS e RBV	julho de 1983
Landsat 3	5 de março de 1978	MSS e RBV	setembro de 1983
Landsat 4	16 de julho de 1982	TM e MSS	setembro de 1984
Landsat 5	1 de março de 1984	TM e MSS	novembro de 2011
Landsat 6	5 de outubro de 1993	ETM	não entrou em operação
Landsat 7	5 de abril de 1999	ETM+	maio de 2003
Landsat 8	11 de fevereiro de 2013	OLI/TIRS	em operação

Fonte: UNICAMP (2011)

O Landsat 5, que continha o sensor TM responsável pelas imagens utilizadas no presente estudo, foi lançado em março de 1984 e parou de transmitir imagens em novembro de 2011. Sua órbita era quase polar, heliossíncrona, cuja altitude era de 705 km e cruzava o Equador de norte para sul. O mesmo imageava a área de interesse do estudo em torno das 10h00 (tempo local) e realizava imagens de uma mesma área a cada dezesseis dias.

O sensor TM operava em sete bandas espectrais, sendo três na região do visível, três na região do infravermelho (IV) refletido e uma na região do IV termal, com resolução espacial nas regiões do visível e infravermelho refletido de 30 m x 30 m e na região do termal é de 120 m x 120 m. A Tabela 2.2 apresenta um resumo das características das sete bandas que continham o sensor TM.



**Tabela 2.2** – Características e principais aplicações das bandas do sensor TM do satélite Landsat 5.

Banda	Faixa Espectral ( $\mu\text{m}$ )	Região do Espectro	Resolução Espacial (m x m)	Principais Aplicações
1	0,45 – 0,52	Azul	30	Altamente absorvida por corpos d'água e sensível a pluma de fumaças oriundas de queimadas e atividades industriais
2	0,52 – 0,60	Verde	30	Altamente absorvida por corpos d'água, porém apresenta sensibilidade a sedimentos em suspensão.
3	0,63 – 0,69	Vermelho	30	Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal, permitindo diferenciação entre espécies e identificação de áreas agrícolas.
4	0,76 – 0,90	IV Próximo	30	Apresenta sensibilidade à rugosidade do dossel florestal. Permite o mapeamento de áreas de queimadas e áreas agrícolas.
5	1,55 – 1,75	IV Médio	30	Sensível ao teor de umidade da vegetação, sendo bastante útil no monitoramento de estresse hídricos de culturas.
6	10,4 – 12,5	IV Termal	120	Apresenta sensibilidade quanto aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, sendo usado para a determinação da temperatura da superfície.
7	2,08 – 2,35	IV Médio	30	Altamente sensível à morfologia de terrenos, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia.

Fonte: Moreira (2003) e Bezerra (2006)

### 2.3 – O sensor MODIS do satélite Terra

O satélite Terra, gerenciado pela National Aeronautics and Space Administration (NASA), foi lançado em dezembro de 1999, tendo começado a coletar dados em fevereiro de 2000, com horário de passagem por volta das 10h30min (tempo local) na área em estudo. Além do sensor MODIS, este satélite possui outros sensores que são: MISR, ASTER, CERES e MOPITT. O sensor MODIS realiza observações contínuas de todas as partes do globo e oferece grande suporte de dados aos estudos relacionados com (Anderson et al., 2003):

- Variabilidade climática em longo prazo, para ajudar os cientistas a identificar os mecanismos e fatores que determinam as variações climáticas, incluindo os impactos das alterações humanas;
- Predição de clima sazonal a interanual, que melhora os cálculos do tempo e da extensão geográfica de anomalias climáticas;
- Perigos naturais, incluindo a caracterização de desastres e redução de riscos, como, queimadas, vulcanismos, inundações e estiagens;
- Quantificação do ozônio atmosférico, para auxiliar os cientistas a detectar mudanças, suas causas e consequências;
- Mudanças na cobertura da terra e produtividade global, incluindo tendências e modelos em escalas regionais, biodiversidade e produtividade primária global.

O MODIS é um dos cinco instrumentos a bordo do satélite Terra e suas imagens possibilitam o monitoramento da atmosfera, do oceano e da terra, com bandas de resolução espectral e espacial selecionadas para diferentes necessidades observacionais e para oferecer uma cobertura global quase diariamente (Justice, 2002). As especificações técnicas deste sensor estão dispostas na Tabela 2.3.

**Tabela 2.3** – Especificações técnicas do sensor MODIS/Terra

Órbita	705 Km, síncrona com o Sol, polar; 10h30 a.m descendente; 1h30 p.m ascendente.
Alcance Espectral	0.4-14.4 $\mu\text{m}$ .
Cobertura Espectral	$\pm 55^\circ$ , 2330 km em fileira (“scans” contínuos em nadir no Equador)
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir
Precisão Radiométrica	5% Absoluto, <3 mm; 1% Absoluto, >3 mm; 2% de reflectância.
Cobertura de repetição	Diária, a norte da latitude $30^\circ$ e a cada dois dias, para latitudes inferiores a $30^\circ$ .
Quantização	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: Justice *et al.* (2002a, p.4) e Anderson *et al.* (2003, p.10)

### 2.3.1 – Produto MODIS - MOD17

O MOD17 é um produto do nível 4, consistindo de dados da produtividade primária bruta com cobertura temporal de 8 dias, mensal ou anual, e resolução espacial de 1 Km. A produtividade primária é a taxa com que a energia luminosa é convertida em biomassa, e a soma total da energia convertida é denominada produtividade primária bruta. Este produto fornece uma medida precisa do crescimento da vegetação terrestre e sua produtividade. O seu uso teórico é para definir o fluxo dinâmico do carbono na sazonalidade da superfície terrestre para o modelamento climático. Os fluxos são computados especificamente para cada tipo de vegetação. A utilidade prática é a estimativa de rendimento de colheita, a produtividade de florestas e outros produtos significativos do crescimento da vegetação (NASA, 2002).

#### 2.3.1.1 – O algoritmo do MOD17A2

O algoritmo MOD17A2 é baseado no modelo de eficiência de uso da luz proposto por Monteith (1972), o que sugere que a produtividade de culturas anuais, sob condições hídricas adequadas está linearmente relacionada com a quantidade de radiação solar absorvida pela vegetação, especificamente, a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (APAR). A tradução da APAR com uma estimativa de produtividade real é conduzida através de um parâmetro de eficiência de conversão  $\epsilon$ , que varia de acordo com o tipo de vegetação e condições climáticas. Em consequência, o MOD17A2 incorpora diferenças de  $\epsilon$  máximo entre os tipos de vegetação e também reduz o  $\epsilon$ , sob condições de temperatura com escassez de água e / ou frio.

### 2.4 – Programa de Assentamento Dirigido - PAD

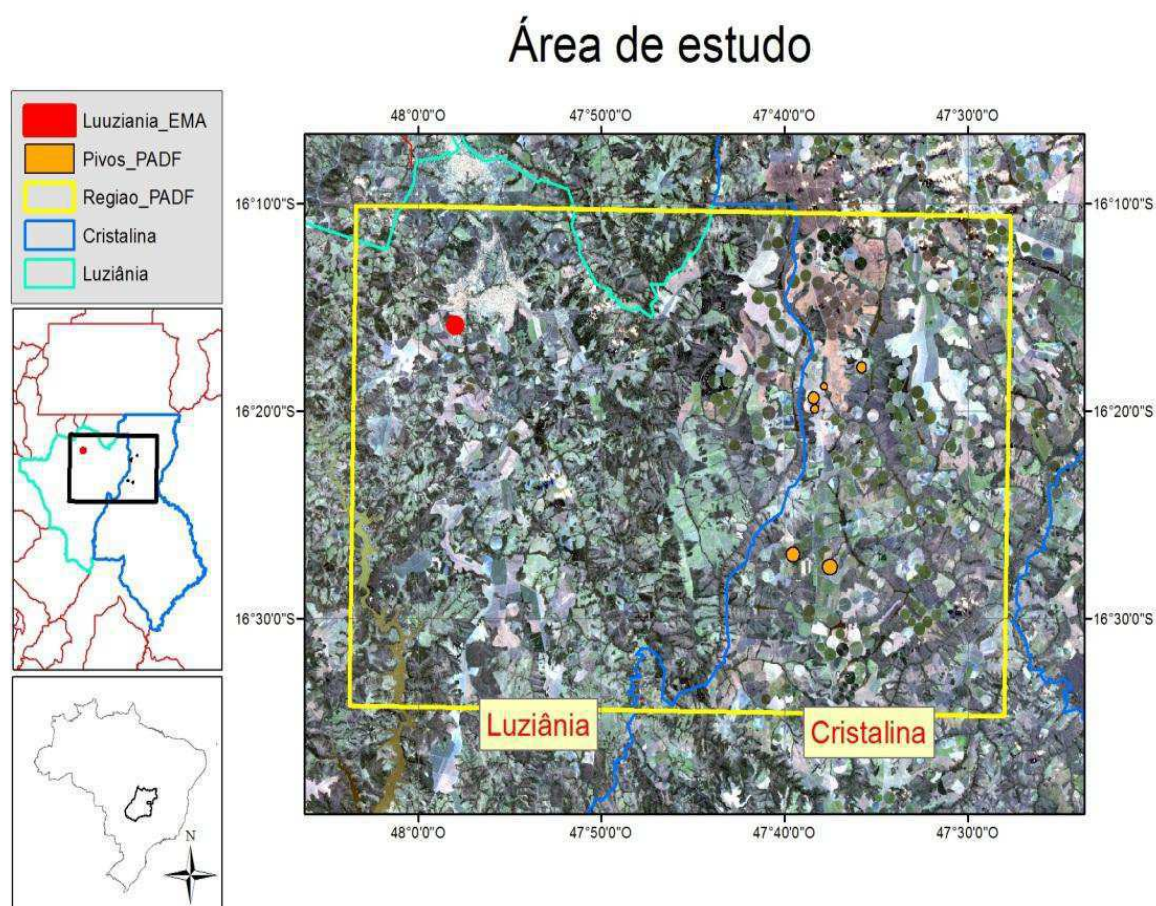
O PAD/DF é um programa concebido e implantado pelo Governo do Distrito Federal, através da Secretaria de Agricultura e Produção e executado pela Fundação Zoobotânica do DF, com início em 1977, visando incorporar ao processo produtivo áreas rurais do DF e regiões em seu entorno que até então não tinham sido exploradas. O programa abrange uma área com mais de 90.000 hectares, contemplando diversos projetos de atividade econômica, de acordo com suas características de relevo e aptidão agrícola, sendo as áreas distribuídas para plantio de cereais, cultivo de hortifrutigranjeiros, bovinocultura, avicultura, através de assentamentos de produtores em áreas isoladas, núcleos regionais, colônias agrícolas e agrovilas (Ghesti, 2009).

Atualmente, o programa PAD/DF está consolidado e os resultados têm contribuído para levar a agricultura para as redondezas de Brasília, oeste da Bahia, Goiás e Mato Grosso, cujas áreas de soja foram expandidas e se sucederam outros cultivos, como o milho, feijão, trigo e sorgo, transformando os cerrados brasileiros num grande celeiro e Brasília em polo indutor de desenvolvimento agrícola. Em termos de culturas irrigadas e de sequeiro, atualmente são plantadas culturas em mais de 90.000 hectares. Nestas áreas são utilizados mais de 152 pivôs centrais, nos quais são plantadas 60.000 hectares de soja, 30.000 hectares de milho, 5.000 hectares de feijão, 2.000 hectares de trigo e 10.000 hectares de diversas hortaliças. Anualmente, são realizadas duas safras no sequeiro, sendo uma normal e outra safra menor. Com o uso do sistema de irrigação são realizadas até três safras (COOPA/DF, 2012). O PAD/DF foi o primeiro e mais importante mostruário das potencialidades e possibilidades agrícolas dos Cerrados brasileiros, constituindo-se no mais bem sucedido programa de colonização e reforma agrária do País.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

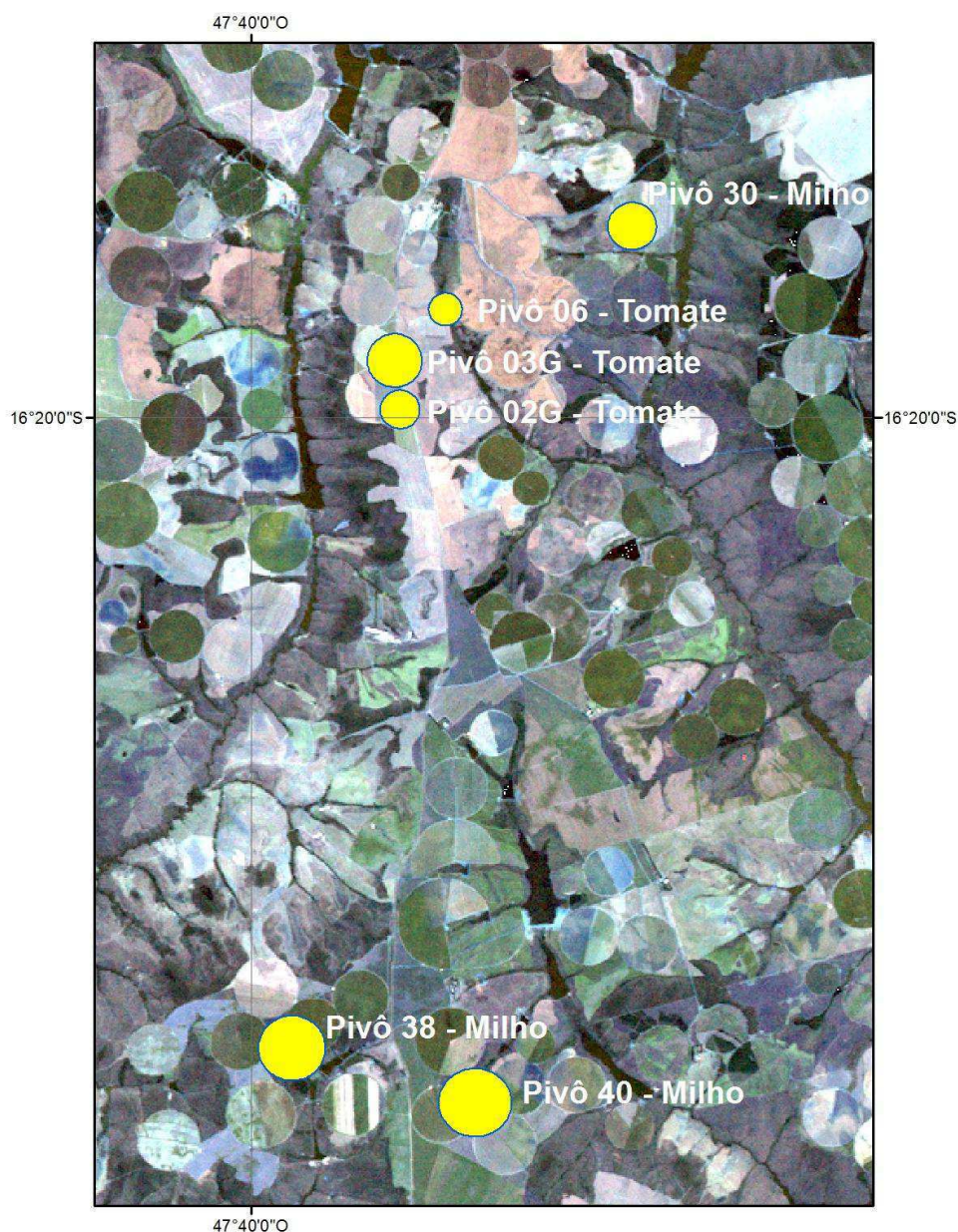
#### 3.1 – Áreas de estudo

As áreas de estudo compreendem áreas irrigadas e de vegetação nativa na região centro-oeste correspondente ao Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal e regiões em seu entorno – PAD-DF (Figura 3.1). Realizaram-se recortes em áreas, compreendendo diversos pivôs centrais do município de Cristalina-GO e utilizou-se uma estação meteorológica automática, localizada no município de Luziânia-GO, pelo fato da mesma ser a mais próxima dos pivôs selecionados para o estudo. Foi feito um segundo recorte de uma área onde encontravam-se alguns pivôs da Empresa Goias Verde Ltda, que foram utilizados no estudo (Figura 3.2). Os municípios de Luziânia-GO e Cristalina-GO, juntamente com o Distrito Federal-DF, regiões onde tem-se áreas do PAD, são regiões com grande potencial agrícola e umas das maiores produtoras de grãos da região centro-oeste, principalmente, no que diz respeito a áreas irrigadas (COOPA/DF, 2012).



**Figura 3.1** – Recorte da área de estudo região onde localiza-se o Programa de Assentamento Dirigido – PAD-DF (Retângulo amarelo).

## Pivôs Goiás Verde - PAD/DF

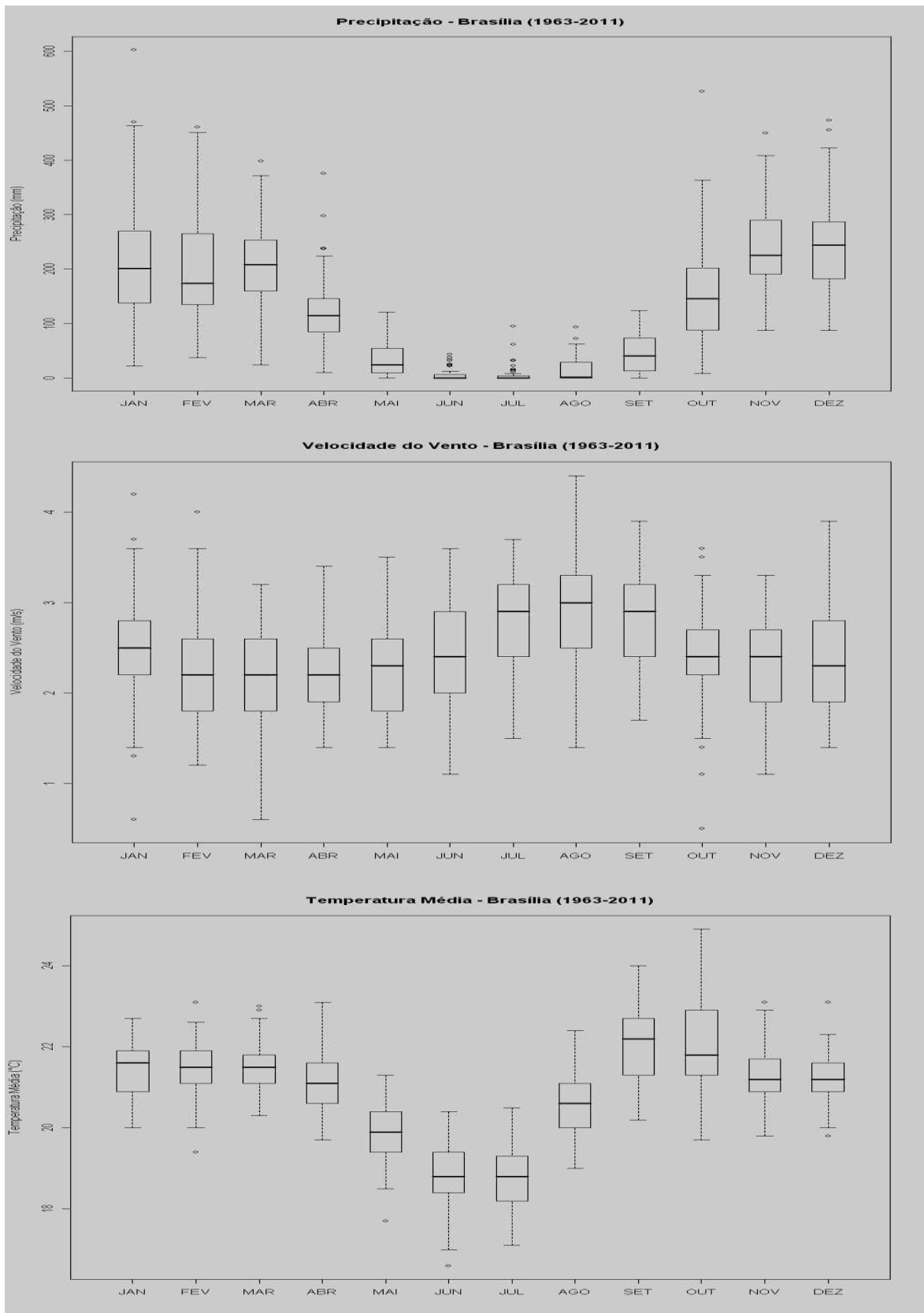


**Figura 3.2** – Distribuição dos pivôs selecionados na área de estudo

### 3.2 – Climatologia da região

O clima do Distrito Federal e cidades que ficam em seu entorno, como por exemplo a cidade de Luziânia-GO, que fica a uma distância de 60 Km em linha reta da capital federal, é classificado conforme Koppen como do tipo “tropical de savana” e “temperado chuvoso de inverno seco”. Esse tipo climático é caracterizado pela

existência de duas estações: uma chuvosa e quente, que ocorre normalmente entre os meses de outubro a abril, representando 84% do total anual de precipitação, e outra fria e seca, de maio a setembro, com o trimestre mais seco (junho/julho/agosto) representando apenas 2% do total anual (MARTINS *et al.*, 2004). Em termos de totais anuais, a precipitação média interanual do Distrito Federal e entorno, variam entre 1.200 mm e 1.700 mm (Normais Climatológicas de 1961-1990 – INMET, 2009). Os sistemas atuantes responsáveis pelo regime pluviométrico do centro-oeste são de origem extratropical e estão associados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), a Alta da Bolívia, Aglomerados Convectivos e Sistemas Frontais (Climanálise, 1986). A estação climatológica de Brasília (código 83377) que representa bem as características da região de Planalto no Brasil, possui uma série histórica da precipitação pluviométrica desde 1963 até os dias atuais. A Figura 3.3a mostra os meses mais secos da região, que são ocasionados pelo grande efeito da subsidência dos ventos em baixos níveis, devido ao fortalecimento da alta subtropical do Atlântico Sul ocorrer neste período, inibindo a formação de nuvens convectivas e chuva, em consequência, instala-se um período de estiagem na região. Na Figura 3.3b, evidencia-se o aumento da velocidade do vento no período seco, principalmente no mês de agosto. A Figura 3.3c evidencia que os menores valores de temperatura média do ar ocorrem nos meses de junho e julho, caracterizando bem a estação de inverno na região.



**Figura 3.3** - a) Série histórica da precipitação; b) velocidade do vento; e c) temperatura média do ar, respectivamente, na Estação Climatológica Principal de Brasília no período de 1963 a 2011 (Fonte: INMET, 2009)



### 3.3 – Dados utilizados

#### 3.3.1 – Imagens TM - Landsat 5

As imagens de satélite do sensor TM – Landsat 5, referentes à órbita 221 e ponto 071, abrangem o Distrito Federal e vizinhanças, com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (14° 59' 33" S e 48° 37' 07" W); canto superior direito (15° 14' 40" S e 46° 52' 40" W); canto inferior esquerdo (16° 33' 14" S e 48° 57' 47" W); canto inferior direito (16° 48' 21" S e 47° 13' 40" W). Estas imagens compreendem sete bandas espectrais (bandas 1 a 7), onde a banda 6 representa a banda com resolução espacial de 120 metros, e as demais possuem resolução de 30 metros. Estas imagens foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, através do link <http://www.dgi.inpe.br/cdsr>. Foram selecionadas inicialmente sete imagens, correspondem aos dias: 06/06/2011; 22/06/2011; 08/07/2011; 24/07/2011; 09/08/2011; 25/08/2011 e 10/09/2011. Após avaliação mais minuciosa foram descartadas as imagens dos dias 22 de junho e 24 de julho por grande presença de nuvens sobre a área de estudo. As demais foram selecionadas em virtude de apresentar pouca ou nenhuma nebulosidade na região em questão, fato que possibilita a aplicação dos balanços de radiação e energia. A Tabela 3.1 apresenta algumas características das imagens selecionadas.

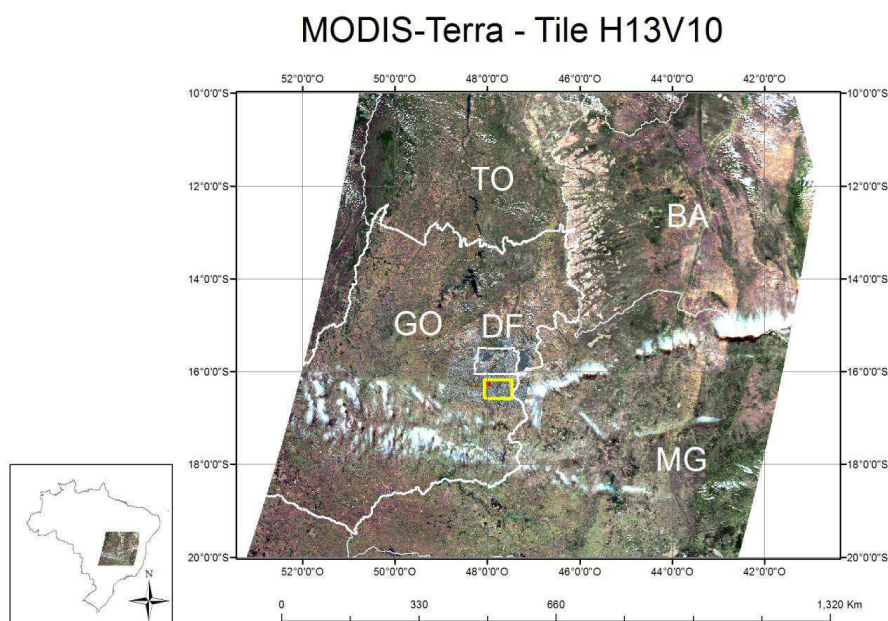
**Tabela 3.1** - Data das imagens, dia juliano (DJ), horário de geração da imagem, correção de excentricidade da órbita terrestre - (dr), ângulo de elevação do Sol (E, °), cosseno do ângulo zenital do Sol (cos Z), temperatura do ar (Ta, °C), umidade relativa (UR, %) e pressão atmosférica (po, KPa) no instante da passagem do Landsat sobre a área de estudo

Data	DJ	Hora	dr	E	Cos Z	Ta	UR	po
06/06/2011	157	10:04:08	0,9701	40,9775	0,6558	20,9	65,0	90,7
08/07/2011	189	10:03:54	0,9672	39,9926	0,6427	21,3	54,0	90,7
09/08/2011	221	10:03:36	0,9740	44,4680	0,7005	26,6	39,0	90,5
25/08/2011	237	10:03:28	0,9805	48,3897	0,7477	24,5	46,0	90,9
10/09/2011	253	10:03:17	0,9885	52,8708	0,7973	28,3	24,0	90,5

#### 3.3.2 – Imagens do MODIS - produto MOD17A2

As imagens de satélite de sensor MODIS-Terra, produto MOD17, referente a Produtividade Primária Bruta (*Gross Primary Productivity* - GPP), abrangem os estados de Goiás, Tocantins, Bahia e Minas Gerais, com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (10° 02' 02" S e 50° 49' 57" W); canto superior direito (09° 59' 60" S

e  $40^{\circ} 40' 33''$  W); canto inferior esquerdo ( $19^{\circ} 57' 22''$  S e  $53^{\circ} 09' 56''$  W); canto inferior direito ( $19^{\circ} 52' 21''$  S e  $42^{\circ} 33' 11''$  W), como pode ser visto na Figura 3.4. O produto MOD17, que contém a produção primária bruta em todo o planeta, com resolução espacial de 1 km em intervalos de 8 dias, foi obtido junto ao National Aeronautics and Space Administration (NASA), através do link [http://nsidc.org/data/modis/order\\_data.html](http://nsidc.org/data/modis/order_data.html), as cinco imagens correspondem aos dias: 02/06/2011; 04/07/2011; 05/08/2011; 21/08/2011 e 06/09/2011. Estas imagens foram selecionadas em virtude de apresentarem pouca ou nenhuma nebulosidade na região em questão e também por serem obtidas próximo das datas das imagens do Landsat 5, facilitando assim na comparação para os dois tipos de imagens dos satélites.



**Figura 3.4** – Imagem MODIS-Terra do sensor MOD17A, Tile H13V10, que abrange os estados de Goiás, Tocantins, Bahia e Minas Gerais

### 3.3.3 – Estação Meteorológica Automática de Luziânia - GO

A estação meteorológica automática de Luziânia - GO possui as seguintes coordenadas geográficas:  $16^{\circ} 16' 20''$  S,  $47^{\circ} 57' 59''$  W e altitude de 958 m. Os elementos meteorológicos registrados a cada hora na estação são: temperatura e umidade relativa do ar, temperatura do ponto de orvalho, velocidade e direção do vento, radiação solar global e precipitação pluviométrica. Esta estação é administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia, e seus dados podem ser obtidos através do link [http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg\\_automaticas.php](http://www.inmet.gov.br/sonabra/maps/pg_automaticas.php). Na Figura 3.1 foi

destacada a localização da estação meteorológica em relação a área de estudo com um pequeno círculo em vermelho e na Figura 3.2 destacam-se os pivôs com culturas selecionadas para a pesquisa.

### 3.3.4 – A empresa Goiás Verde Alimentos Ltda

Em 1981, a família Boni iniciou as atividades no agronegócio nas cidades de Luziânia e Cristalina no Estado de Goiás, com as culturas de soja, arroz, feijão e milho. Com trinta anos no mercado, o Grupo Goiás Verde é destaque na América Latina por ser uma das maiores produtoras individuais de tomate e milho em área irrigada, contando atualmente com mais de 60 pivôs centrais. Os investimentos na agricultura, beneficiamento de grãos e industrialização de produtos alimentícios, permitem que a Goiás Verde Alimentos tenha o controle de todo o processo produtivo por meio da verticalização de suas atividades, garantindo o abastecimento constante dos seus produtos ao longo do ano. A localização dos parques industriais próximos às áreas de cultivo das matérias primas possibilita o processamento das culturas de milho e tomate logo após a colheita, mantendo a qualidade e o sabor natural dos alimentos (Goiás Verde, Institucional, 2012). A Tabela 3.2 apresenta os pivôs selecionados, com informações das culturas (o milho *sweet cor*) e o tomate *solanum lycopersicum*), com suas respectivas áreas de plantio, períodos de plantio e colheita, irrigação e produtividade. Na Figura 3.2 estão representados os pivôs selecionados na área de estudo.

**Tabela 3.2** – Pivôs selecionados da Empresa Goiás Verde, com suas respectivas informações das culturas.

Pivô	Cultura	Área de Plantio (ha)	Período de Plantio	Período de Colheita	Irrigação (mm)	Produtividade (ton/ha)
30	milho	75	20 a 23/06/2011	20 a 30/10/2011	557,0	12,30
38	milho	120	04 a 06/05/2011	05 a 09/11/2011	559,0	15,96
40	milho	145	11 a 15/04/2011	11 a 18/08/2011	588,0	15,67
06	tomate	38	13 a 17/05/2011	23 a 28/09/2011	547,0	93,46
02G	tomate	50	10 a 13/05/2011	15 a 23/09/2011	559,0	93,48
03G	tomate	94	07 a 18/06/2011	05 a 27/09/2011	577,0	90,42

Fonte: Goiás Verde (2012)

### 3.4 – Métodos empregados

#### 3.4.1 – A Produtividade Primária Bruta

A produtividade primária bruta – GPP corresponde à fotossíntese bruta (Hunt Jr. et al., 2004; Xiao et al., 2004; Silva et al., 2013). A sua determinação com sensoriamento remoto pode ser feita ao se combinar o modelo de estimativa da radiação fotossinteticamente ativa absorvida - RFAA pela vegetação, proposto por Monteith (1972), com o modelo de eficiência de uso da luz na fotossíntese de Field et al. (1995), adaptado por Bastiaanssen & Ali (2003), que sugerem o emprego da fração evaporativa - FE como elemento quantificador do status da água pela vegetação. Essa fração evaporativa é obtida por meio do *Surface Energy Balance Algorithm for Land* - SEBAL. A radiação fotossinteticamente ativa - RFA corresponde à fração da radiação solar, situada entre 400 nm e 700 nm, que é absorvida pela clorofila no processo da fotossíntese. Na ausência de medições da RFA pode-se estimá-la em função da radiação solar global diária –  $R_{s,24h}$  segundo expressão:  $RFA = 0,48 \times R_{s,24h} (W m^{-2})$ . No entanto, apenas uma fração da RFA é absorvida pelo dossel vegetativo no processo de fixação do carbono, recebendo a denominação de radiação fotossinteticamente ativa absorvida – RFAA ( $W m^{-2}$ ), podendo ser obtida em função do IVDN (Running et al., 2004; Bastiaanssen & Ali, 2003; Silva et al., 2013), por:

$$RFAA = RFA \times (-0,161 + 1,257 IVDN) (Wm^{-2}) \quad (3.1)$$

em que IVDN é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada que tem sido obtido por vários sensores orbitais. De acordo com o modelo de Monteith (1972), a produtividade primária bruta diária – GPP ( $g C m^{-2}$ ) é dada por:

$$GPP = RFA \times (-0,161 + 1,257 IVDN) \times \varepsilon \quad (3.2)$$

em que  $\varepsilon$  ( $g C MJ^{-1}$ ) é a eficiência do uso da luz, que embora dependa de outros elementos da comunidade vegetal, pode ser quantificada pelo modelo de Field et al. (1995), modificado por Bastiaanssen & Ali (2003):

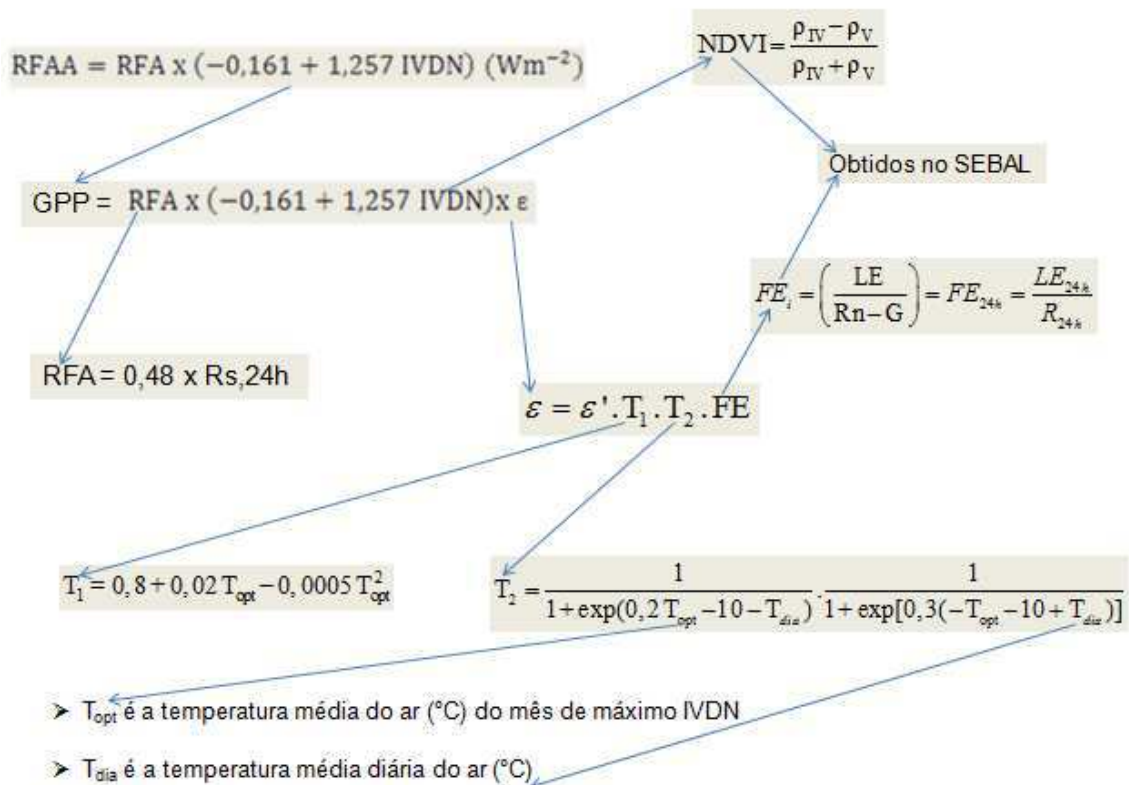
$$\varepsilon = \varepsilon' \cdot T_1 \cdot T_2 \cdot FE \quad (3.3)$$

em que  $\varepsilon'$  representa a eficiência máxima de uso da luz pela vegetação (considerada na pesquisa igual a  $2,15 \text{ g C MJ}^{-1}$ ), FE é a fração evaporativa, que reflete a contribuição do fator umidade na fotossíntese, e  $T_1$  e  $T_2$  refletem a contribuição da temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas, podendo ser calculados por:

$$T_1 = 0,8 + 0,02T_{\text{opt}} - 0,0005T_{\text{opt}}^2 \quad (3.4)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp(0,2T_{\text{opt}} - 10 - T_{\text{dia}})} \cdot \frac{1}{1 + \exp[0,3(-T_{\text{opt}} - 10 + T_{\text{dia}})]} \quad (3.5)$$

em que  $T_{\text{opt}}$  é a temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) do mês de máximo IVDN e  $T_{\text{dia}}$  é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ). A fração evaporativa – FE representa a contribuição do elemento água na fotossíntese e pode ser determinada com base no balanço de energia segundo o SEBAL (Bastiaanssen et al., 1998; Silva e Bezerra, 2006; Allen et al., 2007; Bezerra et al., 2008, 2010; Silva et al., 2012). A Figura 3.5 mostra o esquema empregado para se obter a Produtividade Primária Bruta.



**Figura 3.5** – Etapas para o cômputo da produtividade primaria bruta

### 3.4.2 - Fração Evaporativa

A fração evaporativa – FE, empregada no cômputo da GPP, é dada por (Bastiaanssen & Ali, 2003; Silva et al., 2013):

$$FE = \left( \frac{LE}{Rn - G} \right) \quad (3.6)$$

em que LE, Rn e G representam o fluxo de calor latente, saldo de radiação e fluxo de calor no solo, respectivamente, todos em  $Wm^{-2}$ .

### 3.4.3 - Fluxo de Calor Latente

No SEBAL o fluxo de calor latente (LE) em ( $W m^{-2}$ ) é obtido pela diferença entre o saldo de radiação, fluxo de calor no solo e fluxo de calor sensível no instante da passagem do satélite, é dada pela equação:

$$LE = Rn - H - G \quad (3.7)$$

em que Rn ( $W m^{-2}$ ), G ( $W m^{-2}$ ) e H ( $W m^{-2}$ ) representam o saldo de radiação.

### 3.4.4 - Fluxo de Calor Sensível

O fluxo de calor sensível H é a etapa do SEBAL que requer mais cuidado, porque envolve uma série de considerações, visto que se for processado de forma equivocada pode gerar grandes erros. O H é obtido pela seguinte equação:

$$H = \rho c_p \frac{\Delta T}{r_a} \quad (3.8)$$

em que  $\rho$  ( $kg m^{-3}$ ) é a massa específica do ar,  $c_p$  ( $1004 KJ kg^{-1} K^{-1}$ ) é o calor específico do ar obtido à pressão constante,  $\Delta T$  é a diferença entre a temperatura do ar entre dois níveis ( $Z_2 = 2,0 m$  e  $Z_1 = 0,1 m$ ) e  $r_a$  ( $s m^{-1}$ ) é a resistência aerodinâmica ao transporte de calor sensível, dado pela expressão:

$$r_a = \frac{k u_*}{\ln\left(\frac{Z_2}{Z_1}\right)} \quad (3.9)$$

em que K é a constante (0,41) de Von Karman,  $u_*$  é a velocidade de fricção ( $m s^{-1}$ ) e  $Z_2$  e  $Z_1$  os mesmos níveis mencionados antes. Para determinar a velocidade de fricção em cada pixel da imagem se projeta a velocidade do vento medida em estação meteorológica interior à área de estudo, a uma altura tal que a rugosidade da superfície não seja afetada pela velocidade do vento naquele nível. Essa altura é chamada de *blending height*, sendo considerada igual a 200 m e se utiliza o perfil logaritmo do vento

para se obter  $u_{200}$ . Para se calcular a velocidade de fricção em condição de neutralidade da atmosfera, se emprega a seguinte expressão:

$$u_* = \frac{k u_{200}}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right)} \quad (3.10)$$

em que  $k$  é a constante de Von Karman,  $u_{200}$  é a velocidade do vento a 200 m e  $z_{0m}$  é o coeficiente de rugosidade ao transporte de momentum, que pode ser obtido com base no SAVI (Índice de vegetação com ajuste do solo) segundo a seguinte expressão:

$$z_{0m} = EXP(-5,809 + 5,62 SAVI) \quad (3.11)$$

A resistência aerodinâmica deve ser corrigida, uma vez que se assumiu que a atmosfera se encontrava em condição de estabilidade neutra. Para tanto, a velocidade de fricção corrigida é dada por:

$$u_* = \frac{u_{200} \cdot k}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right) - \psi_{m(200m)}} \quad (3.12)$$

em que  $\psi_{m(200m)}$  é a correção de estabilidade requerida e na sequência se corrige a resistência aerodinâmica  $r_{ah}$ , por meio de :

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right) - \psi_{h(z_2)} + \psi_{h(z_1)}}{u_* \cdot k} \quad (3.13)$$

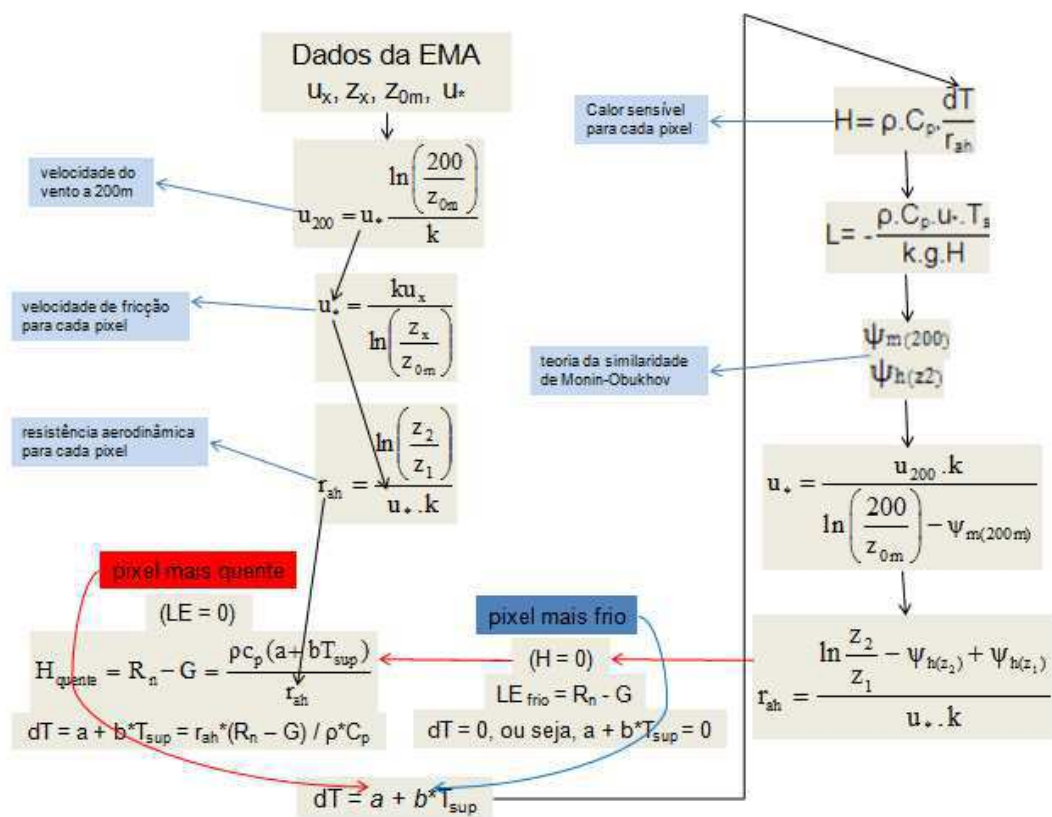
em que  $\psi_{h(z_2)}$  e  $\psi_{h(z_1)}$  são os termos que promovem a correção de estabilidade à resistência aerodinâmica.

Para solucionar a Equação 3.8 com o SEBAL são escolhidos dois pixels extremos, ou âncoras, em que se assume que no pixel quente  $LE = 0$  e no pixel frio  $H = 0$ . Com essas considerações pode-se obter uma equação para  $\Delta T$ , uma vez que no pixel quente se tem:

$$H_{quente} = R_n - G = \frac{\rho c_p (a + b T_{sup})}{r_{ah}} \quad (3.13)$$

e que no pixel  $\Delta T = a + b T_{sup}$ , uma vez que  $H_{frio} = 0$ . Com as equações para  $\Delta T$  nos pixels âncoras, podem-se obter os coeficientes  $a$  e  $b$ , com o que se obtém  $H$  em cada

pixel da imagem. No entanto, os valores iniciais de H não são adequados por não considerar a condição real de estabilidade atmosférica, servindo apenas como valores iniciais de um processo iterativo que busca em cada iteração, a sua condição de estabilidade. Nessa ocasião são efetuadas as correções em  $u^*$  e  $r_{ah}$ , quando são recalculados os valores de a e b, e esse processo iterativo continua até que sua estabilidade seja alcançada. Considerou-se que essa condição foi alcançada quanto à diferença entre a resistência aerodinâmica numa iteração i+1 menos aquela obtida na etapa i, difere em menos de 1% (Silva et al., 2012). O esquema representativo desse processo iterativo está ilustrado na Figura 3.6.



**Figura 3.6** – Etapas para o cômputo do fluxo de calor sensível

### 3.4.5 - Fluxo de Calor no Solo

O fluxo de calor no solo  $G$  ( $Wm^{-2}$ ) foi obtido segundo equação empírica desenvolvida por Bastiaanssen (2000):



$$G = \left[ \frac{T_s}{\alpha} (0,0038\alpha + 0,0074\alpha^2)(1 - 0,98\text{NDVI}^4) \right] \text{Rn} \quad (3.14)$$

onde  $T_{\text{sup}}$  é a temperatura da superfície (°C),  $\alpha$  é o albedo da superfície, NDVI é o índice de vegetação da diferença normalizada e Rn é o saldo de radiação, todos computados pixel a pixel. Para corpos de água, em que o NDVI < 0, considerou-se  $G = 0,3 \cdot \text{Rn}$  (Silva et al., 2005; 2011).

#### 3.4.6 – Saldo de Radiação

A equação do balanço de radiação à superfície (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005; 2011), pode ser apresentada segundo equação:

$$\text{R}_n = (1 - \alpha)\text{R}_s + \text{R}_{\text{atm}} - \text{R}_{\text{emit}} - (1 - \varepsilon_0)\text{R}_{\text{atm}} \quad (3.15)$$

em que  $\alpha$  é albedo,  $\text{R}_s$  a radiação solar instantânea ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\text{R}_{\text{atm}}$  a radiação de onda longa atmosférica ( $\text{W m}^{-2}$ ),  $\text{R}_{\text{emi}}$  a radiação de onda longa emitida por cada pixel ( $\text{W m}^{-2}$ ) e  $\varepsilon_0$  é a emissividade de cada pixel. A radiação de onda longa emitida pela atmosfera ( $\text{R}_{\text{atm}}$ ) e por cada pixel ( $\text{R}_{\text{emi}}$ ) foram obtidas com base na equação de Stefan-Boltzmann com as emissividades atmosférica e de cada pixel obtidas conforme Duarte et al. (2006) e Allen et al. (2007), respectivamente. A temperatura do ar foi obtida na estação meteorológica interior à área de estudo (Tabela 3.2) e a  $T_{\text{sup}}$  segundo (Silva et al., 2011). A radiação de onda curta incidente ou radiação solar incidente -  $\text{R}_s$  ( $\text{W m}^{-2}$ ), representa o fluxo de radiação solar (direta mais difusa), que em condições de céu claro é dada por (Allen et al., 2007; Silva et al., 2011):

$$\text{R}_s = S_0 \cos Z d_r \tau_{\text{oc}} \quad (3.16)$$

em que  $S_0$  é a constante solar ( $1367 \text{ W m}^{-2}$ ),  $Z$  é o ângulo zenital do Sol,  $d_r$  é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e  $\tau_{\text{sw}}$  é a transmissividade, que foi calculada por meio de (Allen et al., 2007; Silva et al., 2011):

$$\tau_{\text{sw}} = 0,35 + 0,627 \exp [-0,00146P/K_t - 0,075 (W/\cos Z)^{0,4}] \quad (3.17)$$

em que  $Z$  é o ângulo zenital solar;  $P$  é a pressão atmosférica (kPa);  $K_t$  é o coeficiente de turbidez atmosférica, sendo  $K = 1$  para céu claro e  $K = 0,5$  para turbidez extrema (Allen, 1996);  $W$  é a água precipitável em (mm), dado pela equação (Garrisson e Adler, 1990):

$$W = 0,14.e_a.P + 2,1 \quad (3.18)$$

onde  $e_a$  é a pressão de vapor próximo a superfície e  $P$  é a pressão atmosférica obtida na estação meteorológica, ambas em kPa.

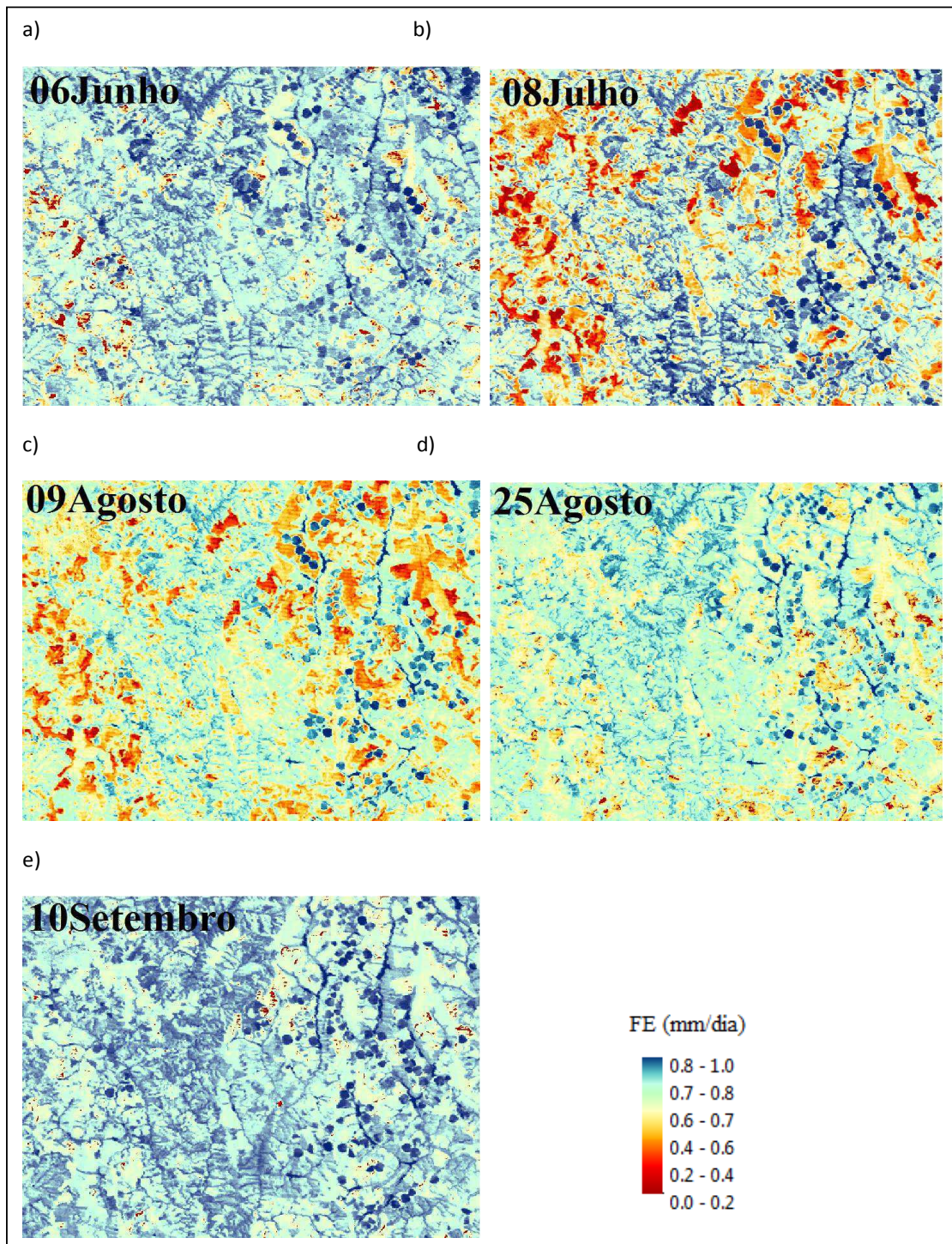
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 – Fração Evaporativa - FE

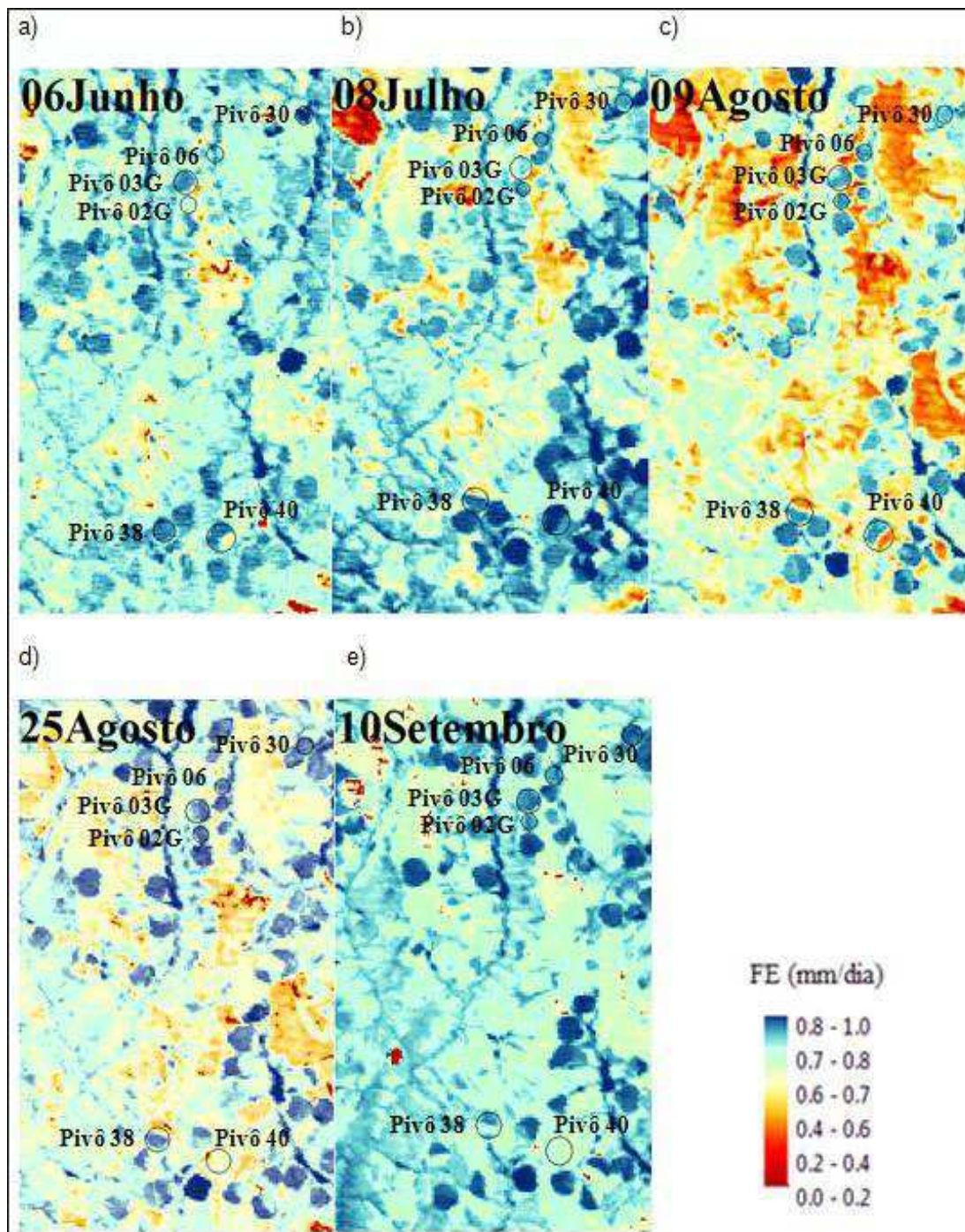
A fração evaporativa é dada pela razão entre o fluxo de calor latente - LE e a diferença entre o saldo de radiação - Rn e o fluxo de calor no solo - G, que é aproximadamente constante durante o período diurno (Shuttleworth et al., 1989). Observa-se para as imagens selecionadas, que a Fração Evaporativa no geral diminui de julho a meados de agosto, e começa a aumentar a partir do final de agosto, como se observa na Figura 4.1.1 (d), período que coincide com o início das chuvas na região do Distrito Federal e regiões circunvizinhas.

A Figura 4.1.2 refere-se a um recorte na área onde se localizam vários pivôs na região do PAD, dentre os quais seis pivôs selecionados da empresa Goiás Verde Ltda, sendo que três pivôs são de culturas de milho e os outros três pivôs referentes à cultura de tomate. Observa-se que a FE é em geral menor na Figura 4.1.2 (c); no entanto, têm-se vários pivôs nesta figura com a FE alta, em torno 0,8 a 0,9, influenciado pelo processo de irrigação das culturas plantadas nos pivôs. Na Figura 4.1.2 (e) observam-se os maiores valores de FE para os dias selecionados, coincide com o início do período chuvoso. Observa-se ainda que em vários pivôs existam culturas em fase de início das colheitas. Em geral, a maioria das culturas localizadas nesses pivôs encontra-se com valores de FE entre 0,8 a 1,0. (Figura 4.1.2 (e)).

A Figura 4.1.3 apresenta o histograma de frequências dos valores de FE para a área de recorte na região do PAD. Pode-se observar que a frequência dos maiores valores de FE inicia-se a partir do dia 06 de junho, diminuindo a partir de 09 de agosto, aumentando novamente, com máximos valores na imagem do dia 10 de setembro. Na Figura 4.1.4 está representado o histograma de frequência dos valores de FE no recorte na área dos pivôs. Verifica-se que os histogramas seguem a mesma tendência de valores de FE do recorte do PAD, com exceção de que os maiores valores de FE ocorrem no dia 25 agosto, provavelmente devido à maioria dos pivôs estar com suas culturas plantadas nas primeiras semanas, requerendo grandes quantidades de água para seu desenvolvimento, além do que neste recorte não se tem muitas áreas descampadas que influenciam na redução da FE.



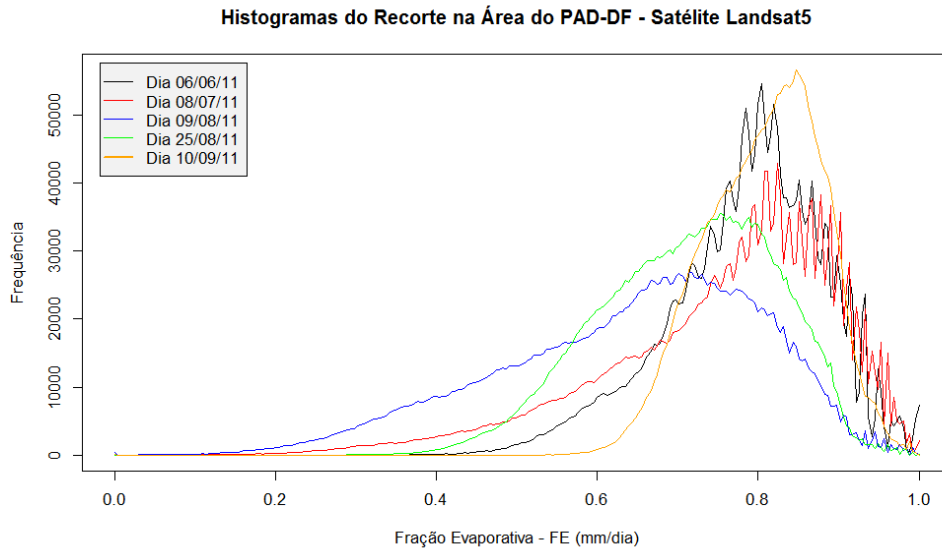
**Figura 4.1.1** – Variabilidade espacial da FE na área do PAD.



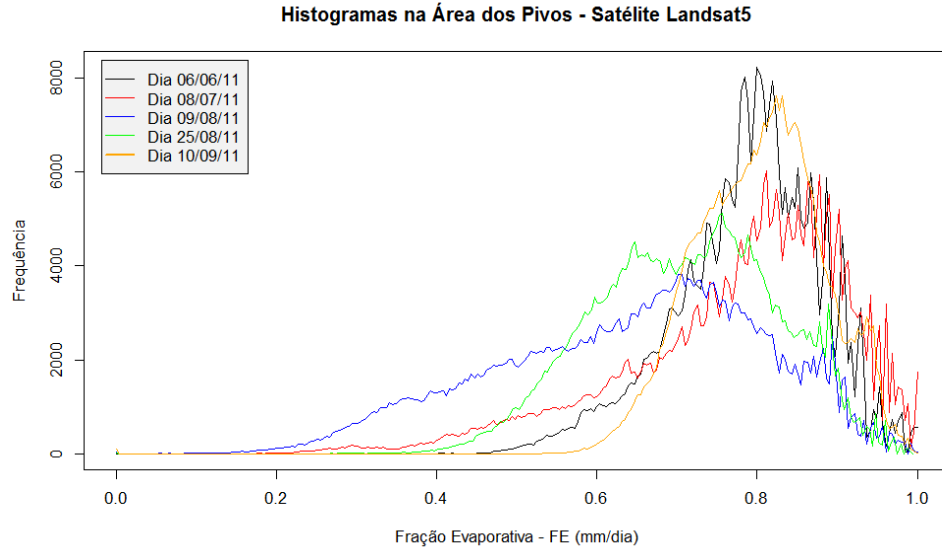
**Figura 4.1.2** – Variabilidade espacial da FE nos pivôs selecionados na área do PAD.

Observa-se mais claramente que há maior concentração de valores da  $FE = 0,8$  ainda no mês de junho, com visível redução nos histogramas de julho até 9 de agosto. Em seguida, aumentam consideravelmente as frequências associadas aos maiores valores, com extremo superior registrado em 10 de setembro. Esses padrões regionais refletem claramente o efeito das chuvas locais na FE. Os padrões apresentados na área do PAD com o recorte envolvendo os pivôs não diferem claramente daqueles

observados na área maior. No entanto, há clara diferença entre a FE dos pivôs com relação aos outros tipos de uso da terra na área de estudo.



**Figura 4.1.3** – Frequência dos valores de Fração Evaporativa – FE, no recorte da área do PAD.



**Figura 4.1.4** – Frequência dos valores de Fração Evaporativa – FE, no recorte da área dos pivôs selecionados no PAD.

De um modo geral, fica evidenciado que as áreas dos pivôs possuem os maiores valores da FE, o que era esperado em virtude do suprimento mais regular de água por parte das irrigações. Silva et al. (2013) observaram o mesmo padrão em áreas irrigadas

no semiárido do estado da Paraíba, assim como o acentuado contraste verificado entre áreas de vegetação nativa e pomar de coqueiros irrigados.

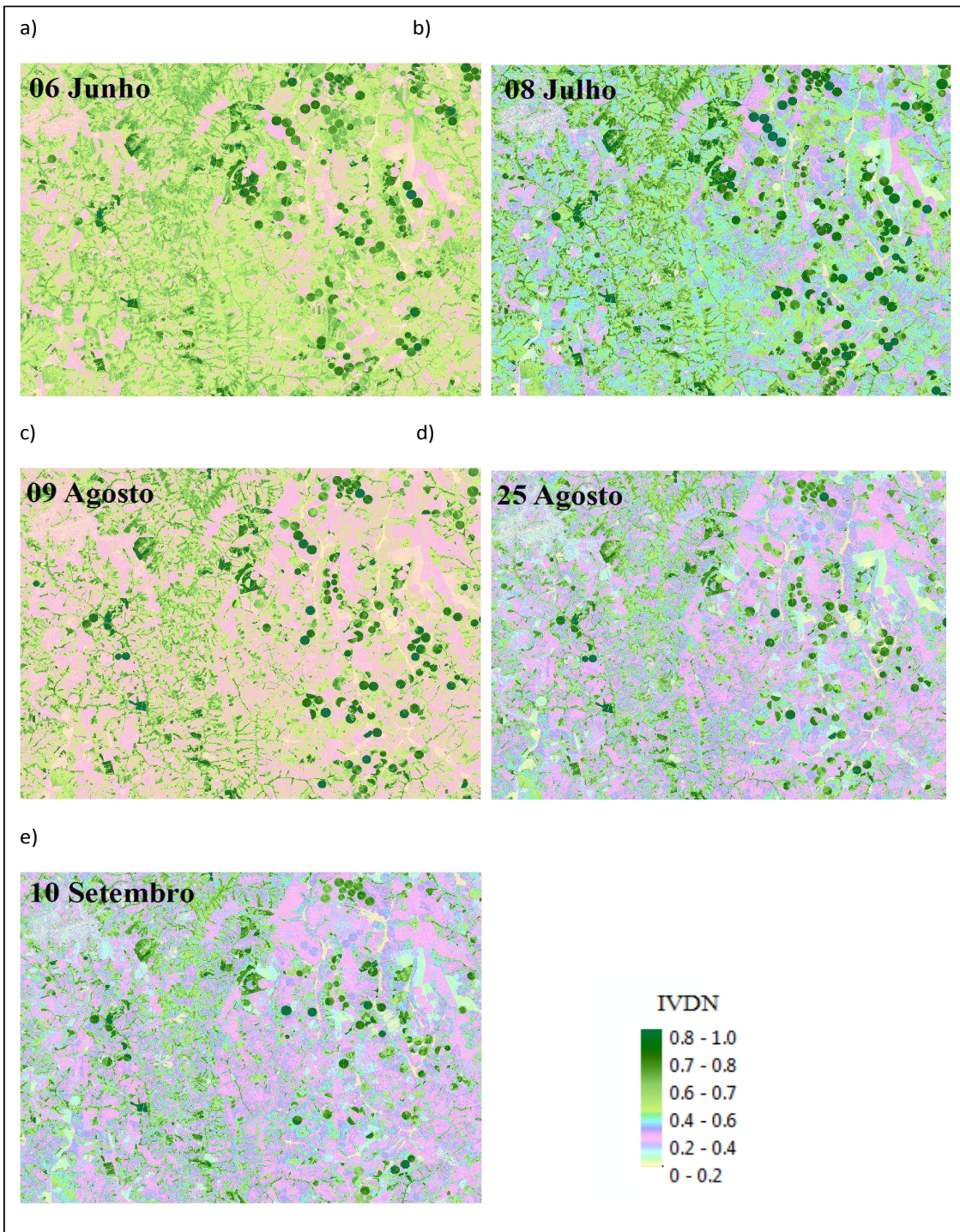
#### **4.2 – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN**

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN é um indicador do vigor e da condição de vegetação verde. Nas áreas com presença de alguma vegetação o mesmo varia de 0 a 1, enquanto que para a água e nuvens que não precipitam o IVDN geralmente é menor que zero (Allen et al., 2002a). As Figuras 4.2.1 (a) a (e), referem-se a variabilidade espacial do IVDN para os cinco dias selecionados, recorte da área do PAD, o IVDN no geral diminui do dia 6 de junho a 10 de setembro. Isso ocorre devido ao período de estiagem que ocorre normalmente nesta região do Centro-Oeste nessa época do ano. No entanto, observa-se que em todas as imagens têm-se diversos pivôs que se encontram com IVDN alto entre 0,7 e 1, resultante das irrigações praticadas nos mesmos.

A Figura 4.2.2 refere-se a um recorte na área onde se localizam vários pivôs na região do PAD, dentre os quais estão os seis pivôs selecionados. Observa-se que o IVDN é em geral maior para o dia 6 de junho (Figura 4.2.2.a); contudo, a maior quantidade de pivôs com IVDN alto ocorre no dia 8 de julho, conforme a Figura 4.2.2 (b), com muitos valores entre 0,8 a 1,0.

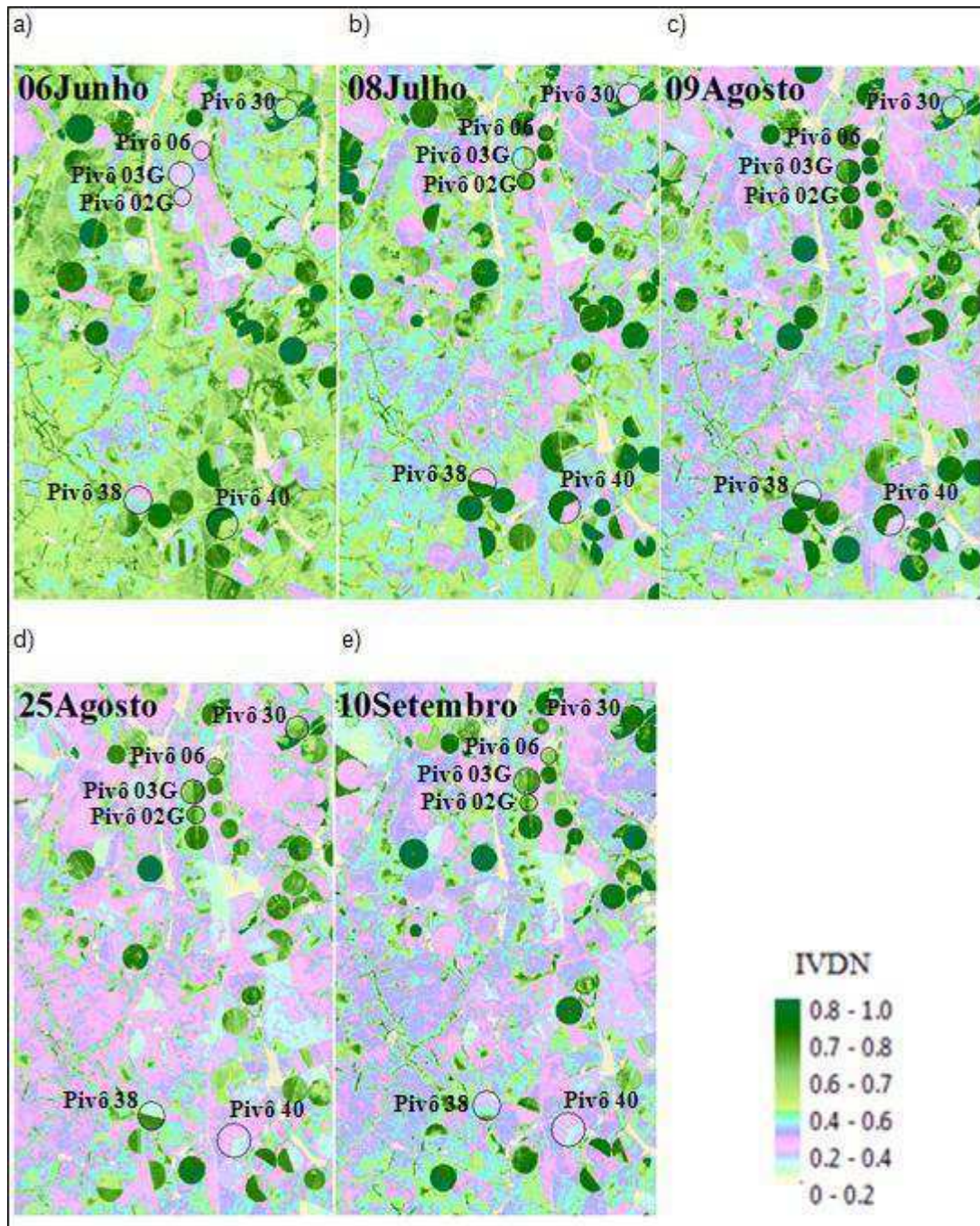
A Figura 4.2.3 mostra o histograma de frequência dos valores de pixels de IVDN para a área de recorte na região do PAD. Observa-se que a frequência dos maiores valores de IVDN são encontrada no dia 6 de junho, e os menores no dia 10 de setembro. No entanto, valores de IVDN variando de 0,7 a 0,9, têm frequências muito próximas para todos os dias, fator este que pode estar associado à presença dos pivôs nesta área.

Na Figura 4.2.4 está representado o histograma de frequência dos valores de IVDN no recorte da área dos pivôs. Verifica-se a mesma tendência dos valores de IVDN do recorte do PAD, com exceção de que os menores valores de IVDN ocorrem no dia 25 agosto e não no dia 10 de setembro. Isso provavelmente devido a maior quantidade de pivôs se encontrarem com suas culturas com maior vigor, aumentando o valor do IVDN e também pelo fato de que o recorde é menor, com grande parte da área compreendida pelos pivôs e excluindo outros tipos de culturas que não sofrem a influência direta do homem. A frequência dos maiores valores de IVDN segue o mesmo padrão do gráfico da Figura 4.2.3, sendo que neste os valores situam-se entre 0,6 a 0,8.

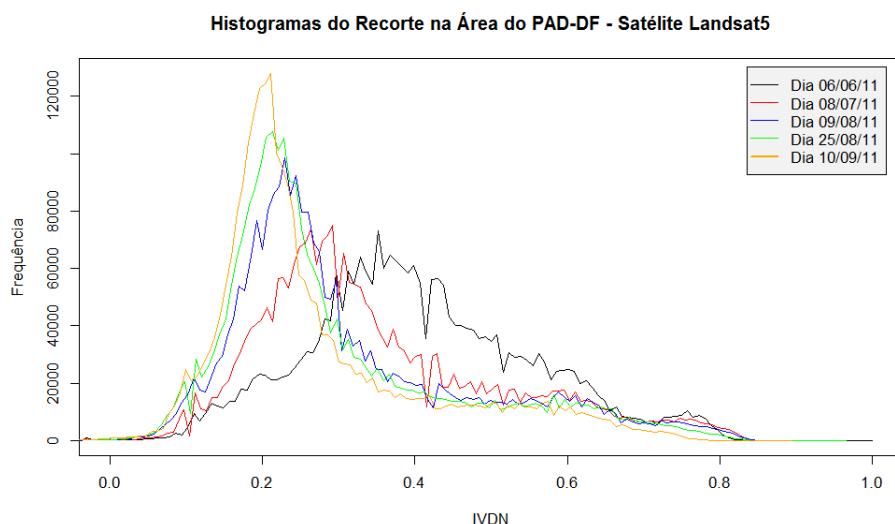


**Figura 4.2.1** – Variabilidade espacial do IVDN na área do PAD.

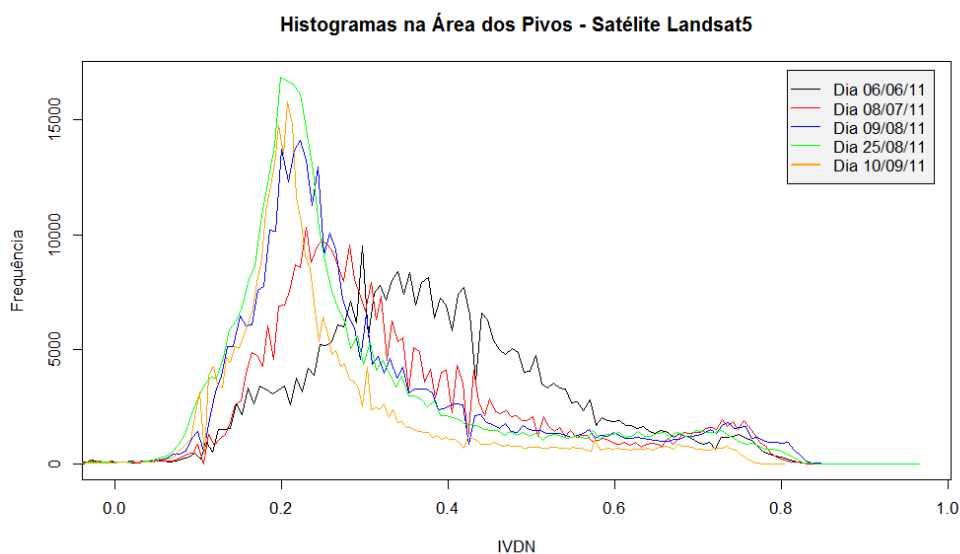




**Figura 4.2.2** – Variabilidade espacial do IVDN nos pivôs selecionados na área do PAD.



**Figura 4.2.3** – Frequência dos valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, no recorte da área do PAD.



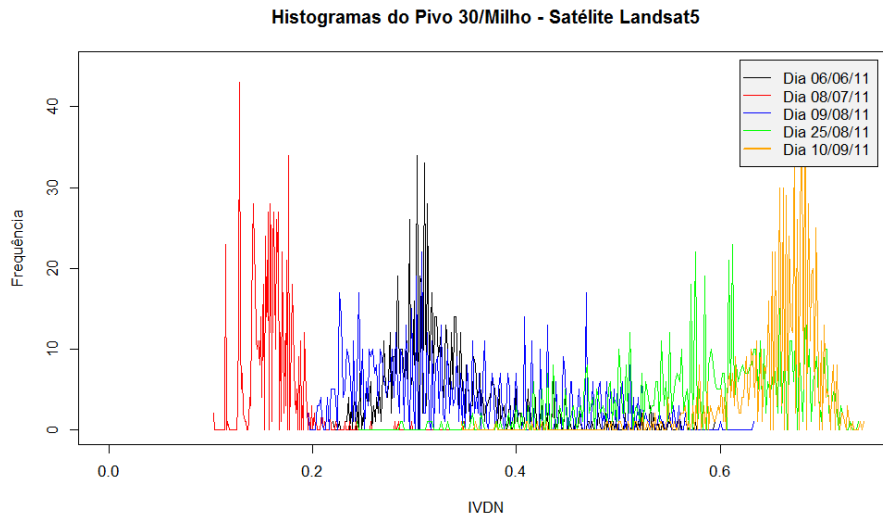
**Figura 4.2.4** – Frequência dos valores de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, no recorte da área dos pivôs selecionados no PAD-DF

As Figuras 4.2.5 a 4.2.7 referem-se a pivôs onde foram plantados milho (*Zea Mays*) em áreas de aproximadamente 75, 120 e 145 ha, respectivamente. Observa-se que o IVDN da Figura 4.2.5, referente ao pivô 30 (milho), cujos menores valores ocorreram no dia 8 de julho, ou seja, no início do plantio, com valores entre 0,1 a 0,2 e atingindo o máximo IVDN no dia 10 de setembro, com os valores variando entre 0,6 a 0,7, próximo do início de colheita, que ocorreu em 20 de setembro (Tabela 3.2).

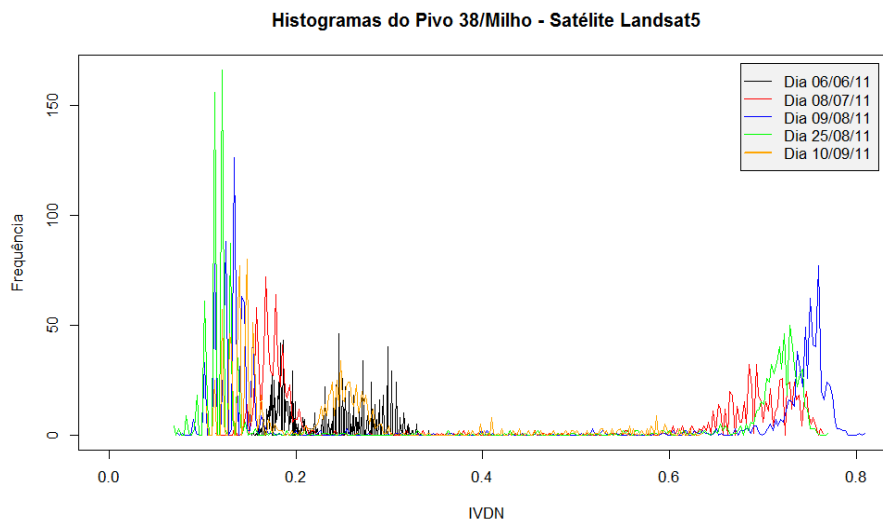
As Figuras 4.2.6 e 4.2.7, que são referentes aos pivôs 40 e 38, contêm culturas que foram plantadas nos meses de abril e maio, respectivamente. Por este motivo não se pode visualizar os menores valores de IVDN para o início do plantio. No entanto, observa-se que os maiores valores iniciam-se na imagem do dia 8 de julho, atingindo os valores máximos no dia 09 de agosto, com IVDN entre 0,7 e 0,8. A partir do dia 10 de setembro os valores de IVDN começam a diminuir, em consonância com a proximidade do início da colheita que ocorreu na primeira quinzena de novembro. No pivô 40, pode-se observar que os valores de IVDN começam a diminuir na imagem do dia 25 de agosto, coincidindo com o início da colheita que foi realizada em 18 de agosto.

As Figuras 4.2.8, 4.2.9 e 4.2.10 referem-se aos pivôs onde foram plantados tomate (*Solanum Lycopersicum*) em áreas de aproximadamente 38, 50 e 94 ha, respectivamente. Observa-se na Figura 4.2.8 (pivô 06 - tomate) que os menores valores de IVDN estão presentes no dia 6 de junho no início do plantio e que atingem os valores máximos de IVDN no dia 9 de agosto, com valores entre 0,7 a 0,9. A partir do dia 25 de agosto os valores começam a diminuir, mais ainda com valores altos, entre 0,5 a 0,7, até atingir os valores mínimos no dia 10 de setembro com maiores entre 0,4 e 0,5, coincidindo com o início da colheita que se processou no dia 20 de setembro.

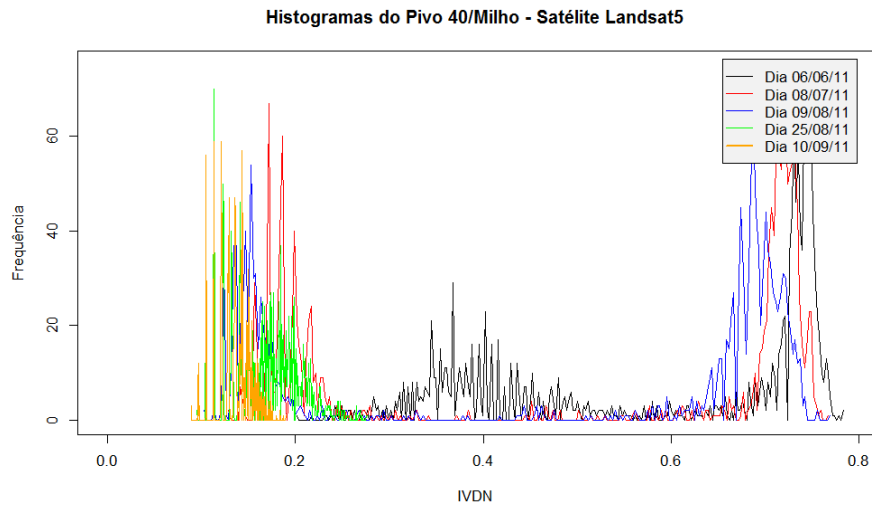
As Figuras 4.2.9 (pivô 02G – tomate) e 4.2.10 (pivô 03G – tomate), seguem a mesma tendência de crescimento da cultura, se comparada com a cultura no pivô 06. A diferença é que a área destes pivôs são maiores do que aquela do pivô 06, e que os mesmos concentram os maiores valores de IVDN, principalmente no dia 09 de agosto, com valores entre 0,8 a 0,9 de IVDN. Em ambos se verifica que as culturas começaram a diminuir os valores, entre 0,3 a 0,4, a partir do dia 10 de setembro, coincidindo com os períodos de colheita para os ambos os pivôs 02G e 03G, que tiveram a colheita iniciada nos dias 15 de setembro e 05 de setembro, respectivamente.



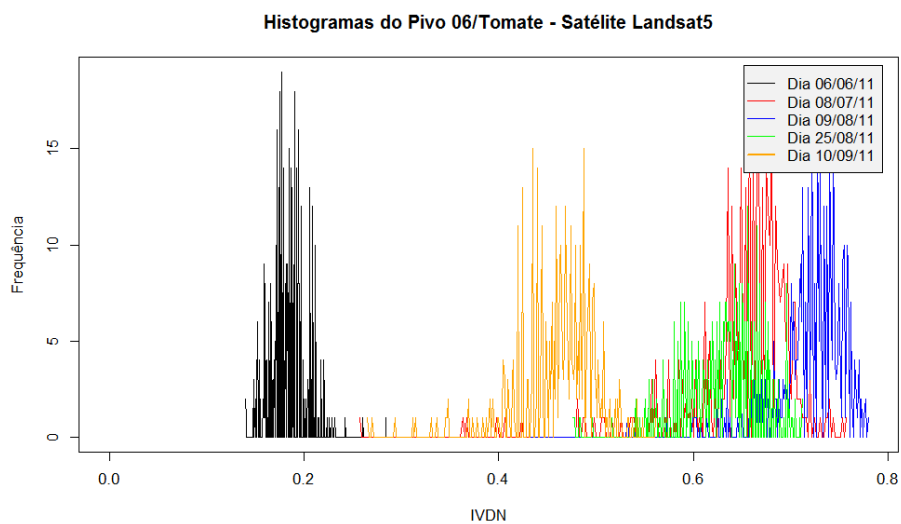
**Figura 4.2.5** – Frequência de valores de IVDN no pivô 30 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.



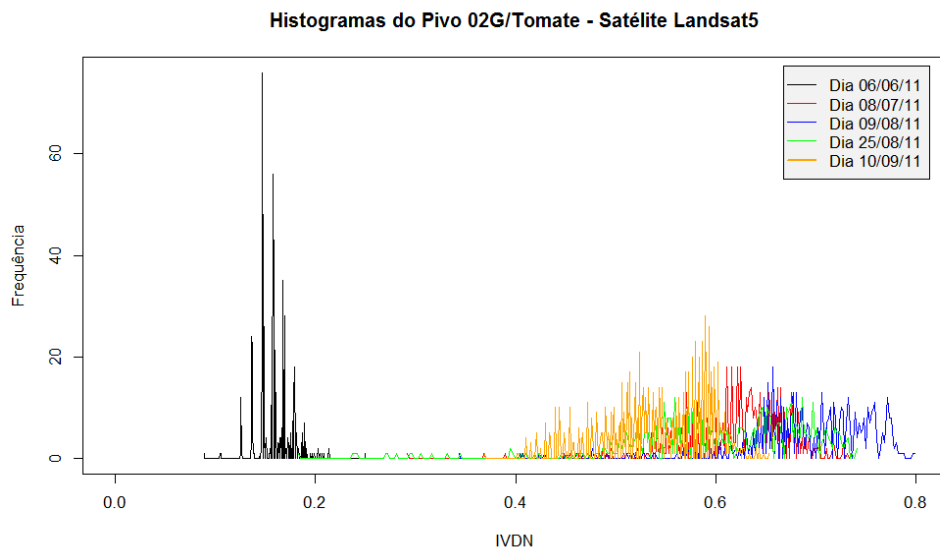
**Figura 4.2.6** – Frequência de valores de IVDN no pivô 38 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5



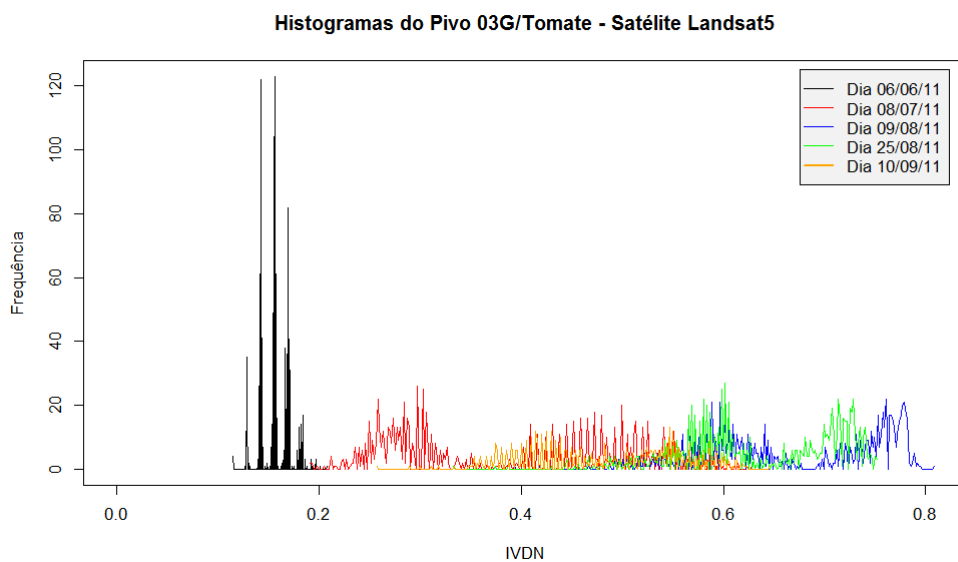
**Figura 4.2.7** – Frequência de valores de IVDN no pivô 40 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.



**Figura 4.2.8** – Frequência de valores de IVDN no pivô 06 na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5



**Figura 4.2.9** – Freqüência de valores de IVDN no pivô 02G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.



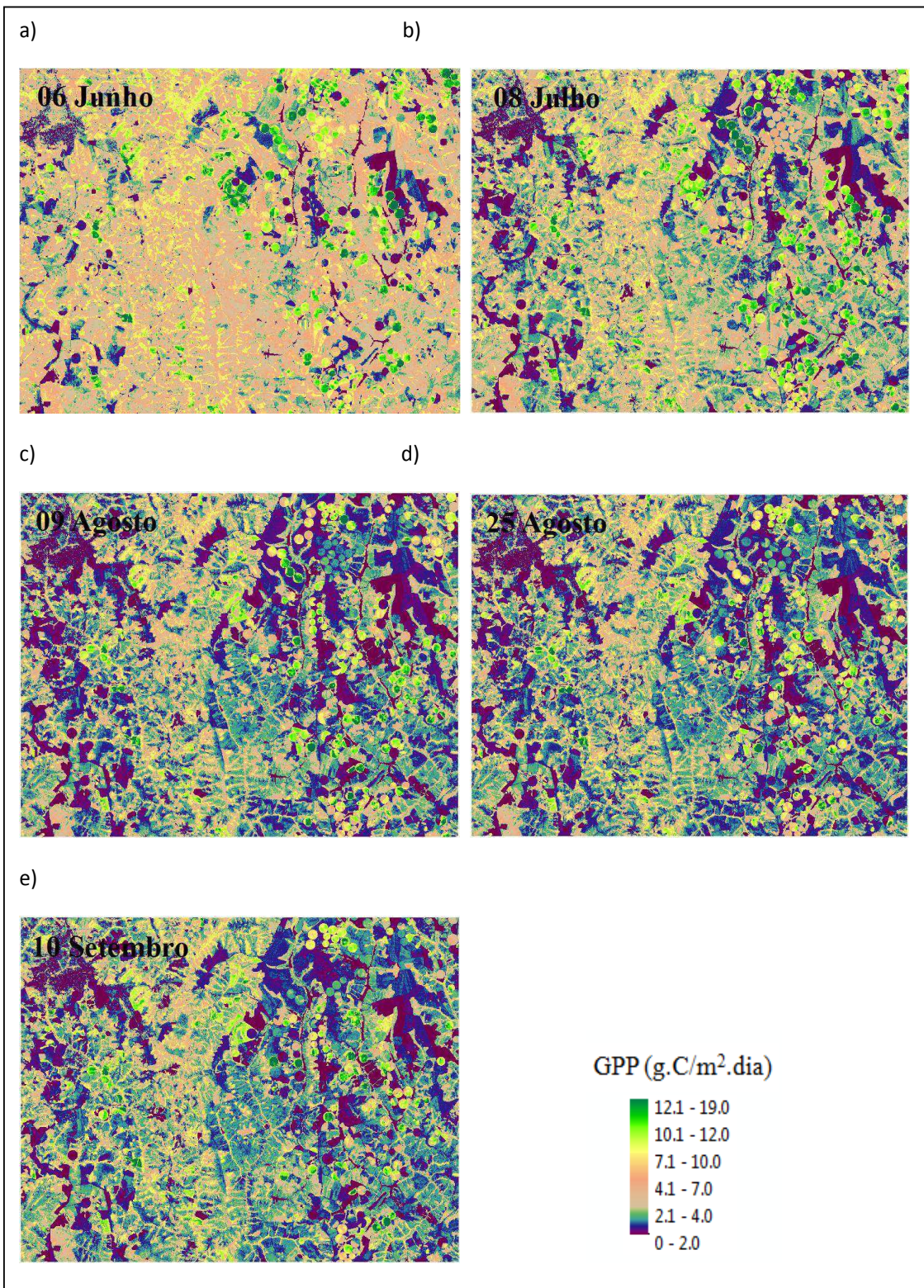
**Figura 4.2.10** – Freqüência de valores de IVDN no pivô 03G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5

### 4.3 – Produtividade Primária Bruta

A Produtividade Primária Bruta (Gross Primary Productivity – GPP) é considerada uma variável fundamental dos ecossistemas florestais por sequestrar o carbono atmosférico e disponibilizá-lo aos processos metabólicos ecofisiológicos. A mesma pode ser considerada como a soma da fotossíntese realizada por todas as folhas em escala ecossistêmica. Resulta da integração em escala temporal de dias a ano, medida em unidades de massa por área por tempo (ex.  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ) (CHAPIN III et al., 2011).

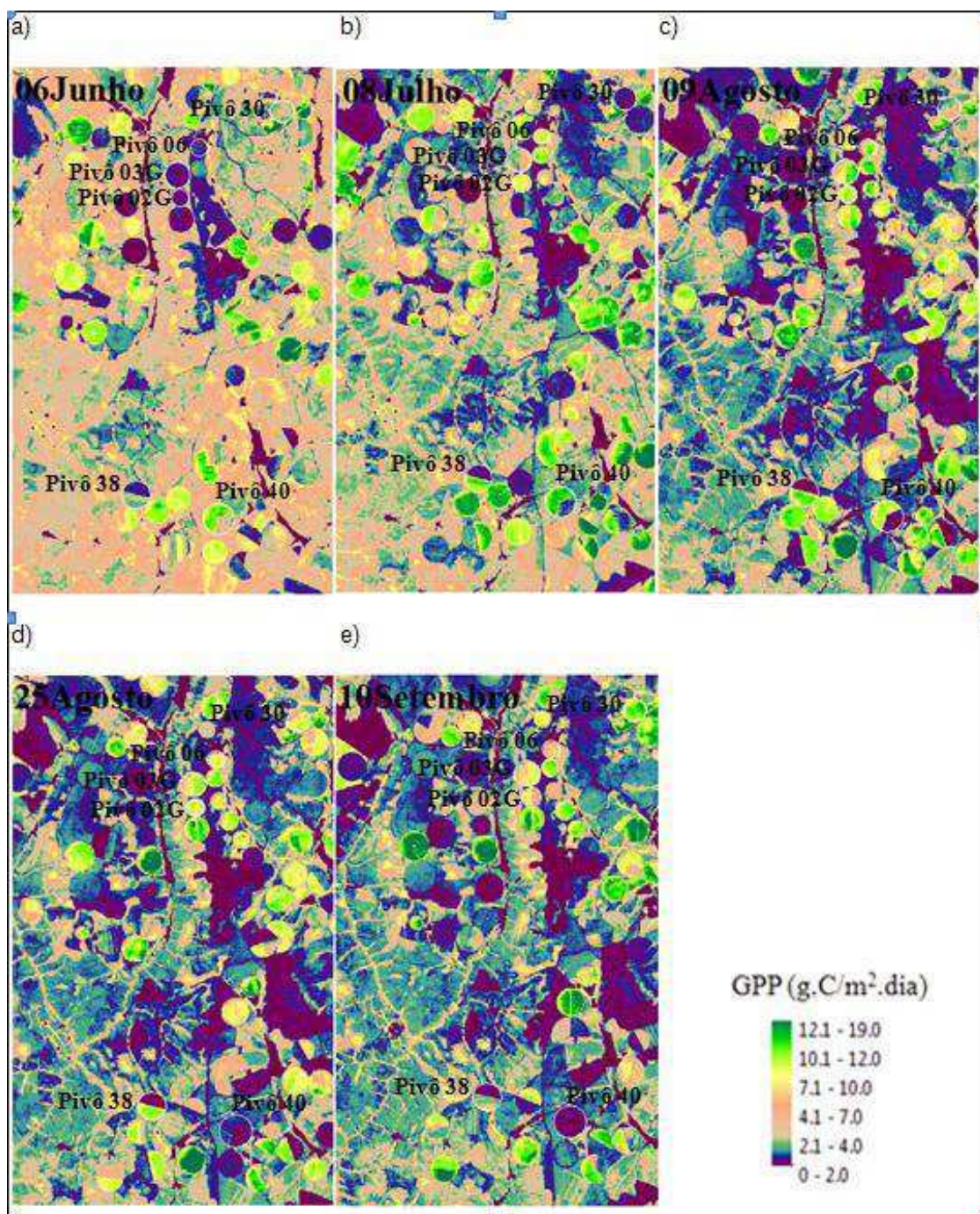
Verifica-se na Figura 4.3.1 (a) a (e), referentes ao recorte na área da região do PAD, que a GPP no geral diminui nos dias 6 de junho a 10 de setembro, com exceção da imagem do dia 25 de agosto que ocorre um ligeiro aumento na GPP, provavelmente devido à influência do estágio em que se encontravam as culturas plantadas nos pivôs. O maior valor da GPP média para a área do recorte abrangendo a região do PAD, observa-se no dia 6 de junho com  $5,0 \text{ gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ; no entanto, o valor máximo de GPP é observado na imagem do dia 25 de agosto, com valor de  $17,7 \text{ gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , provavelmente observado em um pivô com cultura bem irrigada com IVDN alto.

Na Figura 4.3.2, referente a um recorte na área onde se localizam vários pivôs na região do PAD e onde foram selecionados seis pivôs para análise individual, observa-se que a GPP segue o mesmo padrão do recorte da área do PAD. Os maiores valores de GPP foram observados no recorte do dia 6 de junho - Figura 4.3.2 (a), a partir de julho diminui até o dia 10 de setembro - Figura 4.3.2 (e). Essa diminuição está associada à falta de água na maior parte desta área, devido a estiagem na região em estudo, no entanto, no dia 25 de agosto (Figura 4.3.2 (d)), há um ligeiro aumento na GPP ocasionado pela concentração de pivôs nesta área aumentando a produção primária. Verifica-se novamente que o maior valor médio ocorreu no dia 6 de junho, com a GPP de  $4,66 \text{ gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e o máximo da GPP ocorreu no dia 25 de agosto, de  $17,2 \text{ gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , provavelmente em um pivô com sua cultura próximo a sua colheita.



**Figura 4.3.1** – Variabilidade espacial da GPP na área do PAD.

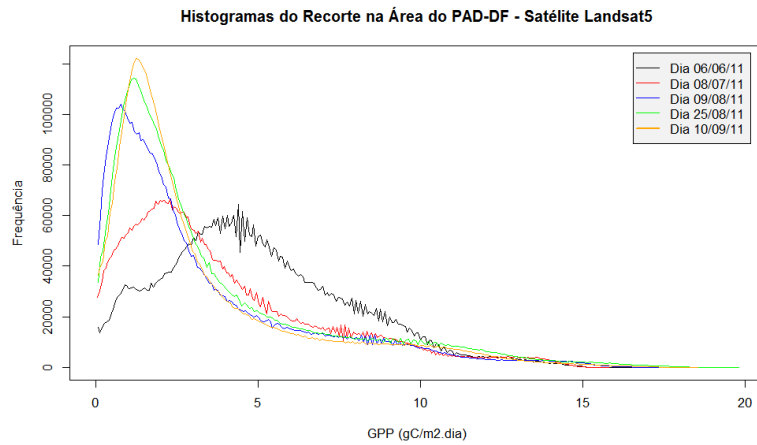




**Figura 4.3.2** – Variabilidade espacial da GPP nos pivôs selecionados na área do PAD.

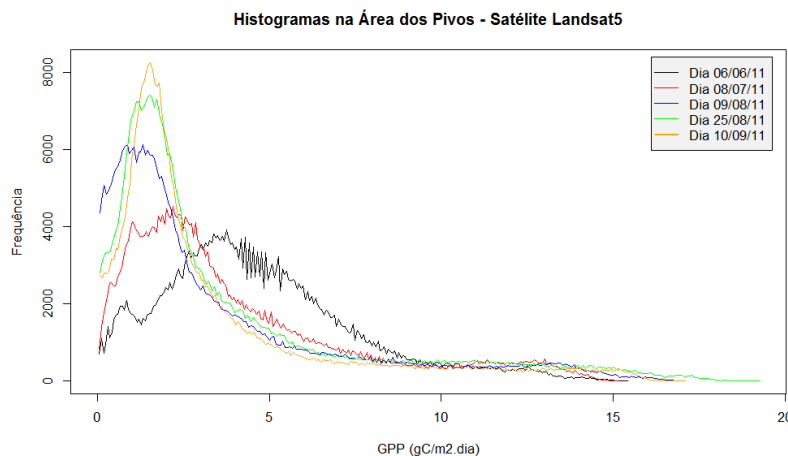
A Figura 4.3.3 mostra o histograma de frequências dos valores da GPP para a área de recorte na região do PAD. Observa-se que a frequência dos maiores valores de GPP inicia-se a partir do dia 6 de junho e não diminui até o dia 10 de setembro, onde se concentram os menores valores. No entanto, valores entre 10 a 15  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , têm frequências quase constante para todos os dias selecionados, influenciado

principalmente pelas culturas plantadas nos pivôs que não sofrem o estresse hídrico, mantendo os valores de GPP altos.



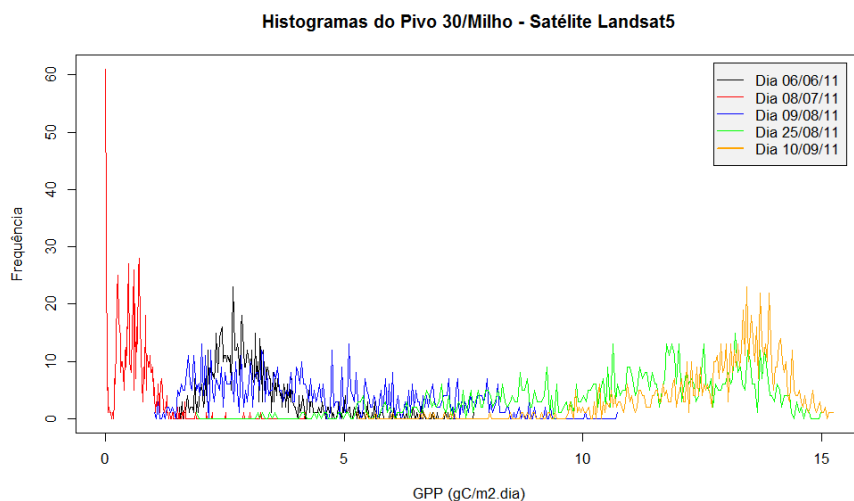
**Figura 4.3.3** – Histograma de frequências dos valores da GPP no recorte da área do PAD.

A Figura 4.3.4 mostra o histograma de frequência dos valores da GPP no recorte na área dos pivôs. Verifica-se que o mesmo segue a mesma tendência dos valores de GPP do recorte do PAD, sendo que a frequência dos maiores valores de GPP seguem o mesmo padrão do gráfico da Figura 4.3.3. No caso dos pivôs as frequências são semelhantes para todos os dias com GPP variando entre 8 e 17  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , fato este que pode estar associado ao tamanho do recorte abranger mais pivôs nesta área do que a área do recorte da Figura 4.3.3. As Figuras 4.3.5, 4.3.6 e 4.3.7 referem-se a pivôs onde foram plantados milho (*Zea Mays*), em áreas de aproximadamente 75, 120 e 145 hectares, respectivamente.



**Figura 4.3.4** – Histograma de frequências dos valores da GPP no recorte da área dos pivôs selecionados no PAD.

Na Figura 4.3.5, que é referente ao pivô 30 (milho), observa-se que os menores valores ocorrem no dia 8 de julho, ou seja, no início do plantio, com valores entre 1 e 2  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , e que os maiores valores de GPP entre 12 e 15  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  foram observados no dia 10 de setembro. O valor médio e máximo neste dia, foram de 12,80  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e de 15,23  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente. A integração da GPP sobre todos os pixels desse pivô resultou em 10.600  $\text{gC dia}^{-1}$ .

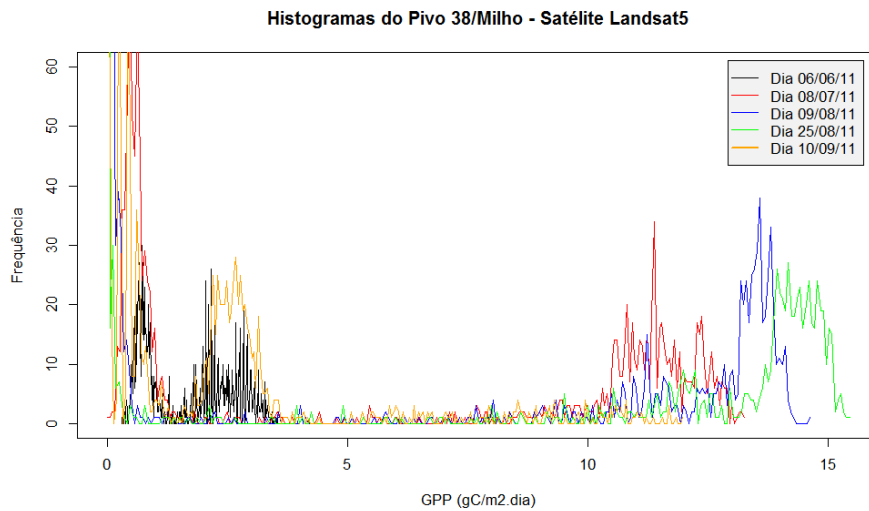


**Figura 4.3.5** – Histograma de frequências de valores da GPP no pivô 30 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5

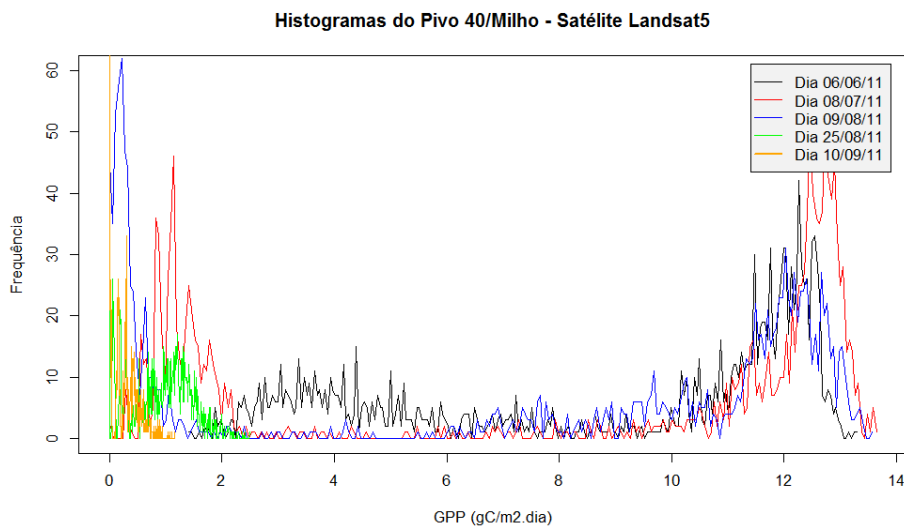
As Figuras 4.3.6 e 4.3.7, que são referentes aos pivôs 40 e 38, as culturas foram semeadas nos meses de abril e maio, respectivamente, por este motivo não se pode visualizar os menores valores da GPP para o início do plantio. Na Figura 4.3.6, observa-se que os maiores valores iniciam-se na imagem do dia 8 de julho, chegando aos valores máximos no dia 25 de agosto, com valores entre 13 e 16  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . O valor médio da GPP ficou em torno de 11,34  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , enquanto que o máximo foi de 15,45  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . A produção total de GPP neste pivô atingiu o valor máximo de 8.984  $\text{gC dia}^{-1}$ . A partir do dia 10 de setembro os valores de GPP começam novamente a diminuir no pivô 38, com os valores variando entre 0 e 3  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , a medida a que se aproxima o início da colheita.

Na Figura 4.3.7, relativa ao pivô 40, observa-se que os menores valores da GPP ocorreram antes da primeira imagem, obtida no dia 6 de junho, enquanto que os maiores valores foram observados no dia 8 de julho, variando entre 11 e 14  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com valores médio de 8,40  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e GPP máximo do pixel com valor de 13,65  $\text{gC m}^{-2}$

dia<sup>-1</sup> e com GPP total na área do pivô de 13.877 gC dia<sup>-1</sup>, observado no dia 6 de junho. A partir do dia 25 de agosto os valores da GPP diminuem drasticamente, coincidindo com o início da colheita que ocorreu em 18 de agosto (ver Tabela 3.2).



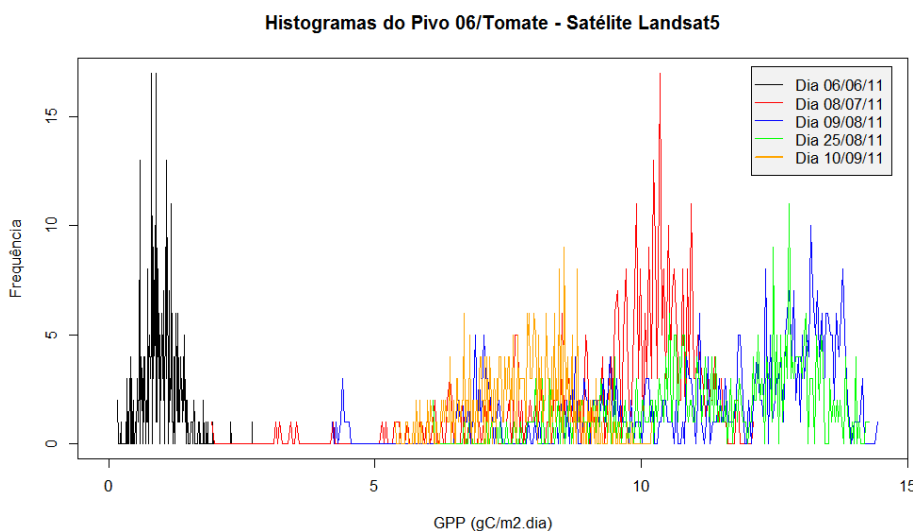
**Figura 4.3.6** – Histograma de frequências de valores da GPP no pivô 38 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5.



**Figura 4.3.7** – Histograma de frequências de valores da GPP no pivô 40 na cultura de milho, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5

As Figuras 4.3.8 a 4.3.10 referem-se aos pivôs 06, 02G e 03G, os quais foram semeados com a cultura de tomate (*Solanum Lycopersicum*), em áreas de aproximadamente 38, 50 e 94 hectares, respectivamente. Verifica-se na Figura 4.3.8

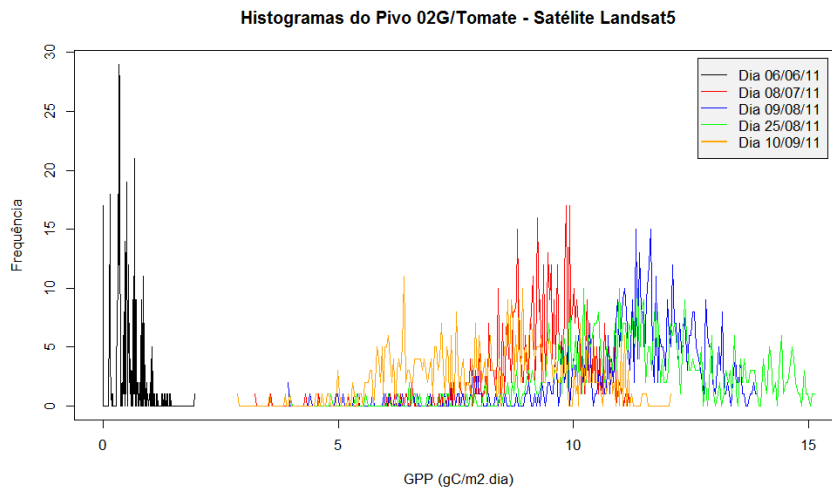
(pivô 06) que os menores valores de GPP são observados no dia 6 de junho, coincidindo com o início do plantio, com os valores mínimos variando entre 0 e 2  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ , enquanto que os maiores valores foram observados no dia 25 de agosto, com valor médio da GPP em torno de 11,30  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e valor máximo de 14,40  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ . A GPP total do pivô chegou ao valor de 4.390  $\text{gC dia}^{-1}$ . A partir do dia 10 de setembro a GPP começou a diminuir, quando se observa que a maior parte dos valores de GPP varia de 5 a 10  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ .



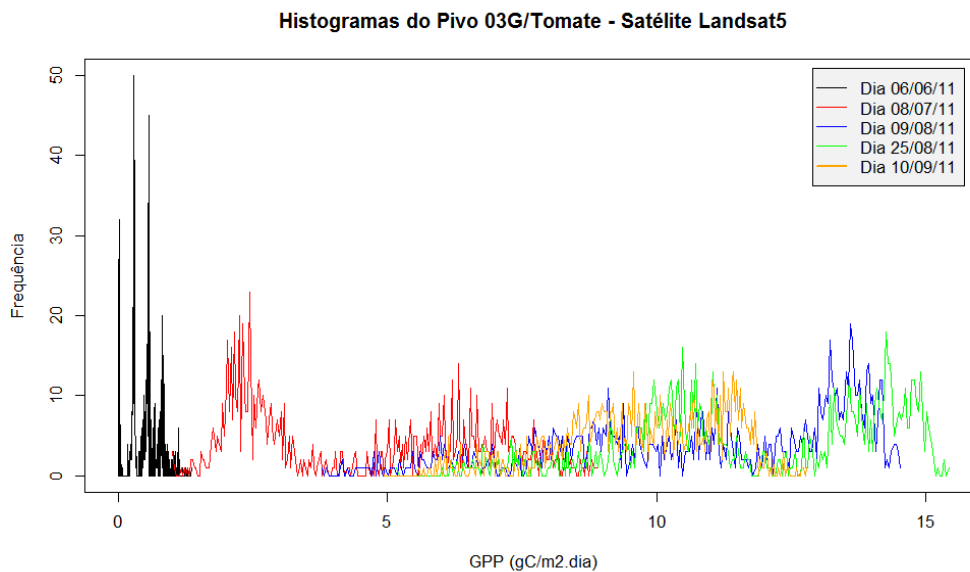
**Figura 4.3.8** – Histograma de frequências de valores da GPP no pivô 06 na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5

As Figuras 4.3.9 (pivô 02G – tomate) e 4.3.10 (pivô 03G – tomate), seguem a mesma tendência de crescimento da cultura se comparada com a cultura plantada no pivô 06, pelo fato de serem plantadas e colhidas em períodos muito próximos. A diferença é que as áreas destes pivôs são maiores do que aquela do pivô 06, e encontram-se os maiores valores e contém uma produção maior. Para o pivô 02G a produtividade primária bruta média ficou em torno de 11,36  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e máxima de 15,12  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ . Com relação ao pivô 03G a GPP média foi de 11,83  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  e a máxima foi igual a 15,42  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ . Com relação à produção primária bruta total para os pivôs 02G e 03G, os mesmos ficaram em torno de 6.158 e 10.958  $\text{gC dia}^{-1}$ , respectivamente, ambos observados no dia 25 de agosto. No dia 10 de setembro a GPP começa a diminuir em ambos os pivôs, seguindo a mesma frequência de valores do pivô

06 e coincidindo com os seus períodos de colheita, que foram inicializadas no dia 15 de setembro e 5 de outubro para os pivôs 02G e 03G, respectivamente.



**Figura 4.3.9** – Histograma de frequências de valores da GPP no pivô 02G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5



**Figura 4.3.10** – Histograma de frequências de valores de GPP no pivô 03G na cultura de tomate, para os selecionados, obtidos pelo satélite Landsat 5

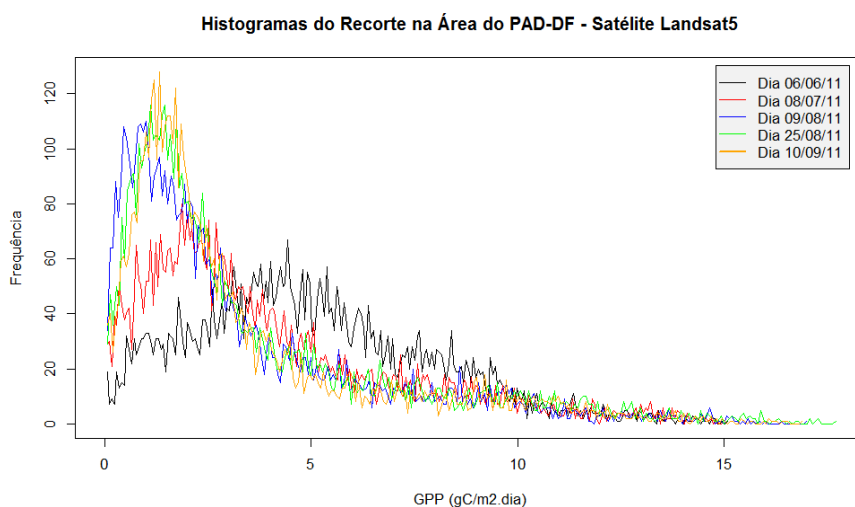
#### 4.4 – Comparação entre a GPP Landsat 5 e MOD17A2

A Figura 4.4.1.1 representa o histograma de frequências da GPP do recorte da área do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF) e regiões circunvizinhas com grande potencial agrícola. A área selecionada é referente aos

recortes anteriores, no entanto, a mesma foi reamostrada para a resolução das imagens do satélite MODIS que tem resolução espacial de 1 Km, sendo que as imagens do satélite Landsat 5 têm resolução espacial de 30 metros, e com esta resolução ficaria impossibilitado fazer qualquer comparação entre ambos os satélites. O histograma da Figura 4.4.1.1 apresenta o mesmo padrão da GPP que se verifica-se na Figura 4.3.3, com a diferença que a frequência é bem menor, pois o recorte foi reamostrado para o mesmo número de pixels do satélite MODIS.

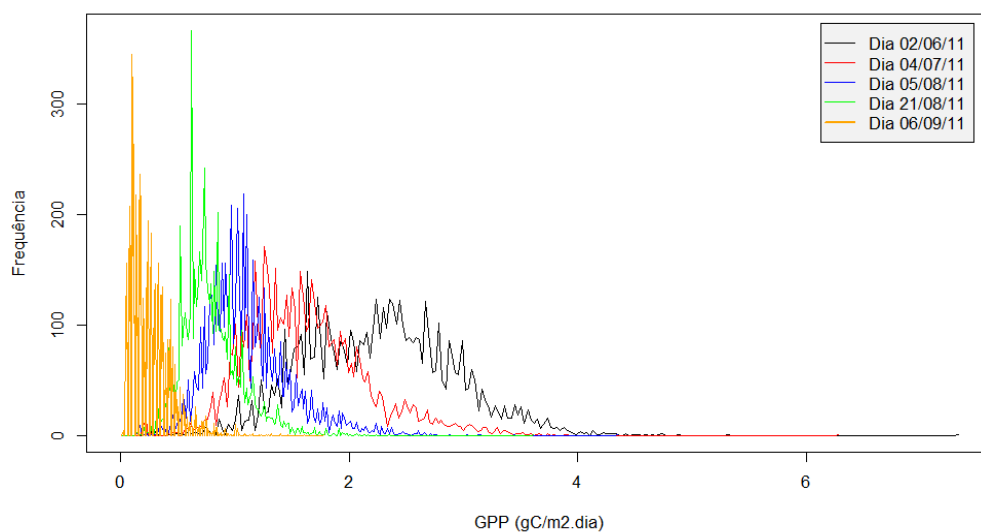
A Figura 4.4.1.1, refere-se ao mesmo recorte da Figura 4.3.3, sendo que neste caso o mesmo representa a GPP do produto MOD17A2. Este produto representa a soma GPP acumulada em intervalo de oito dias. Por essa razão foi necessário dividir o valor registrado por oito, e assim possibilitar uma comparação com a GPP obtida com imagens TM - Landsat 5, que foi computada para cada dia selecionado.

Na Figura 4.4.1.1, observa-se que a GPP computada do satélite Landsat 5, varia de 0 a 17  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , com os maiores valores de GPP observados no dia 6 de junho e tendo seus valores reduzidos gradativamente até o dia 10 de setembro. No entanto, a frequência dos valores entre 9 a 15  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  mostram-se praticamente constantes para todos os dias em questão. Na Figura 4.4.1.2, verifica-se que a GPP obtida do produto MOD17A2 varia muito pouco se comparado com a GPP do Landsat 5, variando de 0 a 7  $\text{gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  com os maiores valores de GPP também ocorrendo em 6 de junho e diminuindo até o dia 10 de setembro. Os valores de GPP obtidos pelo MODIS apresenta redução significativa e abrupta se comparada com a GPP do Landsat 5.



**Figura 4.4.1.1** – Recorte da GPP na área do PAD, obtida pelo Landsat 5.

Histogramas do Recorte na Área do PAD-DF - Satélite MODIS (MOD17A2)

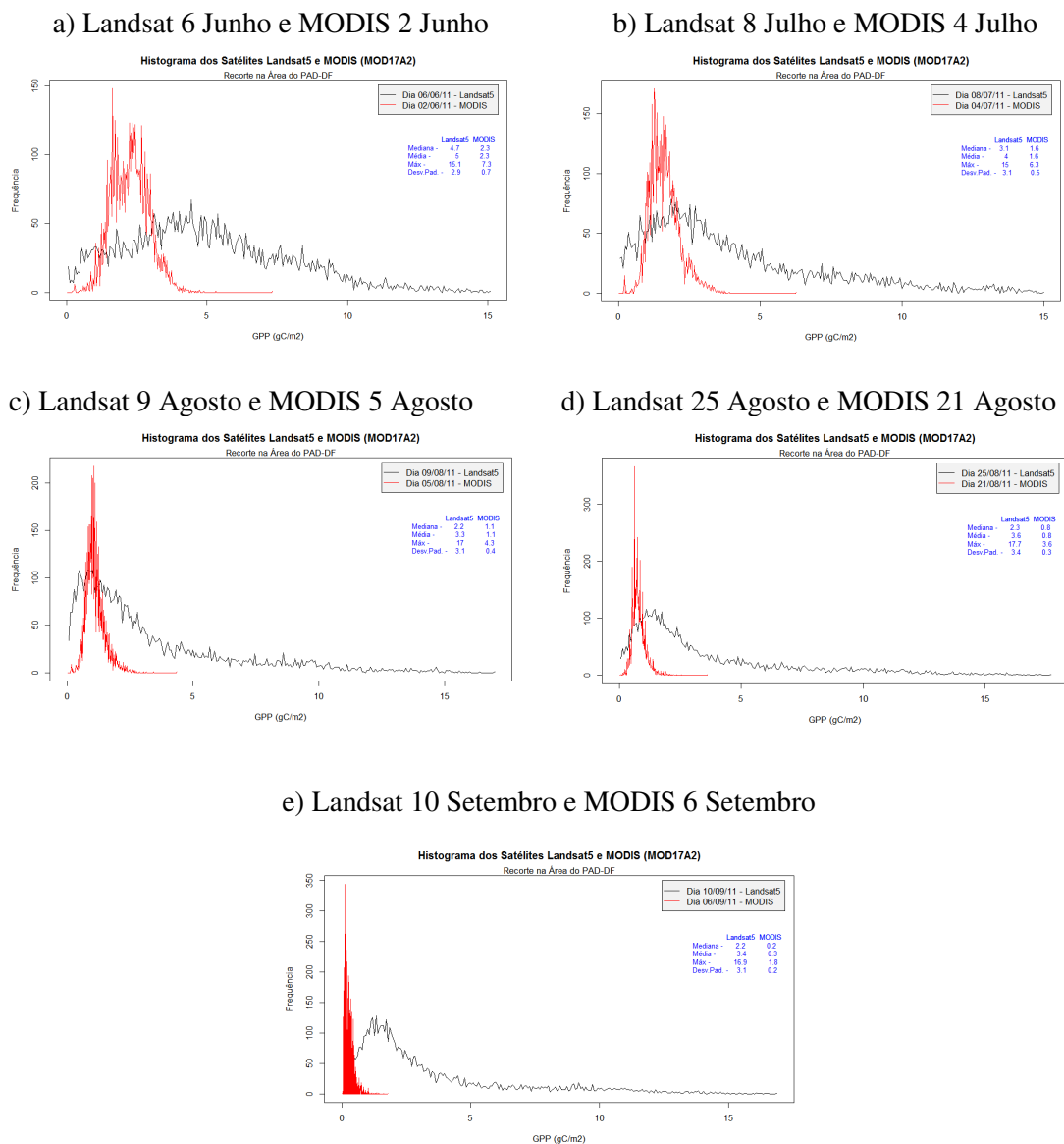


**Figura 4.4.1.2** – Recorte da GPP na área do PAD, obtida pelo MOD17A2.

Na Figura 4.4.1.3 são apresentados os histogramas de frequências relativos à GPP obtida com dados Landsat e MOD17A2, para os cinco dias selecionados para a pesquisa. Deve-se alertar para o fato das imagens do Landsat 5 se referirem a dados de um dia específico, enquanto que o dado do MOD17A2 representa a GPP acumulada em 8 dias, e que a mesma foi dividida por 8 para possibilitar as comparações. Portanto, há uma defasagem temporal entre o dia da imagem Landsat e aquela representada na mencionada na Figura 4.4.1.1.

Observa-se na Figura 4.4.1.3 (a), que a menor diferença da GPP entre os satélites é observada no dia 6 de junho (Landsat 5) e 2 de junho (MODIS), com o valor médio, máximo e desvio padrão iguais a  $5,0 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $15,1 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $2,9 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, para o Landsat 5, enquanto para o MODIS o valor médio, máximo e desvio padrão foram respectivamente iguais a  $2,3 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $7,3 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $0,7 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . A maior diferença entre as imagens dos satélites foram observados na Figura 4.4.1.3 (e) com o valor médio, máximo e desvio padrão de  $3,4 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $16,9 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $3,1 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, para o satélite Landsat 5, enquanto que para o MODIS os valores médio, máximo e desvio padrão foram de  $0,3 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ;  $1,8 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $0,2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente.



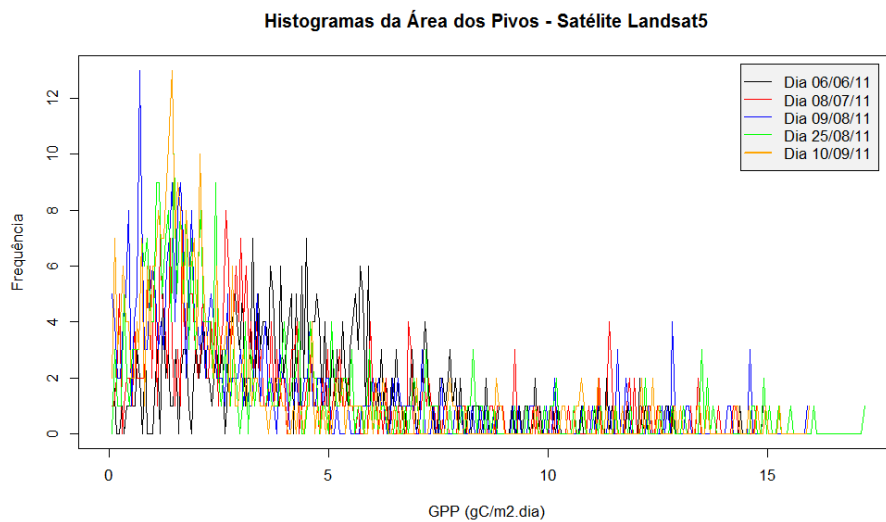


**Figura 4.4.1.3** – Recorte da GPP na área do PAD, obtida pelo Landsat 5 e pelo MOD17A2.

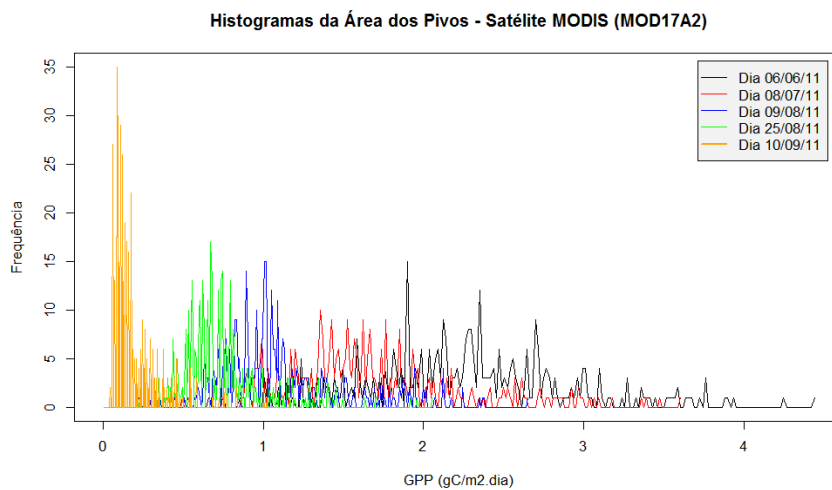
A Figura 4.4.1.4 mostra a GPP dos dias selecionados do recorte da área dos pivôs na região do PAD para o satélite Landsat 5, sendo que neste caso esta área foi reamostrada com o mesmo número de pixels da imagem do MODIS para poder realizar comparações. Pode-se observar nesta área que a GPP para todos os dias mostram um perfil da GPP praticamente semelhante, e isto decorre principalmente da influência das culturas plantadas nos pivôs, que produzem valores da GPP bem mais elevados que aqueles registrados no MOD17A2.

Na Figura 4.4.1.5, está representado o histograma de frequências do produto GPP para o satélite MODIS na área dos pivôs para os cinco dias selecionados. Pode-se

observar que há uma variação mais significativa ao longo das datas em comparação com a GPP obtida pelo Landsat; porém, os valores de GPP do MODIS são muito baixos em comparação com o Landsat 5. Isto acontece devida a uma série de fatores, dentre os quais aquele relacionado com a resolução espacial do MODIS, que impede que os altos valores de GPP presentes nos pivôs irrigados não sejam destacados nas imagens do MODIS. Deve-se destacar, ainda, que o produto MOD17A2 emprega intensamente dados meteorológicos com resolução espacial ainda mais baixa, que é da ordem de 100-110 km, o que pode comprometer a precisão das estimativas da GPP nas áreas que envolvem os pivôs.



**Figura 4.4.1.4** – Recorte da GPP na área dos pivôs selecionados no PAD, obtida pelo Landsat 5

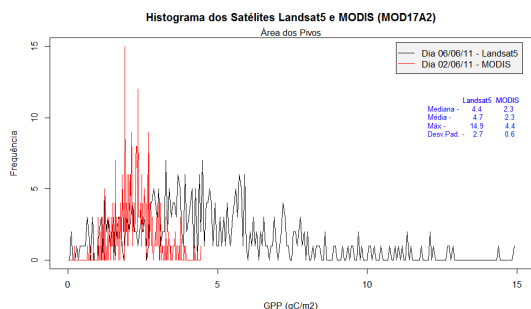


**Figura 4.4.1.5** – Recorte da GPP na área dos pivôs selecionados no PAD, obtida pelo MOD17A2.

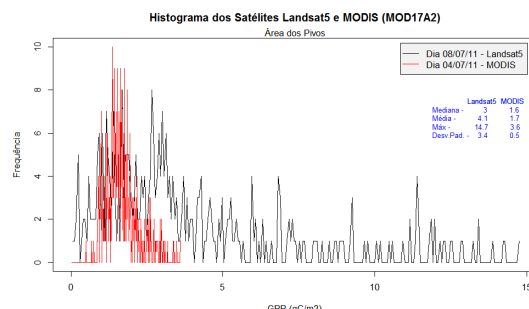
Os gráficos da Figura 4.4.1.6 referem-se às áreas dos pivôs selecionados, que possuem as mesmas características dos gráficos da Figura 4.4.1.3, mais com uma ligeira proximidade em seus valores médios, fato que pode ser atribuído ao recorte ser menor e abranger mais pivôs em sua área. De acordo com essa figura, pode ser observada que a menor diferença da GPP entre os satélites também ocorreu no dia 6 de junho (Landsat 5) e no dia 02 de junho (MODIS), com os valores médio, máximo e desvio padrão de  $4,7 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $14,9 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $2,7 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, para o Landsat 5, enquanto que para o MODIS esses valores foram iguais a  $2,3 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $4,4 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $0,6 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente. As maiores diferenças entre a GPP das imagens dos dois satélites, também foram observados na Figura 4.4.1.6 (e) com o valor médio, máximo e desvio padrão de  $3,2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $16,0 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $3,4 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente, para o satélite Landsat 5. Para o satélite MODIS os valores médio, máximo e desvio padrão foram de  $0,2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ,  $1,2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e  $0,2 \text{ gC m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente. Todas as estatísticas relativas à GPP obtidas pelos dois sensores, quais sejam, média, mediana, máximo e desvio padrão, estão representados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

Observa-se mais claramente, que a GPP Landsat 5 se mostrou sempre com valor superior àquela do produto MODIS. É interessante destacar que o desvio padrão da GPP nas imagens TM é bem superior ao associado às estimativas do MODIS, e isso pode ser explicado pelo fato da GPP TM poder captar mais nitidamente os extremos entre máximo e mínimo associados aos máximo e mínimo do IVDN, por exemplo, que são suavizados pela resolução mais grosseira do MODIS. Há mais um elemento que concorre para ampliar as diferenças entre a GPP TM e MODIS: os dados TM foram obtidos em dias com alta demanda atmosférica, ou seja, dias sem presença de nuvens na hora da passagem do Landsat por sobre as áreas de estudo e, portanto, com alta transmitância atmosférica diária. Por outro lado, nos oito dias de composição do produto MODIS, os mesmos apresentam-se mais heterogêneos quanto à cobertura de nuvens o que reduz a radiação solar e, portanto, a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela vegetação.

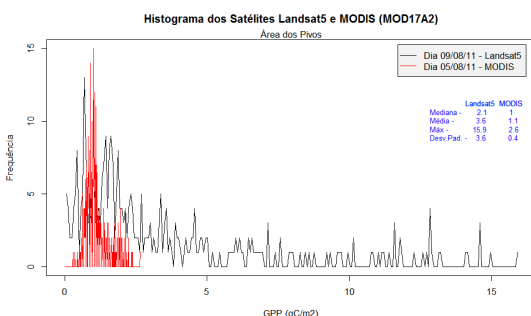
a) Landsat 6 Junho e MODIS 2 Junho



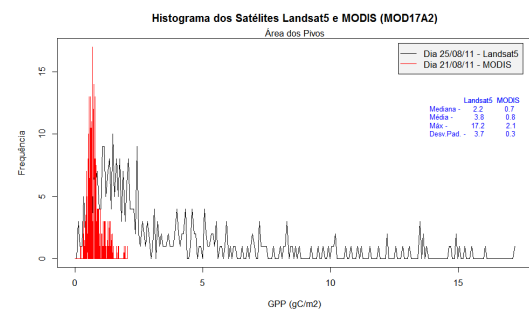
b) Landsat 8 Julho e MODIS 4 Julho



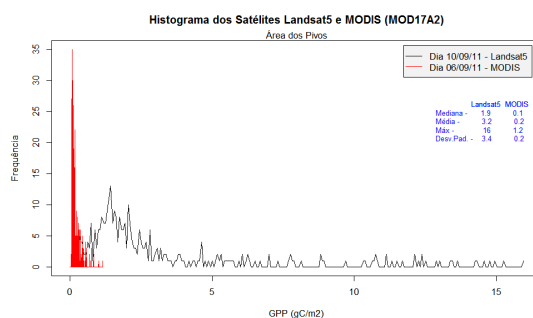
c) Landsat 9 Agosto e MODIS 5 Agosto



d) Landsat 25 Agosto e MODIS 21 Agosto



e) Landsat 10 Setembro e MODIS 6 Setembro



**Figura 4.4.1.6** –Área dos pivôs selecionados no PAD, comparação de GPP, obtida pelo Landsat 5 e pelo MOD17A2.

Observa-se, ainda, nos gráficos das Figuras 4.4.1.3 e 4.4.1.6, que os valores da GPP obtidos das estimativas do satélite Landsat, refletem melhor os dados de GPP nas áreas onde se tem muitos cultivos irrigados e, principalmente, onde se encontram presentes muitos pivôs de irrigação. Quanto ao produto MOD17A2 do MODIS não ter estimado bem a GPP nesta área se deve, como já destacado, ser um produto de satélite de baixa resolução espacial que dificulta estimar a GPP mais precisamente, principalmente nos pivôs irrigados, e também pelo fato dos dados de reanálise empregados terem baixa resolução espacial.

**Tabela 4.1** – Valores mediano, médio, máximo e desvio padrão da GPP em  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  no recorte da área do PAD-DF e regiões circunvizinhas.

<b>Landsat 5</b>	06/06/2011	08/07/2011	09/08/2011	25/08/2011	10/09/2011
Mediana	4,7	3,1	2,2	2,3	2,2
Média	5,0	4,0	3,3	3,6	3,4
Máximo	15,1	15,0	17,0	17,7	16,9
Desv.Padrão	2,9	3,1	3,1	3,4	3,1
<b>MODIS</b>	02/06/2011	04/07/2011	05/08/2011	21/08/2011	06/10/2011
Mediana	2,3	1,6	1,1	0,8	0,2
Média	2,3	1,6	1,1	0,8	0,3
Máximo	7,3	6,3	4,3	3,6	1,8
Desv.Padrão	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2

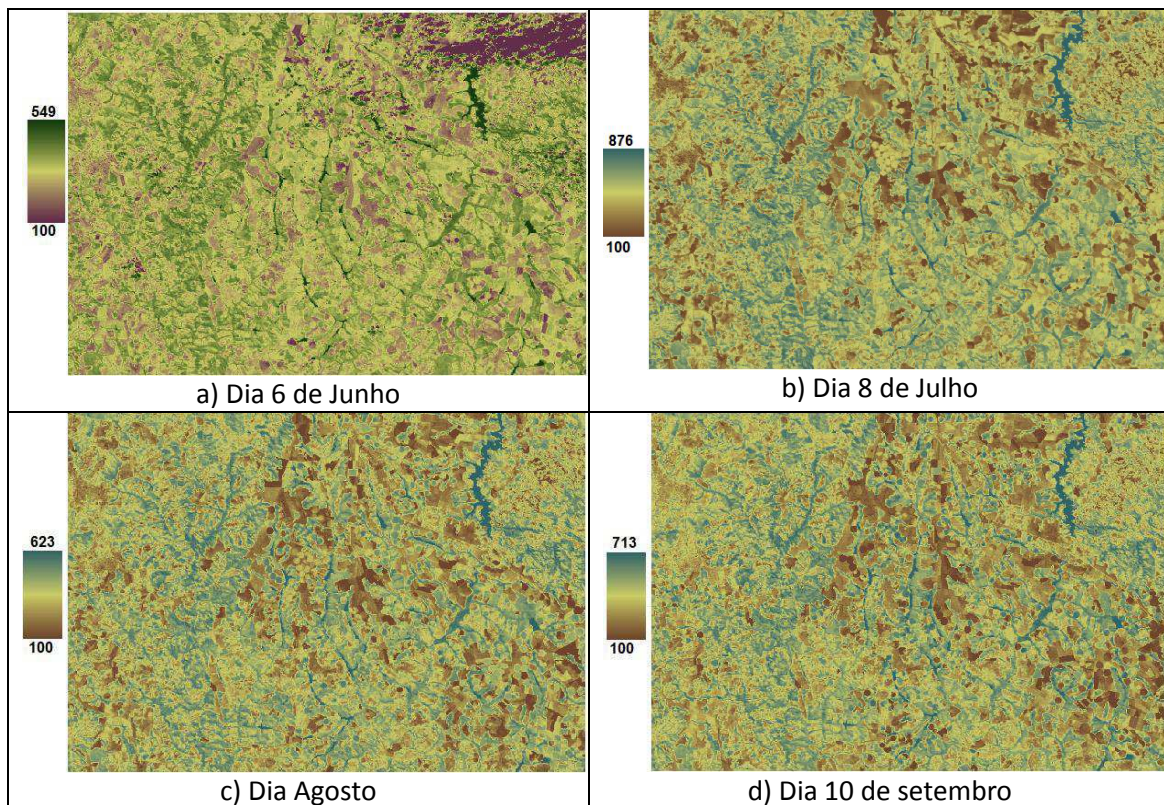
**Tabela 4.2** – Valores mediano, médio, máximo e desvio padrão da GPP em  $\text{gC m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  da área dos pivôs selecionados no PAD-DF

<b>Landsat 5</b>	06/06/2011	08/07/2011	09/08/2011	25/08/2011	10/09/2011
Mediana	4,4	3,0	2,1	2,2	1,9
Média	4,7	4,1	3,6	3,8	3,2
Máximo	14,9	14,7	15,6	17,2	16,0
Desv.Padrão	2,7	3,4	3,6	3,7	3,4
<b>MODIS</b>	02/06/2011	04/07/2011	05/08/2011	21/08/2011	06/10/2011
Mediana	2,3	1,6	1,0	0,7	0,1
Média	2,3	1,7	1,1	0,8	0,2
Máximo	4,4	3,6	2,6	2,1	1,2
Desv.Padrão	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2

Observa-se, ainda, nos gráficos das Figuras 4.4.1.3 e 4.4.1.6, que os valores da GPP obtidos das estimativas do satélite Landsat, refletem melhor os dados de GPP nas áreas onde se tem muitos cultivos irrigados e, principalmente, onde se encontram presentes muitos pivôs de irrigação. Quanto ao produto MOD17A2 do MODIS não ter estimado bem a GPP nesta área se deve, como já destacado, ser um produto de satélite de baixa resolução espacial que dificulta estimar a GPP mais precisamente, principalmente nos pivôs irrigados, e também pelo fato dos dados de reanálise empregados terem baixa resolução espacial.

#### 4.5 – Saldo de radiação nas áreas de estudo

Para finalizar as análises são apresentados os mapas temáticos do saldo de radiação –  $R_n$  ( $W\ m^{-2}$ ) (Figura 4.4.1.7) em quatro dos dias selecionados, compreendendo dias dos meses de junho, julho, agosto e setembro de 2011. Observa-se claramente que os pixels sobre cursos d'água são aqueles que apresentam os maiores valores do  $R_n$ . Nos mapas dos dias julho, agosto e setembro observa-se que grandes extensões com baixos valores do  $R_n$ .



**Figura 4.4.1.7** – Saldo de radiação instantâneo ( $W\ m^{-2}$ ) para os dias: junho, julho, agosto e setembro de 2011 na área de estudo.

## 5. CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que tanto a Fração Evaporativa – FE como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada - IVDN, acompanham os valores da Produção Primária Bruta - GPP, obtidas através das imagens obtidas do satélite Landsat 5, para os recortes que foram utilizados na área do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF) e regiões adjacentes e também na área dos pivôs selecionados nesta área do PAD, essa região tem um grande potencial agrícola que utilizam a técnica de irrigação, principalmente através de pivôs. As cinco imagens selecionadas vão de junho a setembro, período de estiagem na região do PAD, os resultados mostram que a FE, IVDN e GPP, em geral diminuí a partir de 06 de junho a 10 de setembro, no entanto, a um ligeiro aumento desses valores na imagem do dia 25 de agosto, influenciado pela presença dos pivôs de irrigação muito presente neste mês onde a precipitação pluviométrica é quase zero.

Foram selecionados seis pivôs na área do PAD, três de plantações de milho (*Zea Mays*) e três plantações de tomate (*Solanum Lycopersicum*), para o computo do IVDN e GPP, em cada um dos seus pivôs, os resultados mostraram que os valores de IVDN acompanharam os valores de GPP para ambas as áreas selecionadas, sendo que os maiores valores de GPP para os pivôs com milho plantados, ficaram entre 13 e 16  $\text{g.C.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  com seus valores máximos de 15,23; 15,45 e 13,87  $\text{g.C.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  para os pivôs 30; 38 e 40, respectivamente, enquanto que para os três pivôs com plantação de tomate os maiores valores ficaram entre 14 e 16  $\text{g.C.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  com seus valores máximos de 14,40; 15,12 e 15,42  $\text{g.C.m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  para os pivôs 06; 02G e 03G, respectivamente, os valores mais altos de GPP para a maior parte desses pivôs foram obtidos na imagem do dia 10 de setembro, próximo ao período de colheita dessas culturas, situação ocorrida bem diferente dos recortes feitos na área da região onde encontra-se estes pivôs, e onde tem-se também a presença de cerrado natural, rios, edificações, etc., onde não sofrem a influência direta da técnica de irrigação, realizada neste período seco.

As imagens do satélite Landsat 5, utilizadas no computo da GPP foram comparadas com as imagens do produto MOD17A do satélite MODIS, como a resolução do MODIS é muito baixa, foi necessário reamostrar o número de pixels do Landsat para a mesma quantidade de pixels contidos MODIS, para fazer as análises nos recortes selecionados. Observa-se a GPP computada do satélite Landsat 5, variam de 0 a

17 g.C.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>, enquanto que a GPP obtida do produto MOD17A2 do satélite MODIS, varia muito pouco se compararmos com a GPP do Landsat 5, variando de 0 a 7 g.C.m<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> com os maiores valores de GPP, com a diferença que no MODIS a redução é bem mais significativa e mais abrupta se compararmos com a GPP do Landsat 5.

Comparando os cinco dias obtidos das imagens do Landsat com os cinco dias obtidos produto do MODIS, conclui-se que os valores da GPP obtidos das estimativas do satélite Landsat, refletem melhor os dados de GPP nas áreas onde se tem muitos cultivos irrigados e, principalmente, região onde se encontram presentes muitos pivôs de irrigação. Quanto ao GPP obtido do produto MOD17A2 do MODIS não estimar bem a GPP nesta área isso se deve principalmente pela baixa resolução espacial que dificulta estimar a GPP, principalmente nos pivôs irrigados, por este produto utilizar dados meteorológicos de reanalise em seus parâmetros de estrada e pelo valor atribuído à eficiência de luz para estimar a GPP.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R. G.; Randow, C. V.; Priante Filho, N.; Manzi, A. O.; Aguiar, L. J. G.; Cardoso, F. L. Fluxos de massa e energia em uma floresta tropical no sudoeste da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, p.248-257, 2006.
- Allen, R.G. Assessing Integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.122, n.2, p.97-106, 1996.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes; D.; Smith, M. Crop Evapotranspiration Guidelines for computing crop water requirements- FAO Irrigation and drainage paper 56. Rome-Italy, 1998.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.
- Allen, R.; Tasumi, M.; Trezza, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v.133, n.4, p.380-394, 2007.
- Anatoly A. Gitelson, Yi Peng, Jeffery G. Masek, Donald C. Rundquist, Shashi Verma, Andrew Suyker, John M. Baker, Jerry L. Hatfield, Tilden Meyers. Remote estimation of crop gross primary production with Landsat 5 data. *Remote Sensing of Environment*, v.121, n.404–414, 2012.
- ANA. 2007. GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional das Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente: Brasília, 2007. 60p.
- Anderson, L. O.; Latorre, M. L.; Shimabukuro, Y. E.; Arai, E.; Carvalho Junior, O. A. Sensor MODIS: Uma abordagem geral. Instituto Nacional de Meteorologia-INPE. São José dos Campos-SP, 2003.
- Aragão, L; Shimabukuro, Y ; Espirito Santo, F ; Williams, M . Landscape pattern and spatial variability of leaf area index in Eastern Amazônia. *Forest Ecology and Management*, v. 211, p. 240-256, 2005.

- Baldocchi, D. Assessing the eddy covariance technique for evaluating carbon dioxide exchange rates of ecosystems: past, present and future. *Global Change Biology*, v.9, p.479-492, 2003.
- Bastiaanssen, W.G.M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain. Ph.D. Thesis. Wageningen Agricultural University, Wageningen, the Netherlands, p. 273, 1995.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Menenti, M.; Feddes, R. A.; Holtslag, A. A. M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation. *Journal of Hydrology*, v. 212-213, p. 198-212. 1998a.
- Bastiaanssen, W.G.M. 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. M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 94, p.321-340, 2003.
- Beer, C.; Reichstein, M.; Tomelleri, E. et al. Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. *Science*, v.329, 834-838, 2010.
- Bezerra, B. G.; Silva, B. B.; Ferreira, N. J. Balanço de Energia e Evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de coberturas de solo no Cariri Cearense através do algoritmo SEBAL. *Dissertação de Mestrado*, p. 28-30, Campina Grande, 2006.
- Bezerra, B. G.; Silva, B. B. da; Cortez, J. R. G.; Brandão, Z. N. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.25, p.404-414, 2010.
- Braga, C. C.; Soares, F. R.; Dantas, F. R. C.; Barbieri, P. F. L. Determinação do albedo e índice de área foliar usando o sensor TM/LandSat 5. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 2009, p. 935-942.
- Brutsaert, W. *Evaporation into the Atmosphere*. D. Reidel. 229 p., 1982.
- Cabral, O. M. R.; Gash, J. H. C.; Rocha, H. R.; Marsden, C.; Ligo, M. A. V.; Freitas, H. C.; Tatch, J. D.; Gomes, E. Fluxes of CO<sub>2</sub> above a plantation of Eucalyptus in southeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.151, p.49-59, 2011.

- Chander, G.; Markham, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.41, n.11, 2003.
- Chapin, III, F. S., M. E. Power, S. T. A. Pickett, A. Freitag, J. A. Reynolds, R. B. Jackson, D. M. Lodge, C. Duke, S. L. Collins, A. G. Power, and A. Bartuska. 2011. Earth Stewardship: science for action to sustain the human-earth system. *Ecosphere* 2(8):art89. doi:10.1890/ES11-00166.1.
- CLIMANÁLISE: Boletim de Monitoramento e Análise Climática – INPE/CPTEC. Número especial. CPTEC-INPE, 125p., 1986.
- COOPA/DF. Cooperativa Agropecuária da Região do Distrito Federal Ltda. Levantamento da Produção Agrícola em áreas irrigadas e de sequeiro no PAD/DF, 2012.
- Colle, S.; Pereira, E. B. Atlas de irradiação solar do Brasil. 1 ed. Brasília: INMET/LABSOLAR, DF, 1998. 58 p.
- Costa Filho, J. F.; Silva, B. B.; Azevedo, P. V. Componentes do Balanço de energia estimado pelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) e medidos em campo. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2008.
- Dantas, F. R. C.; Braga, C. C.; Souza, E. P.; Silva, S. T. A. Determinação do albedo da superfície a partir de dados AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT-5. *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol. 25, nº 01. São Paulo, 2010.
- Devendra Singh. Generation and evaluation of gross primary productivity using Landsat data through blending with MODIS data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v.13, p.59–69, 2011.
- Falge, E.; Baldocchi, D.; Tenhunen, J.; Aubinet, M. et al. Seasonality of ecosystem respiration and gross primary production as derived from FLUXNET measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.113, n.1–4, p.53-74. 2002.
- Feitosa, J. R. P.; Costa Filho, J. F.; Silva, B. B. Avaliação de índices de vegetação em áreas irrigadas do sub-médio São Francisco Petrolina-PE, a partir de imagens do satélite Landsat TM-5. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2004, Fortaleza. XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia. São José dos Campos: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004. v. 1. p. 111-113.

- Feitosa, J. R. P. Uso de Técnica de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat TM e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de radiação a superfície. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, 2005.
- Field, C. B., Randerson, J. D., Malmstron, C. M. Global Net Primary Production: Combining Ecology and Remote Sensing. *Remote Sensing Environmental*, v.51, p.74-88, 1995.
- Gallon, M. M. P.; Sanches, L. e Paulo, S. R. de. Fluxo e perfil de dióxido de carbono no dossel uma floresta tropical de transição amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n. 3b, p. 79-88, 2006.
- Garrison, J. D.; Adler, G. P. Estimation of precipitable water over the United State for application to the division of solar radiation into its direct and difuse coponents. *Solar Energy*, v.44, n.4, p.225-241, 1990.
- Gebremichael Mekonnen, Ana P. Barros. Evaluation of MODIS Gross Primary Productivity (GPP) in tropical monsoon regions. *Remote Sensing of Environment*, v.100, p150-166, 2006.
- Ghesti, Luiz Vicente. Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal-PAD/DF. Uma realidade que superou o sonho. Brasília, 2009.
- Gitelson, A.A., Vin, a, A., Verma, S.B., Rundquist, D.C., Arkebauer, T.J., Keydan, G., Leavitt, B., Ciganda, V., Burba, G.G., Suyker, A.E., 2006. Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: Implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity, *Journal of Geophysical*, 2006.
- Gitelson, A. A.; Viña, A.; Masek, J. G.; Verma, S. B.; Suyker, A.E. Synoptic Monitoring of Gross Primary Productivity of Maize Using Landsat Data. *IEEE Geosciences and Remote Sensing Letters*, v.5, n.2, p.133-137, 2008.
- Goiás Verde Alimentos LTDA. Informações Institucionais. <http://goiasverde.com.br/institucional.php>, 2012.
- Gorissen, A. Elevated CO<sub>2</sub> evokes quantitative changes in carbon dynamics in a plant/soil system: Mechanismos and implications. *Plant and Soil*, v.187, p.289-298,1996.
- Hilker, T.; Coops, N. C.; Wulder, M. A.; Black, T. A.; Guy, R. D. The use of remote sensing in light use efficiency based models of gross primary production: A review

- of current status and future requirements. *Science of the Total Environment*, v.404, p.411- 423 2008.
- Huete, A. R., A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing Environment*, v.25, p.295-309,1988.
- Hunt JR. E. R.; Kelly, R. D.; Smith, W.K.; Fahnestock. J. T.; Welker, J. M.; REINERS, W. A. Estimation of Carbon Sequestration by Combining Remote Sensing and Net Ecosystem Exchange Data for Northern Mixed-Grass Prairie and Sagebrush–Steppe Ecosystems. *Environmental Management*, v.33, Supplement 1, p. 432-441, 2004.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil*, 3 edição, vol. 03, 1991. ISBN 85-240-0276.
- Iqbal, M. *An Introduction to solar radiation*. Academic Press, NY, 1983.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>, 2011.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. <http://www.dgi.inpe.br/CDSR> , 2011.
- Jones, A. J.; Lau, R.; Huggins, D. R. Soil Erosion and productivity research: a regional approach. *American Journal of Alternative Agriculture*, n.12, p.185-90, 1997.
- 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.3-15,2002a.
- Kalfas, J. L.; Xiao, X.; Vanegas, D. X.; Verma, S. B; Suyker, A. E. Modeling Gross primary production of irrigated and rain-fed maize using MODIS imagery and CO<sub>2</sub> flux tower data. *Agriculture and Forest Meteorology*, n.151, p.1514-1528, 2011.
- Kirschbaum, M. U. F.; Keith, H.; Leuning, R.; Cleugh, H. A.; Jacobsen, K. L.; van Gorsel, E.; Raison, R. J. Modeling net ecosystem carbon and water exchange of a temperate Eucalyptus delegatensis forest using multiple constraints. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.145, p.48–68, 2007.
- Lefsky, M. A.; Turner, D. P.; Guzy, M.; Cohen, W. B. Combining lidar estimates of aboveground biomass and Landsat estimates of stand age for spatially extensive

- validation of modeled forest productivity. *Remote Sensing of Environment*, v.95, p.549-558, 2005.
- Li, Z., Yu, G., Xiao, X., Li, Y., Zhao, X., Ren, C., Zhang, L., FU, Y. Modeling gross primary production of alpine ecosystems in the Tibetan Plateau using MODIS images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, v.107, p.510-519, 2007.
- Martins, E.S.; Reatto, A.; de Carvalho Jr.; O.A. & Guimarães, R.F. Evolução geomorfológica do Distrito Federal. *Embrapa Cerrados*, n. 122, p. 1-57, 2004.
- Markham, B. L. & Barker, J. L. Thematic Mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v.8, n.3, p. 517-523, 1987.
- Monteith, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*, n.9, p.744-766, 1972.
- Moreira, M. A. Fundamentos de Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 2ª edição. Viçosa: Ed. Viçosa, 2003
- Moreira, L. C. J. ; Teixeira, A.S. dos. ; Andrade, E. M. ; Bezerra, F. M. L. ; Silva, B. B. da. Evapotranspiração da melancia irrigada por meio do SEBAL, balanço hídrico e correlações turbulentas. In: IX congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería agrícola/XXXIX congresso brasileiro de engenharia agrícola, 2010, Vitória. IX CLIA/XXXIX CONBEA. Jaboticabal: SBEA, 2010. v. 1. p. 1-4.
- NASA. MODISweb. <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd.mod17> , 2002.
- Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990/Organizadores: Andrea Malheiros Ramos, Luiz André Rodrigues dos Santos, Lauro Tadeu Guimarães Fontes. Brasília, DF: INMET, 2009.
- Oliveira, M. B. L.; Santos, A. J. B.; Manzi, A. O.; Alvalá, R. C. S.; Correia, M. F.; MOURA, M. S. B. Trocas de energia e fluxo de carbono entre a vegetação de Caatinga e atmosfera no Nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.21, n.3b, p. 378-386, 2006.
- Paulson, C. A. The mathematical representation of Wind speed and temperature profiles in the unstable atmospheric surface layer. *Journal Application Meteorology*, v.9 p. 857-861, 1970.

- Pereira, L. O., Cardozo, F. S., Moura, Y. M., Fonseca, L. M. G., Pereira, G., Silva, F. B. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba-PR, p. 7620, 2011.
- Pires, R. C. M.; Arruda, F. B.; Sakai, E.; Calheiros, R. O.; Brunini, O. Agricultura Irrigada. Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária, p. 1-14, 2008.
- Running, S. W.; Nemani, R. R.; Heinsch, F. A.; Zhao, M. S.; Reeves, M.; Hashimoto, H. A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. Bioscience, v.54, n.6, p. 547–560, 2004.
- Santos, S. N. M.; Costa, M. H. Simulações de fluxo de carbono em um ecossistema de floresta tropical. Revista Brasileira de Meteorologia, v.18, n.1, p.87-96, 2003.
- Sellers, P. J.; Dickinson, R. E.; Randall, D. A.; Betts, A. K.; Hall, F. G.; Berry, J. A.; Collatz, G. J.; Denning, A. S.; Mooney, H. A., Nobre, C. A.; Sato, N.; Field, C. B.; Henderson-Sellers, A. Modeling the exchanges of energy, water, and carbon between continents and the atmosphere. Science, v.275, n.24, p. 502-509, 1997.
- Shuttleworth, W. J.; Gurney, R. J.; Hsu, A. Y. & Ormsby, J. P. Fife: the variation in energy partition at surface flux sites. IAHS Publ. No. 186, 1989.
- Silva, B. B, Bezerra, M. V. C. Determinação da evapotranspiração em escala regional através do SEBAL e imagens Landsat 5 – TM. Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE, 2004.
- Silva, B. B. da; Lopes, Gláucia Miranda; Azevedo, Pedro Vieira de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 - TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.
- Silva, B. B.; Lopes, G. M.; Azevedo, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LandSat 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.13,n. 2, p.11– 21, 2005.
- Silva, B. B.; Mendonça, R. R. O.; Silva, Saulo Tasso Araújo da; Ferreira, R. C. Mapeamento do albedo de áreas heterogêneas do Estado da Ceará com imagens TM - Landsat 5. Revista de Geografia, v.25, p.33-52, 2008.
- Silva, B. B., Balanço de Radiação no Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB, Mediante Imagens Orbitais. Revista Caatinga, v.24, n.3, p.145-152, 2011.

- Silva, B. B.; Galvínicio, J. D.; Montenegro, S. M. G. L.; Machado, C. C. C.; Oliveira, L. M. M.; Moura, M. S. B. Determinação por sensoriamento remoto da produtividade primária bruta do perímetro irrigado São Gonçalo – PB. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.28, n. 1, 307-314, 2013.
- Silva, Fabrício Brito. *Modelagem da Produtividade Primária Bruta na Amazônia*. 131 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos-SP, 2013.
- Sims, D. A.; Rahman, A. F.; Cordova, V. D.; El-Masri, B. Z.; Baldocchi, D. D. et al. A new model of gross primary productivity for North American ecosystems based solely on the enhanced vegetation index and land surface temperature from MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v.112, n.4, p.1633-1646, 2008.
- Singh, D. Generation and evaluation of gross primary productivity using Landsat data through blending with MODIS data. *International Journal of Earth Observation and Geoinformation*, 13 (1), 59-69, 2011.
- Testezlaf, R; Matura, EE; Cardoso, JR 2002. Importância da irrigação no desenvolvimento do agronegócio. CSEI/ABIMAQ FEAGRI, UNICAMP. Campinas, 2002. 41p.
- Trezza, R. Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control. 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in biological and agricultural engineering).Utah State University. Logan. Utah. 2002.
- Turner P. David, William D. Ritts, Warren B. Cohen, Stith T. Gower, Steve W. Running, Maosheng Zhao, Marcos H. Costa, Al A. Kirschbaum, Jay M. Ham, Scott R. Saleska, Douglas E. Evaluation of MODIS NPP and GPP products across multiple biomes. *Remote Sensing of Environment* v.102, p.282–292, 2006.
- Turner, D. P.; Ritts, W. D.; Zhao, M. S.; Kurc, S. A.; Dunn, A. L.; Wofsy, S. C., et al. Assessing interannual variation in MODIS-based estimates of gross primary production. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, v.44, p.1899-1907, 2006.
- UNICAMP. Instituto de Geociências. <http://webensino.unicamp.br> , 2011.
- Webb, E. K. Profile relationships: The log-linear range, and extension to strong stability, *Quart. Journal Royal Meteorology Society*, v.96, p.67-90, 1970.



- Wu, C.; Niu, Z.; Tang, Q.; Huang, W.; Rivard, B.; Feng, J. Remote estimation of gross primary production in wheat using chlorophyll-related vegetation indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.149, p.1015–1021, 2009.
- Xiao, X. M.; Zhang, Q. Y.; Braswell, B.; Urbanski, S.; Boles, S.; Wofsy, S.; Moore, B.; Ojima, D. Modeling gross primary production of temperate deciduous broadleaf forest using satellite images and climate data. *Remote Sensing of Environment*, v.91, n.2, p.256-270, 2004.
- Xiao, J, Qianlai Zhuang, Beverly E. Law, Jiquan Chen, Dennis D. Baldocchi, David R. Cook, Ram Oren, Andrew D. Richardson, Sonia Wharton, Siyan Ma, Timothy A. Martin, Shashi B. Verma, Andrew E. Suyker, Russell L. Scott, Russell K. Monson, Marcy Litvak, David Y. Hollinger, Ge Sun, Kenneth J. Davis, Paul V. Bolstad, Sean P. Burns, Peter S. Curtis, Bert G. Drake, Matthias Falk, Marc L. Fischer, David R. Foster, Lianhong Gu, Julian L. Hadley, Gabriel G. Katul, Roser Matamala, Steve McNulty, Tilden P. Meyers, J. William Munger, Asko Noormets, Walter C. Oechel, Kyaw Tha Paw U, Hans Peter Schmid, Gregory Starr, Margaret S. Torn, Steven C. Wofsy. A continuous measure of gross primary production for the conterminous United States derived from MODIS and AmeriFlux data. *Remote Sensing of Environment*, n.114, p.576–591, 2010.
- Zhao, M.; Heinsch, F. A.; Nemani, R. R.; Running, S. W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote Sensing of Environment*, v.95, p.164–176, 2005.