



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E BIOMASSA DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM SISTEMA  
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO VIA SENSORIAMENTO REMOTO EM  
URUÇUÍ - PI**

**DOUGLAS VIEIRA MARQUES**

**AREIA - PB**  
**JANEIRO DE 2017**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA RURAL**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E BIOMASSA DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM SISTEMA  
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO VIA SENSORIAMENTO REMOTO EM  
URUÇUÍ - PI**

**Douglas Vieira Marques**

**Orientando**

**Prof. Dr<sup>a</sup>. Valéria Peixoto Borges**

**Orientadora**

**Areia PB**

**Janeiro de 2017**

**DOUGLAS VIEIRA MARQUES**

**EVAPOTRANSPIRAÇÃO E BIOMASSA DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM SISTEMA  
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO VIA SENSORIAMENTO REMOTO EM  
URUÇUÍ - PI**

Trabalho de Graduação apresentado à  
Coordenação do Curso de Agronomia da  
Universidade Federal da Paraíba Centro de  
Ciências Agrárias, em cumprimento às  
exigências para a obtenção do título de  
Engenheiro Agrônomo.

**ORIENTADORA: Prof. Dr<sup>a</sup>. Valéria Peixoto Borges**

**AREIA – PB**

**JANEIRO DE 2017**

DOUGLAS VIEIRA MARQUES

EVAPOTRANSPIRAÇÃO E BIOMASSA DE CULTURAS AGRÍCOLAS EM SISTEMA  
CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO VIA SENSORIAMENTO REMOTO EM  
URUÇUÍ - PI

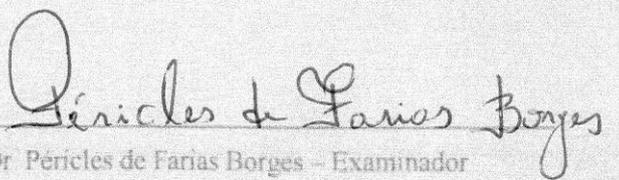
MONOGRAFIA APROVADA EM: 29/01/2017

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Dra. Valéria Peixoto Borges - Orientador

DSER/CCA/UFPB



Prof. Dr. Péricles de Farias Borges - Examinador

DCFS/CCA/UFPB



Prof. Dr. Robson Sousa Nascimento - Examinador

DSER/CCA/UFPB

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais.*

*Ercisa Vieira Marques e David Marques Neto.*

*Que, mesmo com muita dificuldade,*

*não mediram esforços*

*para que eu chegasse*

*até esta etapa de minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que através de maneiras inexplicáveis chamada Fé sempre me manteve firme e forte nessa jornada longe de casa e que me fez conhecer pessoas especiais que jamais pensei em conhecer, além de sabedoria para contornar todas as dificuldades.

Em especial toda minha família, Maria Alice (Filha), Eroisa (Mãe), David (Pai), Emanuelle (Irmã), Barbara (Irmã), Antônia Mimososa (Tia avó), Eronides (avô). Enfim a todos que ajudaram, aconselharam me fortaleceram, mostrando o caminho correto para se tornar uma pessoa de bem de modo que se fosse descrever toda minha gratidão pela minha família o TCC ficaria em segundo plano. Infelizmente algumas pessoas muito especiais para mim não estarão presentes para verem meu sucesso e que consegui terminar um curso de graduação em uma Universidade Federal, demonstrando o grande sucesso em suas maneiras de educar ao meu avô Clovis e bisavó Antonina, mais sei que eles de algum lugar, estão muito orgulhosos e felizes.

Aos meus companheiros que a tempos estão comigo nessa empreitada, amigos de longas datas. Diz um ditado que os verdadeiros amigos são aquelas amizades que perduram por mais de 8 anos, ou seja, uma espécie de estagio até atingir tal data. Caíque Palacio, Normand Vieira, e mais recentemente quase atingindo 8 anos de amizade Rielder, que sempre estiveram comigo nas mais emocionantes aventuras.

Aos amigos de turma de classe que conheci em Areia - PB por todas as horas divertidas que passamos juntos, apesar de muitas discussões quando estávamos estudando: João Italo, André Spinosa, Mateus Costa. Ao apoio prestado por Kilmer de Oliveira e Jhonathan Feitosa de quando cheguei na universidade. Aos amigos mais recentes que conheci do castelinho 2, Arhur, Leandro, Tassio.

A Angelita Lima que entrou na minha vida e fez profundas mudanças e que me suportou em momentos delicados e que me apoiou, sempre esteve ao meu lado, não desistiu de mim mesmo eu merecendo.

Ao professor Péricles de Farias Borges que acreditou em mim quando ainda fera e me levou para trabalhar em seu laboratório, me deu o encaminhamento, o pontapé inicial na vida acadêmica científica.

A minha orientadora Valeria Peixoto Borges, por todos os conselhos e até os puxões de orelha, que me fizeram ter um olhar especial na ciência me mostrando o caminho para se tornar um bom pesquisador, pela excelente profissional que é, nunca deixando um orientado desorientado e hoje a considero como uma mãe no mundo da ciência.

## SUMÁRIO

Lista de Figuras .....	i
Lista de Tabelas .....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT .....	iv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1. Geral .....	3
2.2. Especifico.....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1. Satélite Landsat 8.....	4
3.2. Agricultura e Aquecimento Global .....	5
3.3. Produção Primária Líquida e Sequestro de Carbono .....	6
3.4. Determinação da Evapotranspiração .....	7
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	8
4.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo: .....	8
4.2. Imagens de Satélite .....	9
4.3. Dados Meteorológicos.....	9
4.4. Cálculo do $K_{cb}$ da Evapotranspiração das Culturas .....	10
4.5. Determinação da Produção Primária Líquida (Biomassa) das Culturas.....	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	12
5.1. Condições Meteorológicas Observadas.....	12
5.2. Análise da Cobertura Vegetal com o NDVI .....	13
5.3. Coeficientes de Cultivo e Evapotranspiração das Culturas.....	18
5.4. Produção Primária Líquida das Culturas Agrícolas.....	22
5.5. Produtividade .....	29
6. CONCLUSÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31



## Lista de Figuras

- Figura 1:** Localização dos cultivos de soja (convencional e direto), milho, pastagem e eucalipto no município de Uruçui-PI. .... 9
- Figura 2:** Valores acumulados mensais de Precipitação (P) e evapotranspiração de referencia ( $ET_0$ ), no período compreendido entre maio e outubro de 2013 do município de Uruçui- PI..... 13
- Figura 3:** Valores de temperatura média e diária, no período compreendido entre maio e outubro de 2013 do município de Uruçui- PI. .... 13
- Figura 4:** Mapas do NDVI do município de Uruçui-PI, no período compreendido entre maio e outubro de 2013..... 14
- Figura 5:** Mapas do  $K_{cb}$  do município de Uruçui-PI, no período compreendido entre maio e outubro de 2013. .... 19
- Figura 6:** Mapa temático de produtividade primária líquida (PPL,  $gC\ m^{-2}$ ) das culturas de milho, soja (convencional e direto), pastagem e eucalipto. .... 25

## Lista de Tabelas

<b>Tabela 1:</b> Descrição do sistema de plantio e localização dos cultivos. ....	8
<b>Tabela 2:</b> Valores utilizados para correção da eficiência de uso de luz para temperatura e umidade, em que; Tot, Tmax e Tmin são respectivamente as temperaturas ótima, máxima e mínima para o desenvolvimento da cultura (INMET, 2009). ....	11
<b>Tabela 3:</b> Valores máximo (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de NDVI para a cultura da soja em sistema de plantio convencional e direto, milho, eucalipto e pastagem no município de Uruçuí/PI, ano 2013. ....	17
<b>Tabela 4:</b> Valores máximos (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de $K_{cb}$ para áreas cultivadas com milho, eucalipto, soja e pastagem, no município de Uruçuí/PI, ano 2013. ....	20
<b>Tabela 5:</b> Comparação entre os valores médios de $K_{cb}$ obtido através do NDVI em relação ao indicado pela FAO para áreas cultivadas com milho, soja e pastagem, no município de Uruçuí/PI, ano 2013. ....	20
<b>Tabela 6:</b> Valores médios de evapotranspiração (ET) para áreas cultivadas com milho, eucalipto, soja e pastagem, no município de Uruçuí/PI, ano 2013. ....	21
<b>Tabela 7:</b> Valores máximo, (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de eficiência de uso de luz para as culturas de soja em sistema de plantio convencional e direto, milho, pastagem e eucalipto. ....	27
<b>Tabela 8:</b> Valores máximo, (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de produção primária líquida (PPL, $kg\ ha^{-1}$ ) para a cultura da soja em sistema de plantio convencional e direto, milho, pastagem e eucalipto. ....	28
<b>Tabela 9:</b> Produtividades média estimada com NDVI em $Kg/há$ para as culturas de milho, soja em sistema de plantio direto e convencional no município de Uruçuí-PI.....	30

MARQUES, Douglas Vieira. **Evapotranspiração e biomassa de culturas agrícolas em sistema de plantio convencional e plantio direto via sensoriamento remoto em Uruçuí-PI.** Areia – PB, 2016. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal da Paraíba.

## RESUMO

O sensoriamento remoto surgiu para contribuir de forma conjunta com várias outras ciências. A agronomia está inserida entre as que mais se beneficiaram, permitindo o rompimento da barreira física, ou seja, realizar trabalhos sem necessariamente estar no local, através de análises de imagens de satélite. No presente trabalho buscou-se determinar por meio de sensoriamento remoto, a Produção Primária Líquida (PPL) e o uso de água em áreas cultivadas com soja (em sistema de plantios direto e convencional), milho, eucalipto e de pastagem no município de Uruçuí- Piauí, na safra 2012/2013. Foram utilizadas imagens OLI-Landsat 8 da órbita e ponto 220/66, obtidas em condição de céu claro, ou seja, livres de nuvens sobre a área de interesse. As imagens são de maio a outubro de 2013. A partir das cenas Landsat obteve-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), posteriormente determinar os coeficientes basais de cultivo –  $K_{cb}$ . Dados meteorológicos da estação local do INMET foram aplicados para caracterização das condições meteorológicas e obtenção da evapotranspiração de referência. Juntamente com as imagens de NDVI e dados da temperatura do ar foram determinadas a eficiência do uso de luz ( $\epsilon$ ) e a PPL. Os valores máximos de NDVI e  $K_{cb}$  encontrados nas áreas de milho e soja tiveram seu pico no mês de maio e regrediram posteriormente após a senescência, já o eucalipto apresentou os menores valores no mês de setembro. A área de pastagem permaneceu com cobertura vegetal durante todo o período avaliado, com isso não ocorreu redução acentuada no NDVI e no  $K_{cb}$ . Para todas as culturas, o  $K_{cb}$  encontrado foi próximo ao reportado pelo Manual FAO 56. Os maiores valores de eficiência do uso de luz e PPL para pastagem e eucalipto foram encontrados no final do período chuvoso da região na data 19 de maio de 2013 e os menores valores no mês de setembro, compreendendo o período de estiagem. A soja em sistema de plantio direto apresentou uma maior produção de fitomassa ( $211 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) em relação ao sistema de plantio convencional ( $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ), contudo na eficiência do uso de luz as culturas apresentam praticamente os mesmos valores. O milho dentre as culturas estudadas apresentou maior eficiência do uso de luz,  $3,83 \text{ g. MJ}^{-1}$  e, conseqüentemente, maior produção de fitomassa,  $322,74 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ . Os valores estimados de produtividade para o milho, soja sistema de plantio convencional e direto foram,  $3.133 \text{ kg. ha}^{-1}$ ,  $1.303,57 \text{ kg. ha}^{-1}$  e  $1.714 \text{ kg. ha}^{-1}$  respectivamente, com boa concordância para o cultivo da soja, em comparação à produtividade real. Pode-se concluir que o sensoriamento remoto permite monitorar a produtividade e perda de água das culturas com uma boa precisão.

**Palavras chaves:**  $K_{cb}$ , fitomassa, NDVI, produtividade agrícola.

MARQUES, Douglas Vieira. **Determination of evapotranspiration and crop biomass crops in conventional and no-tillage systems with remote sensing in Uruçuí-PI.** Areia – PB, 2015. 48p. Final Paper of Course Completion. (Graduation in Agronomy Engineering) –Federal University of Paraíba.

#### ABSTRACT

Remote sensing contributes with several other sciences. Agronomy is very benefited with remote sensing, allowing the physical barrier to be broken, that is, to make analysis without being in the field, through satellite image analysis. In the present study, we aimed to determine the Net Primary Production - NPP and the water use of soybeans (no-tillage and conventional systems), corn, eucalyptus and pasture fields using remote sensing products, in the municipality of Uruçuí- Piauí, at 2012/2013 harvest. OLI-Landsat 8 orbital images were used (path/row 220/66), obtained in clear sky condition, i.e., free of clouds over the interest area. So, scenes from May to October 2013 were applied. The Normalized Difference Vegetation Index – NDVI from the Landsat scenes was applied to determine basal crop coefficients -  $K_{cb}$ . Data from a National Meteorological Institute station were used to characterize the weather conditions and to compute the reference evapotranspiration. The light use efficiency ( $\epsilon$ ) and NPP were obtained from the NDVI images and air temperature data. The maximum values of NDVI and  $K_{cb}$  in corn and soybean fields peaked in May and later regressed after senescence in June. Eucalyptus field showed the lowest values of NDVI and  $K_{cb}$  in September. The pasture area remained with vegetation cover throughout the whole period, so there isn't a marked reduction in NDVI and  $K_{cb}$  values. For all crops,  $K_{cb}$  values was close to those values reported by the FAO Manual 56. The highest light use efficiency and NPP for pasture and eucalyptus were found at the end of the rainy season (May 19), and lower values in September, comprising the dry season. Soybean in no-tillage system showed a higher biomass production ( $211 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ) compared to conventional system ( $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ ), although both crops have almost the same values from light use efficiency. The corn crops showed the biggest light use efficiency,  $3.83 \text{ g MJ}^{-1}$  and consequently bigger biomass production,  $322.74 \text{ kg ha}^{-1} \text{ day}^{-1}$ . The estimated values of productivity for corn, soybeans in conventional system and soybeans in no-tillage system were  $3133 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $1303.57 \text{ kg ha}^{-1}$  and  $1.714 \text{ kg ha}^{-1}$  respectively, with good agreement for soybean crop, compared to the real field productivity. Remote sensing allows to monitor productivity and water use of crops with good accuracy.

**Key words:**  $K_{cb}$ , crop biomass, NDVI, crop productivity.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil se encontra entre as maiores economias do mundo, de acordo com o IBGE, (2016) o PIB do país atingiu aproximadamente R\$ 6 trilhões em 2015. A agropecuária apresenta um importante papel na participação do PIB brasileiro, representados por cerca de 23% (Agencia Brasil, 2015). As exportações agrícolas do Brasil desempenham um papel importante nos mercados internacionais, sendo o segundo maior exportador agrícola mundial (FAO, 2015).

Para que o Brasil possa permanecer entre os maiores produtores e exportadores agrícola, se faz necessário uso de tecnologias cada vez mais precisas, possibilitando a manutenção ou elevação da produtividade, sendo que o verdadeiro desafio passa a ser: aumentar a produção utilizando a mesma área, permitindo assim uma forma mais econômica da utilização das propriedades e um desenvolvimento mais sustentável, o que evita o desmatamento para aberturas de novas áreas agrícolas, contribuindo com o bem-estar ambiental.

A região do Cerrado brasileiro permitiu ao país impulsionar sua produção e a região no Sul do Piauí, que está inserido nesse bioma vem se consolidando como uma das mais importantes fronteiras agrícolas do país. Uruçuí é um dos municípios de destaque na produção agrícola no estado. Em 2013, as lavouras de algodão, arroz, feijão, milho e soja somaram 164.729 ha de área cultivada (IBGE, 2015). Praticamente toda a produção é realizada em sistema de sequeiro, sendo as precipitações pluviométricas o meio de suprimento de água às culturas.

Uruçuí está localizado na Bacia do Rio Uruçuí-Preto, afluente do Parnaíba, cuja perenidade poderia potencializar a implantação de cultivos irrigados na região. Desta forma, seria viável o aumento das safras anuais além da manutenção das colheitas, mesmo em anos com precipitações inadequadas. Entretanto, com a crescente competição por recursos hídricos escassos, tornam-se necessários estudos que avaliem o uso da água pelas culturas agrícolas, especialmente determinada pela evapotranspiração (ET).

O geoprocessamento engloba técnicas que envolvem um conjunto de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais (Rodrigues, 1993), que surgiu para contribuir de forma conjunta com várias outras ciências. A agronomia está inserida entre as que mais se beneficiaram, permitindo o rompimento da barreira física, ou seja, realizar trabalhos sem necessariamente estar no local, através de análises de imagens de satélite.

Os dados gerados por sensoriamento remoto são potencialmente úteis na legislação, planejamento e alocação de recursos hídricos e avaliação de impactos ambientais. Além disso, podem ser aplicados para fornecer informações sobre desenvolvimento das culturas, balanço de carbono e uso da água em comunidades vegetais (Bastiaanssen, 2000).

O cálculo da evapotranspiração de referência, requer uma grande quantidade de variáveis que por sua vez dificulta sua execução, devido ao alto custo dos equipamentos, impossibilitando a instalação em determinadas áreas de interesse. As tecnologias com imagens de satélite trouxeram possibilidade de aplicação em áreas extensas, sobre uma grande variedade de espécies vegetais e condições de disponibilidade de água, além de fornecerem imagens de praticamente de todo o globo. Com a crescente competição por recursos hídricos escassos, tornam-se necessários estudos que intensifiquem a importância de um uso racional de água, sobre um risco de escassez.

Com a necessidade do desenvolvimento sustentável, precisa-se adequar o modo de produção agrícola, então o desafio atual é atender a demanda mundial de alimento sem prejudicar o meio ambiente, aumentando a produção utilizando a mesma área.

Um dos principais fatores prejudiciais ao meio ambiente é o acúmulo de gás carbono ( $\text{CO}_2$ ) na atmosfera, aumentando o efeito estufa e conseqüentemente contribuindo para o aquecimento global. A mudança no uso do solo e principalmente a queima de combustíveis fósseis têm acelerado tal processo, o que já ocasiona perturbações climáticas e ecológicas (IPCC, 2001; 2007). O termo “sequestro de carbono” representa o processo realizado principalmente em oceanos, florestas e outros organismos que, por meio de fotossíntese, capturam o carbono e lançam oxigênio na atmosfera, permitindo conter ou reverter o ( $\text{CO}_2$ ) da atmosfera. Alterações nos estoques de carbono da vegetação e do solo podem causar impactos expressivos na concentração de dióxido de carbono na atmosfera (Bernoux et al., 2002). O sequestro de carbono nos ambientes terrestres vem ganhando destaque como uma alternativa de diminuição dos efeitos das mudanças climáticas (Roscoe, 2003).

A estimativa da quantificação de carbono e biomassa pode ser realizada por diferentes métodos, a partir de dados espectrais, dados de campo ou por modelos estatísticos (Cruickshank et al., 2000; Paruelo et al., 2000; Fonseca et al., 2006; Wolf et al., 2011). Em grandes áreas a utilização de imagens de satélite, dados climáticos e modelos do ciclo de carbono 13, combinadas permitem a estimativa indireta de fluxo de carbono terrestre (Running et al, 1999; Turner et al, 2006).

É importante analisar a relação entre o ambiente e a planta e compreender como ocorre o crescimento das plantas, resultado do saldo de matéria seca acumulada pela fotossíntese. A produção de fitomassa seca é conduzida pela radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (Monteith, 1965). Dessa maneira, a RFA interceptada, que é convertida em fitomassa, revela a eficiência do uso da luz ( $\epsilon$ ) pela espécie (Monteith, 1977).

De acordo com Monteith e Unsworth (1990), as deficiências em água e nutrientes no solo, o ataque de pragas e doenças, a concorrência com plantas infestantes e ainda, a cobertura parcial do solo

pela cultura em análise, comprometem a eficiência de uso da radiação solar tornando-as na maioria das vezes, baixa.

Existem diversos métodos que determinam a biomassa e a ET a partir de dados de sensoriamento remoto. Alguns modelos consideram a relação entre índices de vegetação com fotossíntese e coeficientes de cultivo (Simonneaux et al., 2008; Patel et al., 2010; Er-Raki et al., 2013). Dentre esses índices, o mais aplicado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, cuja sigla em inglês é NDVI, que por sua vez é obtido com as refletividades do infravermelho próximo e do vermelho. Tais modelos apresentam as vantagens de simples aplicação, utilização de poucos dados e possibilidade de monitoramento das mudanças no uso da água com o desenvolvimento da cultura.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

Determinar, com produtos de sensoriamento remoto, o acúmulo de biomassa e o uso de água ao longo de um ano em áreas cultivadas com soja, milho, eucalipto e de pastagem em sistema de plantios direto e convencional no município de Uruçuí, Piauí.

### **2.2. Especifico**

- Determinar o NDVI e a densidade da vegetação nas áreas agrícolas no município de Uruçuí, na safra do ano 2013.
- Estimar os coeficientes de cultivo basal ( $K_{cb}$ ) e os coeficientes de evaporação ( $k_e$ ).
- Avaliar a distribuição temporal destes parâmetros biofísicos nas áreas agrícolas.
- Fazer o mapeamento da evapotranspiração das culturas, avaliando o uso da água pelas culturas.
- Obter a radiação fotossinteticamente ativa absorvida por cada cultura estudada.
- Modelar a eficiência do uso de luz e determinar a produção primária líquida dessas culturas.
- Estimar a produção econômica das lavouras de soja e milho avaliadas.
- Fazer o mapeamento do acúmulo de biomassa e avaliar a influência do sistema de cultivo.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1. Satélite Landsat 8**

O sensoriamento remoto é a arte e a ciência de obter informações sobre objetos, sem que haja contato físico direto com o objeto (Jensen, 2007). Um grande impulso para o crescimento das observações através de satélites foi o lançamento do programa de levantamento de recursos terrestres da NASA, o programa Landsat em 1972 pelos americanos e que perdura até os dias atuais, disponibilizando imagens desde 1973 (NASA, 2016). Em 2013 foi lançado o mais novo e moderno satélite, o Landsat 8 trazendo várias novidades importantes para usuários que demandam mapeamentos em mesoescala. Ele se diferencia de seus antecessores (Landsat 5 e Landsat 7) por possuir dois novos sensores: o sensor espectral OLI e o sensor termal TIRS possuindo um melhor desempenho radiométrico, quantificado em resolução radiométrica passando de 8 bits para 12 bits. Foram adicionadas duas bandas espectrais: a new coastal (banda 1), projetada especificamente para os recursos hídricos e investigação da zona costeira, e um novo canal de infravermelho (banda 9), para a detecção de nuvens cirros. Com o acréscimo das novidades provocou-se modificações nos intervalos dentro do espectro dos canais de todas as bandas. Há também uma nova banda de Garantia de Qualidade (Banda QA), que fornece informações sobre a presença de nuvens, água e neve. A partir do sensor termal TIRS, criou-se ainda duas bandas espectrais para o comprimento de onda antes coberto por uma única banda nos sensores TM e ETM (USGS, 2016).

Imagens do Landsat 8 vêm sendo aplicadas em diferentes trabalhos em diversas partes do globo, tais como Shams (2014), que realizou um estudo de caso no norte do Irã, mapeando e distinguindo arrozais; outro estudo de caso foi realizado na Espanha na cidade de Almeria por Novelli et al. (2016), avaliando o desempenho dos dados do Landsat 8 no sensoriamento remoto de culturas em estufas plásticas; Hamzelo et al. (2015), trabalham com modelagem de carbono e poluição do ar a partir da evolução espectral; Zhou et al. (2016), elaborou modelagem de comparação para a distribuição de vegetação alpina em uma área árida; Coelho, Ramos e Bergamaschi (2015), aplicaram produtos Landsat-8/TIRS/OLI e Aster/GDEM na avaliação do comportamento termal de superfície, usos e topografia; Trabaquini et al. (2011), realizou a caracterização de lavouras cafeeiras, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, no município de Umuarama – PR.

Pode-se verificar a vasta aplicabilidade entre as imagens fornecidas pelos satélites atualmente, conjugando com o processamento dos dados e obtendo informações de diferentes natureza e a agricultura que por sua vez está fortemente beneficiada com tal tecnologia, contribuindo com o fortalecimento em âmbito mundial de suas atividades em geral, seja ela agrícola, pecuária, florestal, etc.

### 3.2. Agricultura e Aquecimento Global

O dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), é um dos principais gases que contribuem para o efeito estufa, juntamente com o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Esses gases são emitidos através da atividade humana que utiliza dos recursos naturais como carvão e petróleo além de uma parcela composta pelo desmatamento. A energia solar de comprimento de onda curto ultrapassa a atmosfera terrestre atinge a superfície. A superfície emite energia em um comprimento de onda mais longo (infravermelho termal), a partir daí há interação com os gases de efeito estufa (GEE). Parte dessa irradiação é absorvida na atmosfera, aumentando conseqüentemente a temperatura média do ar (Carvalho et al.,2010).

As concentrações de GEE se encontram em condições bastante elevadas, o que já causa preocupação. Nos últimos 250 anos, a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera aumentou 31%, alcançando os atuais 366 ppm, mais alto nível observado nos últimos 420 mil anos (Marengo, 2006), em consequência ainda mais catastróficas, os cientistas preveem aumentos na temperatura da ordem de 5,8 °C para os próximos 100 anos (IPCC, 2007).

O aumento da temperatura e as mudanças no regime hídrico, causados pelo aquecimento global, terão um grande impacto na produção agrícola do Brasil (Assad et al., 2004). O estudo sugere, que um forte rearranjo espacial poderá acontecer na geografia da produção agrícola brasileira, podendo alterar de modo expressivo o zoneamento agrícola brasileiro a partir de simulações feitas com base no aumento de temperatura de 1° C, 3° C e 5,8° C e no acréscimo de 5%, 10% e 15% na precipitação pluviométrica. Culturas como o café, poderão se deslocar para o sul do país devido as temperaturas máximas mais amenas. As elevadas temperaturas de verão vão condicionar a condução de culturas para a região Centro-Oeste, como arroz, feijão, milho e soja.

Haverá perdas na produção de algumas das principais culturas agrícolas do Brasil, com o aumento da temperatura em 1° e 3° C, sendo a cultura mais prejudicada a do café (23% e 58%), seguido pela soja (10% e 39%), arroz (4% e 18%), feijão (3% e 11%) e milho (2% e 7%) (SAFRA, 2007).

Para minimizar os efeitos do aquecimento global sobre a agricultura novas formas de cultivos se faz necessário, como diminuir os lançamentos de GEE para a atmosfera. Estudo realizado por Dixon (1995) mostra algumas práticas agrícolas, com as quais é possível reter o carbono nos solos por décadas, ou até mesmo séculos, como o cultivo mínimo do solo, a incorporação de restos culturais e resíduos orgânicos, a adubação verde e as rotações utilizando cultivos de cobertura com gramíneas ou leguminosas, reduzindo assim o  $\text{CO}_2$  da atmosfera. Cerri e Cerri (2007), comentam em seu trabalho que 75% das emissões de GEE brasileiras são motivadas pela mudança no uso da terra e florestas, envolvendo o desmatamento e as práticas agrícolas.

As tecnologias de satélite permitem monitorar periodicamente o avanço do desmatamento. Desde 1988, o Ministério do Meio Ambiente (MMA), em parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (Inpe), do Ministério da Ciência e Tecnologia, monitora, via satélite o desmatamento na Amazônia, obtendo informações a mais para orientar as políticas de Mudança do Clima que visam cumprir as metas voluntárias de redução gradativa de emissões de GEE até 2020 assumidas pelo Governo Brasileiro no final de 2009.

As estimativas de biomassa e estoque de carbono se fazem necessárias para uma melhor compreensão sobre as mudanças ambientais globais (Silveira et al., 2008). Com isso para que haja uma contribuição para o desenvolvimento sustentável e a mitigação global da intensificação do efeito estufa, estudos acerca da quantidade de biomassa e carbono estocado em diferentes estágios sucessionais são de grande importância (Ribeiro et al., 2010).

### **3.3. Produção Primária Líquida e Sequestro de Carbono**

Para que haja uma boa interpretação dos dados fornecidos via sensoriamento remoto, se faz necessário um bom conhecimento das culturas, do solo e da atmosfera. O primeiro passo para um bom entendimento das transferências de energia em um ecossistema é o estudo da produção vegetal (primária) entre seus diferentes níveis tróficos (Meirelles e Henriques, 1992). A produção primária está fortemente relacionada à fixação de carbono na superfície, impedindo o aumento dos níveis de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que é comumente denominado ‘Sequestro de Carbono’. A produção primária pode sofrer variações ocasionados principalmente pelos fatores do ambiente: como a precipitação (Sims e Singh, 1978), a evapotranspiração potencial (Lieth, 1961), a evapotranspiração real (Rosenzweig, 1968) e a temperatura do ar (Pitt e Heady, 1978; Graumlich e Brubaker, 1989).

Pode-se relacionar a produção primária com quantidade de radiação solar fotossinteticamente ativa absorvida (RFAA) pela planta, estando as mesmas diretamente relacionadas. A estimativa da RFA absorvida (RFAa) pelas plantas é, portanto, parâmetro necessário à modelagem do crescimento das plantas, sendo determinada pelo balanço entre a radiação recebida subtraindo as frações transmitidas e refletidas para o meio (Fontana et al., 2012). A importância atribuída ao intervalo espectral limitada entre 0,4 µm e 0,7µm de comprimento de onda, vem da função que este exerce no metabolismo vegetal, enquanto quantidade de radiação solar potencialmente disponível para os processos fotossintéticos (Galvani, 2003).

A produção primária líquida (PPL) pode ser obtida por diferentes métodos, como a sugerida por Monteith (1972), demonstrando que sob boas condições de desenvolvimento da planta, a soma da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) é linearmente relacionada com a PPL. Goward et al. (1985) mostraram que a PPL é relacionada com o Índices de Vegetação Normalizada (NDVI). Para a quantificação de carbono estocados nas culturas, existem diversas técnicas (Gallon et al., 2006; Lefsky et al., 2005; Santos e Costa, 2003), dentre os quais se destaca a técnica da covariância de vórtices

turbulentos, bem empregada para quantificar o fluxo de CO<sub>2</sub> em diversos ecossistemas florestais (Kirschbaum et al., 2007; Beer et al., 2010; Cabral et al., 2011). Porém é um método que apresentam custo relativamente alto e que possuem limitação quanto a área de abrangência, restrita a alguns quilômetros quadrados (SILVA et al., 2013).

O sensoriamento remoto vem sendo amplamente utilizado para determinar o crescimento, desenvolvimento e transpiração das comunidades vegetais (Wu et al., 2009; Sims et al., 2008; Kalfas et al., 2011) por apresentar baixo custo, maior operacionalidade e vantagem a extensa cobertura espacial. Proposto por Monteith (1972), muitas dessas técnicas se fundamentam no conceito de eficiência de uso da luz (LUE) do inglês *Light Use Efficiency*.

### **3.4. Determinação da Evapotranspiração**

Uma das principais preocupações atualmente no mundo é o abastecimento de alimento e água potável para atender um crescimento muito rápido da população mundial, que já chega a 7 bilhões de habitantes, e segundo projeções recentes indicam que, até 2050, a população mundial poderá superar 9 bilhões de pessoas (Bos et al., 2005).

A agricultura é responsável por consumir cerca de 70% da água doce do planeta (Fereres e Soriano, 2007), o que indica que seu uso deve ser o mais racional possível, aplicando-se a quantidade necessária de água para suprir as necessidades da planta sem desperdiçar um recurso cada vez mais escasso, além do mais os conflitos de uso de água por outras atividades intensificam ainda mais o seu uso adequado.

Em projetos de irrigação o cálculo da evapotranspiração (ET) assume grande importância, pois representa a quantidade de água a ser repostada para que a cultura mantenha seu crescimento e produtividade (Pereira et al., 1997), economizando energia e uma melhor utilização dos recursos hídricos, mesmo na ausência das chuvas.

O método de determinação mais prático da ET para uma determinada cultura é feito multiplicando a evapotranspiração de referência pelos coeficientes de cultivo ( $K_c$ ). Os  $K_c$  são compostos pelo coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) e coeficiente basal de cultivo, o  $K_{cb}$ . O  $K_{cb}$  expressa a transpiração das plantas.

Para se realizar a estimativa da ET para grandes áreas, os métodos que aplicam dados de sensoriamento remoto orbital se tornam importantes, pois tais tecnologias trouxeram possibilidade de aplicação sobre uma grande variedade de espécies vegetais e condições de disponibilidade de água (Allen et al., 2011). O mapeamento da ET por sensoriamento remoto pode ser aplicado no planejamento de atividades agrícolas e no gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica (Silva e Bezerra, 2006).

A evapotranspiração e o acúmulo de biomassa das culturas ocorrem por uma única via: a estomatal. Ao transpirar, a planta absorve CO<sub>2</sub> atmosférico que é consumido no processo fotossintético. Portanto, a avaliação da biomassa e da perda de água de uma comunidade vegetal são comumente relacionados e determinados por métodos semelhantes.

Para gerar os mapas diários de cobertura vegetal com base no NDVI, alguns obstáculos devem ser superados, pois a presença de nuvens e condições de interferência atmosféricas dificultam a execução da atividade (Barbosa et al., 2006), fato frequente em muitas localidades. Para minimizar, ou mesmo eliminar estes efeitos nas imagens NDVI, é comum a utilização da técnica de composição de imagens pelo valor máximo do NDVI (Holben 1986).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

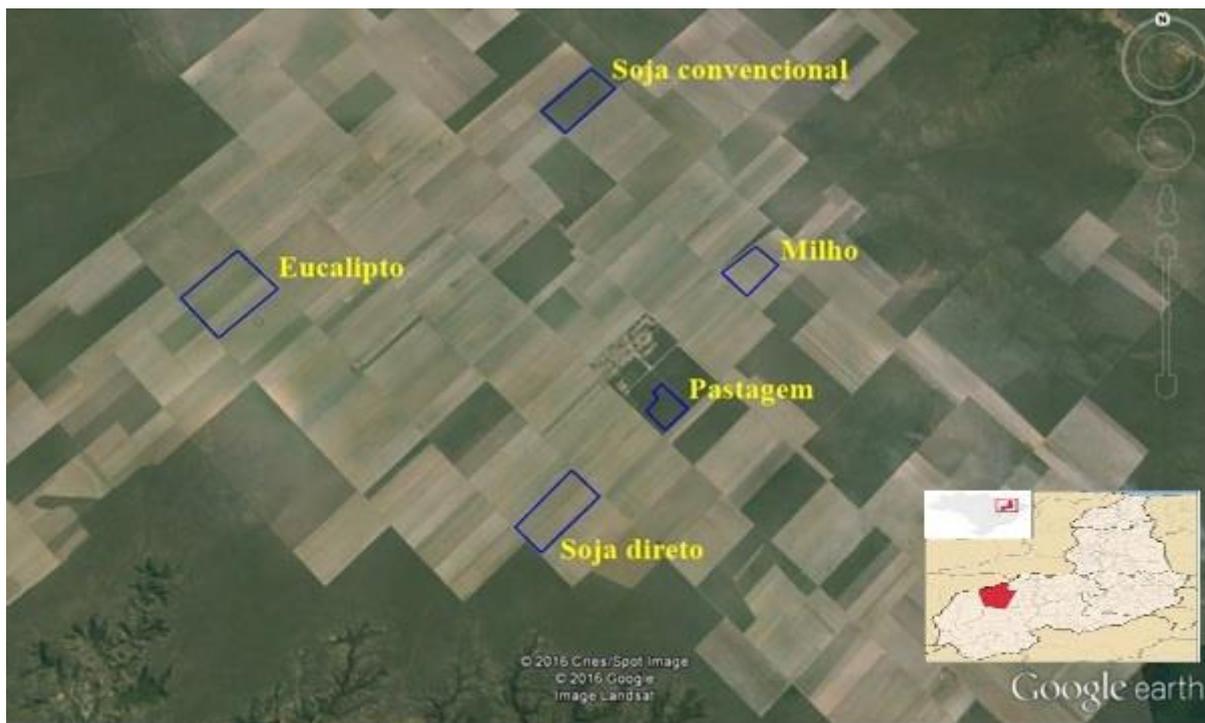
### 4.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo:

A área escolhida para pesquisa é a região do distrito de Nova Santa Rosa, município de Uruçuí, Piauí (8°16'41" S, 44°34'18" W, 547 m). Inserido no bioma Cerrado, o município tem clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (tropical quente e úmido com chuvas no verão).

O estudo foi realizado com dados da safra 2013, em áreas de plantio de milho e soja cultivados em sistema de plantio direto e sistema convencional, áreas de pastagem e parcelas produtoras de eucalipto, conforme descrição apresentada na (Tabela 1) e (Figura 1).

**Tabela 1:** Descrição do sistema de plantio e localização dos cultivos. Fonte: Lustosa Filho, 2014.

Cobertura vegetal	Sistema de plantio	Coordenadas
Milho	Convencional	08°15'52" S. 44°32'26" W; altitude 572 m
Soja	Direto	08°18'16" S; 44°35'17" W; altitude 572 m
Pastagem ( <i>Brachiaria brizantha</i> )	Convencional	08°17'11" S; 44°33'59" W, altitude 553 m
Eucalipto	Convencional	08°15'50" S; 44°39'16" W, altitude 580 m
Soja	Convencional	08°12'25" S; 44°34'35" W, altitude 500 m



**Figura 1:** Localização dos cultivos de soja (convencional e direto), milho, pastagem e eucalipto no município de Uruçui-PI.

#### 4.2. Imagens de Satélite

Foram utilizadas imagens geradas pelo satélite Landsat 8, adquiridas, gratuitamente, junto ao United States Geological Survey (USGS), já ortorretificadas. O sensor OLI (Operational Land Imager) e o sensor TIRS (Thermal Infrared Sensor) medem a radiância espectral dos alvos e armazena-os na forma de níveis de cinza, com resolução espectral de 12 bits. A resolução espacial do sensor é de 30 m nas bandas 1 a 7 e 9, 15 m na banda 8 (pancromática) e de 100 m nas bandas 10 e 11 (canais termais). A resolução temporal (tempo de revisita) deste satélite é de 16 dias.

Para abranger toda área do município, utilizou-se imagens da órbita 220/66. Para os fins deste estudo, apenas imagens obtidas em condição de céu claro no ano de 2013, ou seja, livres de nuvens sobre a área de interesse, foram utilizadas. Com isso as datas analisadas foram: 19/05, 20/06, 06/07, 22/07, 07/08, 08/09, 24/09 e 26/10.

#### 4.3. Dados Meteorológicos

Dados meteorológicos oriundos da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no município de Uruçuí (7°26'24" S, 44°21' W, 399 m), presente na cena Landsat em questão, foram aplicados na caracterização das condições meteorológicas do período estudado e para obtenção da evapotranspiração de referência.

#### 4.4. Cálculo do $K_{cb}$ da Evapotranspiração das Culturas

Todas as etapas representadas pelas equações 1 a 8, foram realizadas com programa computacional de processamento de imagens de satélite. Primeiramente realizou-se a conversão do arquivo da imagem de números digitais para reflectância no topo da atmosfera, a partir da equação 1.

$$\rho_{\lambda} = (M_p \cdot ND + A_p) / (\sin \hat{\epsilon}) \quad (1)$$

Em que  $\rho_{\lambda}$  é a radiância espectral;  $M_p$  é o fator multiplicativo de cada banda; ND é o número digital; e  $A_p$  é o fator aditivo de cada banda;  $\hat{\epsilon}$  é o ângulo de elevação do sol.  $M_p$ ,  $A_p$  e  $\hat{\epsilon}$  são obtidos nos metadados das imagens.

O NDVI foi determinado a partir das imagens dos canais refletivos do vermelho e do infravermelho das imagens Landsat. Para tanto, aplica-se a seguinte equação (Rouse et al., 1974):

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (2)$$

Em que  $\rho_5$  é a reflectância da vegetação no infravermelho próximo e  $\rho_4$  é a reflectância da vegetação na banda do vermelho.

A relação entre  $K_{cb}$  e NDVI é dada por (Simonneaux et al., 2008, Bezerra et al., 2010):

$$K_{cb} = 1,64 (NDVI - NDVI_{\min}) \quad (3)$$

Em que  $NDVI_{\min}$  é o valor do NDVI para o solo exposto, comumente utilizado o valor de 0,15.

A determinação do coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) para obtenção do  $K_c$  dual foi realizada segundo as recomendações de Allen et al. (1998):

$$K_e = (1 - f_c) K_{e,\max} \quad (4)$$

Em que  $f_c$  é a fração de cobertura do solo, dada pela equação 4 (Simonneaux, 2008, Bezerra et al., 2010) e  $K_{e,\max}$  é o coeficiente de evaporação máximo, determinado pela equação 5.

$$f_c = 1,18(NDVI - NDVI_{\min}) \quad (5)$$

$$K_{e,\max} = f_{ew} K_{c,\max} \quad (6)$$

Em que  $f_{ew}$  é a fração de solo úmido e exposto e  $K_{c,\max}$  representa o coeficiente de máxima evapotranspiração da superfície, calculado segundo os procedimentos descritos por Allen et al. (1998). Já  $f_{ew}$  é dado por:

$$f_{ew} = \min (1 - f_c, f_w) \quad (7)$$

Quando apenas parte do solo é molhado e exposto,  $f_{ew}$  é limitada pela fração de solo molhado por irrigação ou aspersão,  $f_w$ .

A evapotranspiração das culturas foi determinada a partir do método FAO Penmann-Monteith (Allen et al., 1998), a partir da seguinte equação:

$$ET_c = K_c \cdot ET_0 \quad (8)$$

Em que  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência, determinada segundo o Manual 56 da FAO para Irrigação e Drenagem (Allen et al., 1998) e os valores de  $K_c$  foram determinados a partir das imagens de NDVI, sendo  $K_c = K_{cb} + K_e$ .

#### 4.5. Determinação da Produção Primária Líquida (Biomassa) das Culturas

A estimativa da biomassa, ou Produção Primária Líquida (PPL), determinada com dados de sensoriamento remoto e medidas de radiação solar global é dada pela Equação (9):

$$PPL = \varepsilon \cdot RFAA \quad (9)$$

Em que  $\varepsilon$  é o fator de uso eficiente da luz ( $g \text{ MJ}^{-1}$ ) e RFAA é a radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $\text{MJ m}^{-2}$ ) e a PPL dada em  $g \text{ m}^{-2}$ .

Na impossibilidade de medidas diretas, a radiação fotossinteticamente ativa, RFA, pode ser determinada em função da radiação global diária, por  $PAR = 0,48 \cdot R_{g,24h}$  ( $W \text{ m}^{-2}$ ). A RFAA é uma porção da RFA, cuja relação pode ser demonstrada matematicamente por:  $RFAA = f \cdot RFA$ . O fator  $f$  pode também ser derivado do NDVI, conforme a equação 6 (Bastiaanssen e Ali, 2003).

$$f = -0,161 + 1,257 \text{ NDVI} \quad (10)$$

A eficiência do uso de luz é dada pela seguinte relação:

$$\varepsilon = \varepsilon^* \cdot T_s \cdot W_s \quad (11)$$

Em que  $\varepsilon^*$  é a máxima eficiência de uso de luz;  $T_s$  e  $W_s$  são as correções da eficiência de uso de luz para temperatura e umidade, respectivamente. Com isso utilizou-se os valores listados na Tabela 2

**Tabela 2:** Valores utilizados para correção da eficiência de uso de luz para temperatura e umidade, em que; Tot, Tmax e Tmin são respectivamente as temperaturas ótima, máxima e mínima para o desenvolvimento da cultura (INMET, 2009).

Cultura	Tmax °C	Tmin °C	Tot °C
Soja	40	13	30
Milho	40	8	30
Pastagem	35	17	30
Eucalipto	36	8	25

A correção da temperatura é dada por (Patel et al., 2010):

$$T_s = \frac{(T - T_{\min}) \cdot (T - T_{\max})}{[(T - T_{\min}) \cdot (T - T_{\max})] - (T - T_{\text{Tot}})^2} \quad (12)$$

Em que T é a temperatura média do mês; Tot, Tmax e Tmin são respectivamente as temperaturas ótima, máxima e mínima para o desenvolvimento da cultura.

Para obter da correção pela umidade, aplicou-se a relação (Tao et al., 2005)

$$W_s = 0,5 + 0,5 \cdot \frac{ET_{cb}}{ET_0} \quad (13)$$

Em que  $ET_{cb}$  é a perda de água devido à transpiração da cultura:  $ET_{cb} = ET_0 \times K_{cb}$ .

Desse modo, estimou-se a produção econômica dos cultivos de soja e milho, a partir da equação (Lobell, 2003):

$$P = PPL \cdot IC \quad (14)$$

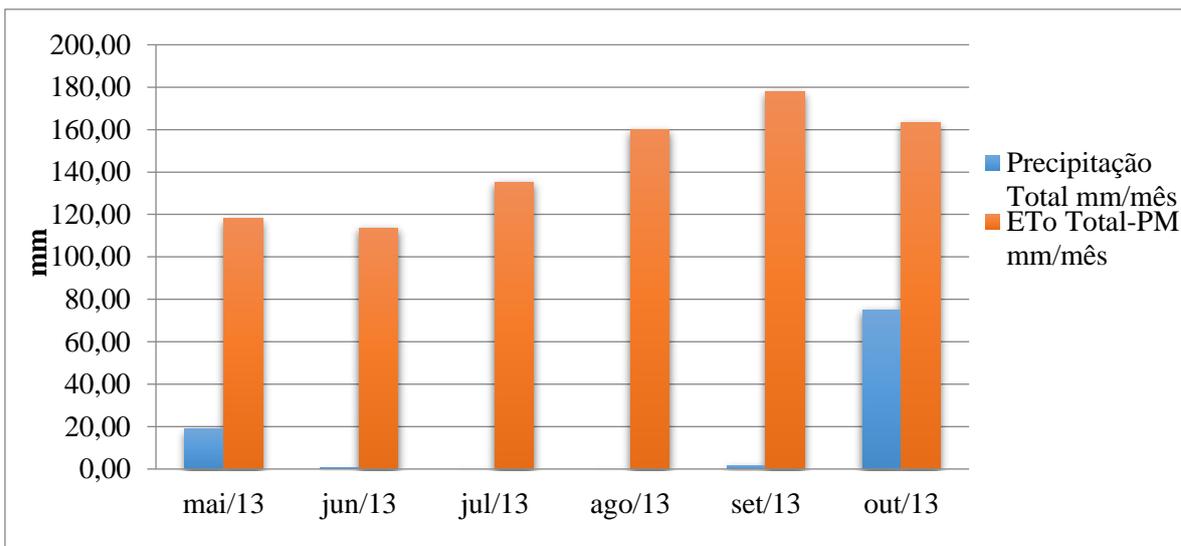
Em que IC é o índice de colheita, próprio para cada cultura.

Para a cultura do milho valor máximo do índice de colheita encontra-se próximo de 0,60 (Sharma-Natu e Ghildiyal, 2005). Vários autores encontraram valores do índice de colheita para o milho na faixa de 0,40 a 0,50 (Cui et al., 2009; Nascimento; Silva, 2003; Cruz, 2013), com isso no presente trabalho se resolveu adotar como índice de colheita para o milho o valor de 0,45. Para a cultura da soja adotou-se o valor de 0,35 (Braga, 1983).

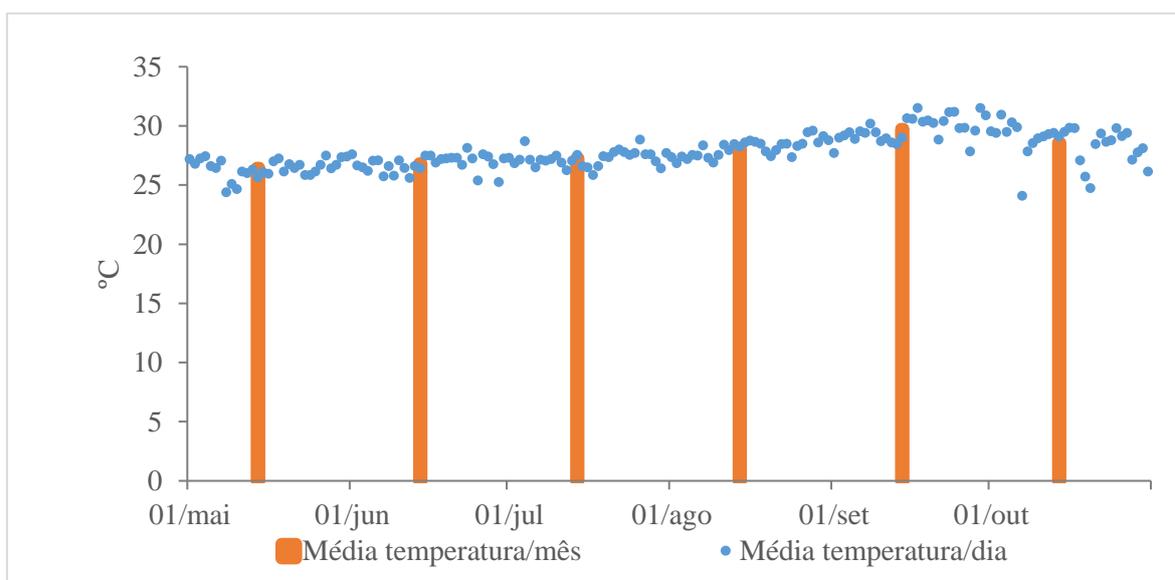
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Condições Meteorológicas Observadas

A Figura 2, apresenta a precipitação e a evapotranspiração mensal total na cidade de Uruçuí-PI, observadas durante o período de 01 de maio até 31 de outubro do ano 2013. Observa-se uma grande diferença entre o volume de água proveniente de chuvas e o volume de água perdido pelo sistema por evapotranspiração, acarretando em um saldo negativo de 1250,49 mm nestes seis meses. A Figura 3, demonstra as médias de temperatura mensal e diária para o município de Uruçuí-PI, observa-se que as temperaturas mais amenas são encontradas nos meses de maiores precipitações e nos meses de estiagem as temperaturas são mais elevadas, em torno de 30° C.



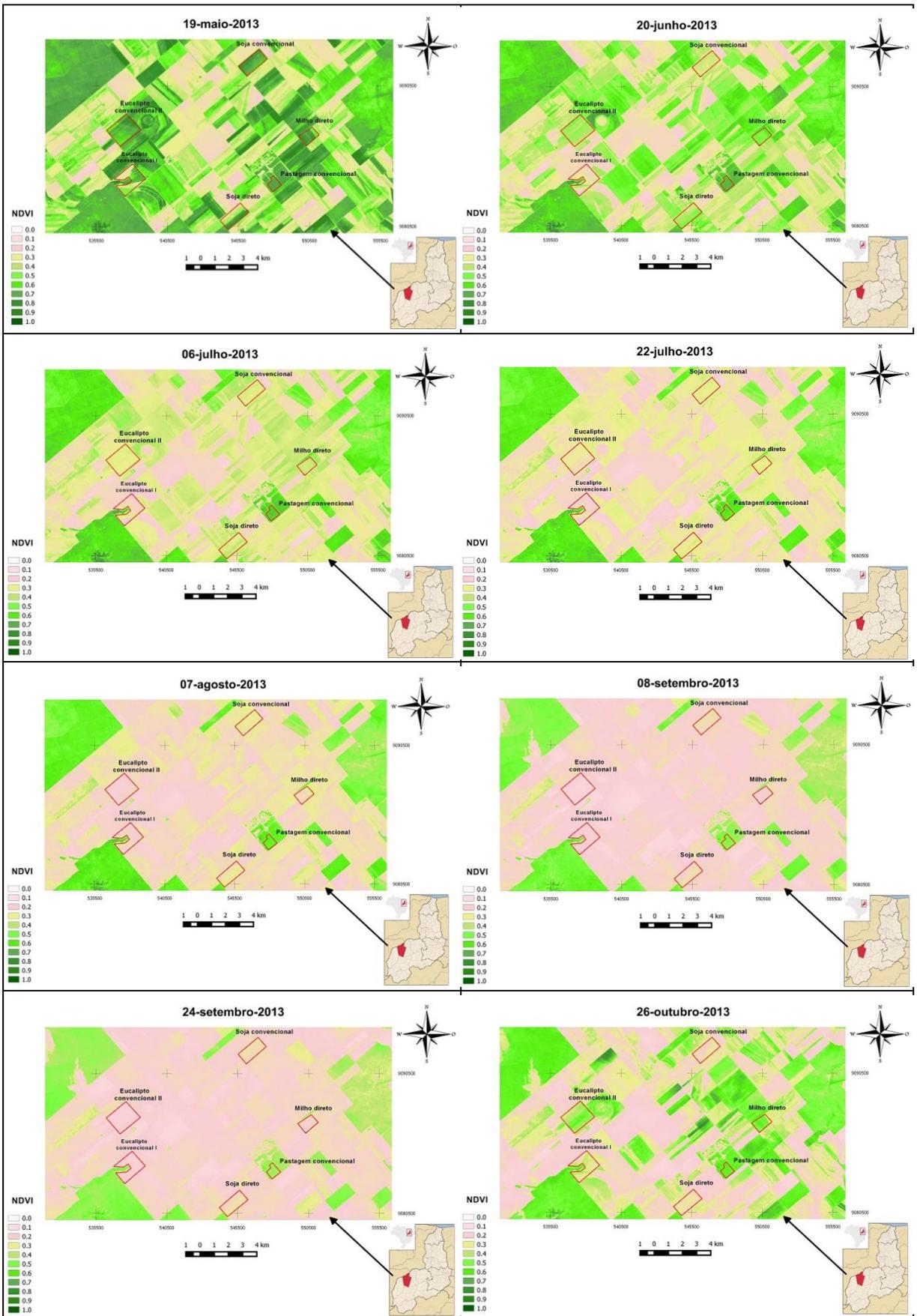
**Figura 2:** Valores acumulados mensais de Precipitação (P) e evapotranspiração de referencia (ET<sub>0</sub>), no período compreendido entre maio e outubro de 2013 do município de Uruçui- PI.



**Figura 3:** Valores de temperatura média e diária, no período compreendido entre maio e outubro de 2013 do município de Uruçui- PI.

## 5.2. Análise da Cobertura Vegetal com o NDVI

Na Figura 4, observa-se a variação mensal do NDVI durante o período estudado. Observa-se que nos meses de maio e junho há uma predominância da coloração do verde mais intenso representando maior valor de NDVI nas áreas cultivadas em relação aos meses seguintes. Isso pode ser explicado pelo fato desses cultivos estarem nos meses finais da colheita e, portanto, o campo ainda apresenta o ciclo final das culturas. Nota-se ainda, que as últimas chuvas da temporada caíram justamente no mês de maio, permitindo a manutenção da cobertura do solo até o mês de junho, onde a partir daí começa uma drástica diminuição nos valores observados do NDVI, pois inicia-se o período de estiagem na região.



**Figura 4:** Mapas do NDVI do município de Uruçui-PI, no período compreendido entre maio e outubro de 2013

Ainda na Figura 4 é possível notar no entorno da área cultivada, algumas parcelas apresentando uma densa cor verde, possivelmente de locais de mata preservada, que por ser uma vegetação mais densa e desenvolvida, apresentam valores de NDVI próximos a um nos períodos de chuva e mantem-se sempre com valores altos, mesmo nos períodos de estiagem por não serem tão afetadas quanto as culturas de menores portes. Por outro lado, existem parcelas em que os valores de NDVI se aproximam do zero. São possíveis áreas de solo exposto, que por não possuírem vegetação, quase não variam com a presença ou ausência das chuvas. Gurgel, Ferreira e Luiz (2003) estudaram a variabilidade do NDVI sobre o Brasil, verificaram que a região do Cerrado apresenta ciclo anual de NDVI, com valores máximos entre março e maio, os quais estão relacionados com o período de chuvas. Os valores mínimos ocorreram no mês de setembro, final do período seco dessa região. O autor relata que a grande variabilidade do NDVI no Cerrado decorre da queda das folhas de grande parte dos indivíduos desta formação vegetal, durante o período de seca.

As áreas com milho, eucalipto e soja reagiram de forma semelhante com o passar dos meses, mostrando maiores valores de NDVI em maio (0,7-0,9) e junho (0,5-0,6) e decrescendo nos meses de estiagem até setembro atingindo valores entre (0,1-0,2), com exceção da área de pastagem. No mês de outubro, com a volta das chuvas, todas as parcelas voltaram a apresentar coloração mais esverdeada devido também ao crescimento de plantas daninhas nas áreas em repouso. Exceto a soja, que permaneceu com valores bastante baixos devido ao manejo de preparo do solo na área de plantio convencional, e a palhada que impediu o crescimento de plantas invasoras no sistema de plantio direto. Outra explicação para os baixos valores de NDVI nos campos de soja é a eliminação de todas as plantas de soja existentes no campo entre o período de 01 de julho a 30 de setembro devido à obrigatoriedade do vazio sanitário estabelecido pela Lei 3.333, de 21 de dezembro de 2006, alterada pela Lei 3.606 de 19 de dezembro de 2008.

Já na área de pastagem, observou-se uma redução bem menos acentuada nos valores de NDVI nos meses de estiagem, mesmo que menos intenso em alguns intervalos, manteve-se verde durante todo o período estudado. Isso, por se tratar de uma área que não houve colheita total da cultura e que mesmo com o pastejo de animais, não sofreu um dano tão severo como nos outros perímetros.

Os valores máximos de NDVI encontrados nas áreas cultivadas com milho e eucalipto tiveram seu pico no mês de maio enquanto a cultura ainda estava no campo, 0,833 e 0,820, respectivamente (Tab. 3). Esses valores decresceram com os passar dos meses de estiagem até atingirem 0,339 e 0,302 para o milho e 0,331 e 0,257 para o eucalipto, ambos nos meses de julho e agosto. Em outubro, com a volta das chuvas, o solo voltou a ter uma cobertura vegetal apresentando valores máximos de 0,245 e 0,585 para o milho e eucalipto, respectivamente.

Feitosa (2006), estudou a variação temporal do NDVI correlacionando ao uso e manejo do solo para estimativa da erosão e concluiu que o NDVI apresenta evolução temporal compatível com o ciclo

vegetativo das culturas do milho, mandioca e algodão, mostrando-se adequado para representar o comportamento dinâmico da cobertura vegetal.

Com uma diferença bem menos brusca, a área de pastagem permaneceu com cobertura vegetal expressiva durante todo o período avaliado, com valores máximo de 0,755 em maio e mínima de 0,454 em setembro, valores semelhantes ao presente trabalho foram encontrados por Johann et al. (2009), variando entre 0,6 a 0,7 e vai diminuindo até o mínimo de 0,384 no período em que as pastagens estão mais secas devido à estação do inverno. Moreira et al. (2013) analisaram series temporais combinados de NDVI, temperatura do ar e precipitação pluvial sobre pastagem nativa em Santa Maria- RS, esse estudo permitiu a identificação da dinâmica fenológica e sazonal da vegetação campestre, com aumento nos valores de NDVI durante as estações quentes do ano e diminuição nas estações mais frias. Verificaram que a área que proporciona um manejo conservativo, onde o gado pasteja em campo nativo, sem a introdução de espécies invernais, é comum o decréscimo de massa foliar verde nos meses de clima mais ameno, com a retomada do vigor vegetal nos meses quentes do ano.

Na Tabela 3 mostra a evolução do NDVI na área com soja, onde se mostrou semelhante às de milho e eucalipto, com os valores máximos em maio (0,801 e 0,824) nos sistemas de plantio convencional e direto, respectivamente, e atingindo 0,387 e 0,279 no começo de setembro. No mês de outubro os valores de NDVI na área de plantio de soja voltaram a subir, apresentando valores máximos de (0,573 e 0,357) no sistema convencional e direto respectivamente.

Por meio de uma relação entre índice de vegetação da cultura e a precipitação, é possível observar que o NDVI da cultura tem forte relação com a pluviosidade durante o início da safra, à medida que a cultura se desenvolve, atinge o pico vegetativo e quando a cultura entra na senescência a influência da chuva sobre o NDVI vai diminuindo.

**Tabela 3:** Valores máximo (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de NDVI para a cultura da soja em sistema de plantio convencional e direto, milho, eucalipto e pastagem no município de Uruçuí/PI, ano 2013.

DATA	SOJA CONVENCIONAL			SOJA DIRETO			MILHO			EUCALIPTO			PASTAGEM		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
19/05	0,801	0,717	0,527	0,824	0,767	0,650	0,833	0,719	0,503	0,820	0,686	0,536	0,755	0,721	0,662
20/06	0,555	0,351	0,307	0,563	0,483	0,411	0,623	0,522	0,455	0,552	0,463	0,347	0,710	0,678	0,609
06/07	0,498	0,323	0,289	0,445	0,370	0,326	0,440	0,368	0,327	0,370	0,313	0,282	0,686	0,648	0,586
22/07	0,484	0,305	0,264	0,363	0,318	0,286	0,339	0,308	0,289	0,331	0,268	0,224	0,648	0,603	0,538
07/08	0,452	0,279	0,245	0,328	0,285	0,255	0,302	0,250	0,224	0,257	0,199	0,171	0,611	0,567	0,523
08/09	0,387	0,245	0,213	0,279	0,248	0,220	0,244	0,205	0,193	0,208	0,172	0,132	0,517	0,478	0,444
24/09	0,407	0,247	0,223	0,280	0,254	0,231	0,243	0,211	0,201	0,217	0,180	0,064	0,474	0,442	0,409
26/10	0,573	0,248	0,206	0,357	0,255	0,209	0,595	0,511	0,290	0,585	0,448	0,286	0,613	0,567	0,532

### 5.3. Coeficientes de Cultivo e Evapotranspiração das Culturas

Na Figura 5 são apresentados os mapas de  $K_{cb}$  que foram obtidos em função do NDVI. Devido a isso, é notada uma sincronização com os mapas fornecidos na (Fig. 4). Os valores do  $K_{cb}$  variam de acordo com a densidade de vegetação, com valores altos no período chuvoso e baixos no período de estiagem, como é possível verificar através da escala de cores.

Porém, nas áreas de mata preservada, mais uma vez vemos uma variação bem menor se compararmos com as parcelas cultivadas. Lembrando que as parcelas cultivadas, em determinados meses do ano, é retirada das culturas do campo, permanecendo apenas o solo exposto, o que levou a valores de  $K_{cb}$  próximos de zero.

As áreas cultivadas com milho, soja (convencional e direto) e eucalipto apresentaram seus maiores valores no dia 19 de maio (1,121; 1,06; 1,105 e 0,807) respectivamente, e se mantiveram com valores de  $K_{cb}$  expressivos até o mês de junho, posteriormente os valores de  $K_{cb}$  regridem nos meses seguintes devido à estiagem e no caso das culturas anuais, como milho e soja, não estarem mais no campo. Enquanto que a pastagem seguiu com valores significativos por todo o intervalo estudado, com picos nos meses de maio e junho (0,992 e 0,919) e voltando a subir em outubro, como pode ser observado por meio da Tabela 4.

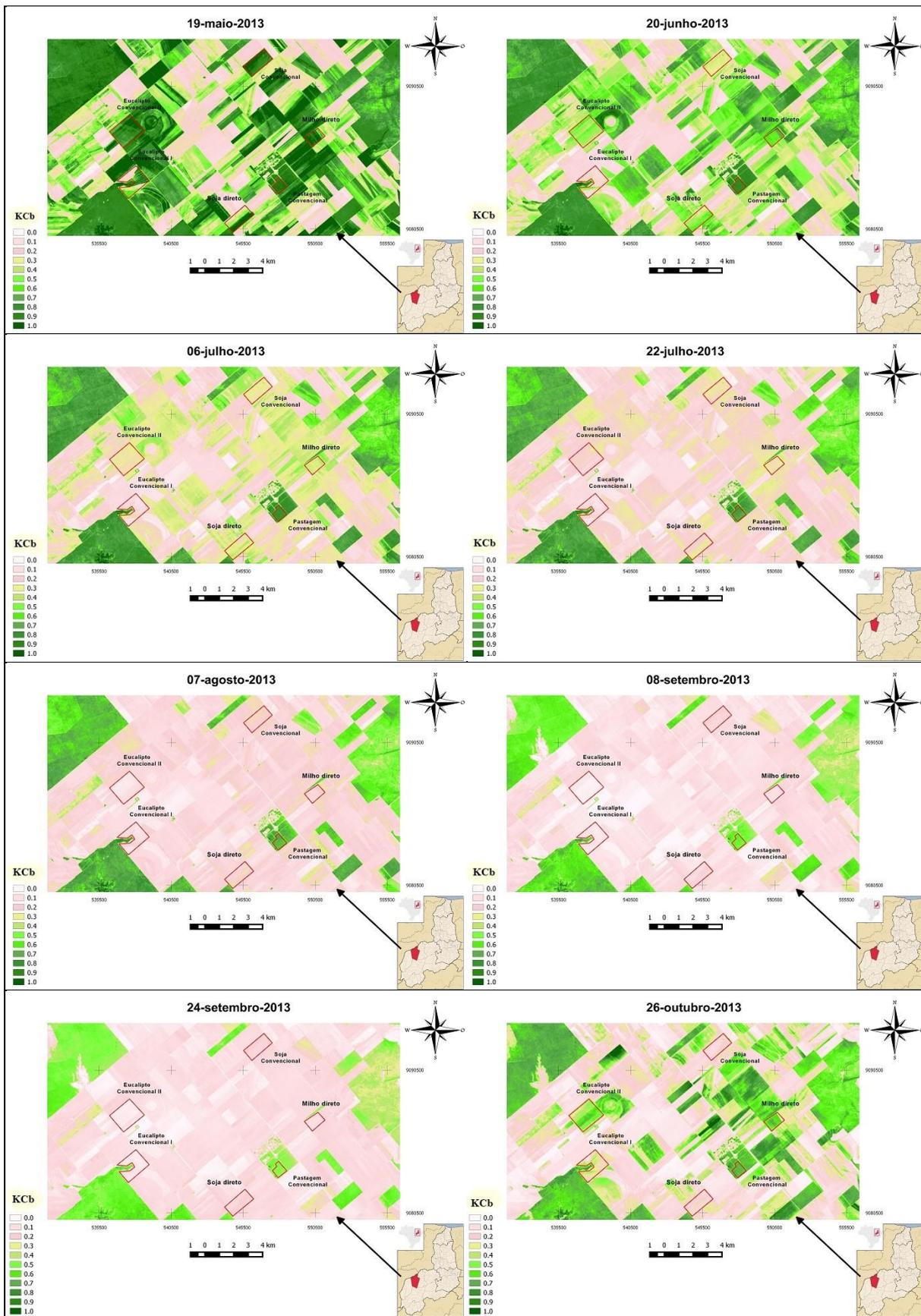
Os valores indicativos de  $K_{cb}$  pela FAO permitem construir a curva do coeficiente de cultura e são necessários apenas três valores, estágio inicial ( $K_{cb}$  ini), intermediário ( $K_{cb}$  médio) e final ( $K_{cb}$  final).

Os valores de  $K_{cb}$  encontrados, em todos os casos foram muito próximos aos indicados pela FAO, mostrando uma boa aproximação para todas as culturas estudadas. Porém para o eucalipto não houve a comparação entre os valores, pois a FAO não tem disponível essa informação para a cultura.

A partir dos valores encontrados é possível elaborar um monitoramento da cultura em campo, indicando o estágio fisiológico, época de colheita, etc.

O coeficiente de evaporação ( $K_e$ ) foi considerado zero, pois não houve precipitação 7 dias antes e após a coletas das imagens e as áreas não são irrigadas. Desse modo, a partir dos dados de  $K_{cb}$  e  $ET_0$  foi possível determinar a ET das culturas estudadas, como pode ser observado na Tabela 6. Observou-se que no mês de maio ocorrem os maiores valores da ET, com exceção do eucalipto que apresentou o maior valor no mês de junho. Verifica-se que no mês de maio as culturas são mais exigentes quanto a necessidade hídrica, ocasionada pelo estágio fisiológico em que os cultivos se encontravam (estádio médio). Nesse período as culturas apresentam uma maior área foliar e conseqüentemente maiores valores de transpiração. No decorrer em que a cultura se aproxima do estágio final os valores de  $K_{cb}$  e ET diminuem, pois, as plantas entram no estágio de senescência e se aproximam da época de colheita.

Nas culturas que permanecem no campo ao longo do ano (pastagem e eucalipto) diminuem os valores de ET, atingindo os valores mínimos nos meses de agosto e setembro, coincidindo com o período de maiores temperaturas e  $ET_0$  (Figuras 3 e 4, respectivamente).



**Figura 5:** Mapas do  $K_{cb}$  do município de Uruçui-PI, no período compreendido entre maio e outubro de 2013.

**Tabela 4:** Valores máximos (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de  $K_{cb}$  para áreas cultivadas com milho, eucalipto, soja e pastagem, no município de Uruaú/PI, ano 2013.

DATA	MILHO			EUCALIPTO			PASTAGEM			SOJA CONVENCIONAL			SOJA DIRETO		
	Max	Med	Mín	Max	Med	Mín	Max	Med	Mín	Max	Med	Mín	Max	Med	Mín
19/05	1,121	0,925	0,550	0,807	0,878	0,633	0,992	0,936	0,840	1,06	0,930	0,618	1,105	1,01	0,830
20/06	0,780	0,610	0,501	0,664	0,469	0,323	0,919	0,867	0,752	0,664	0,329	0,258	0,677	0,547	0,428
06/07	0,476	0,357	0,291	0,570	0,268	0,216	0,879	0,816	0,715	0,570	0,284	0,228	0,484	0,360	0,288
22/07				0,296	0,194	0,121	0,816	0,742	0,636						
07/08				0,176	0,080	0,034	0,756	0,683	0,612						
08/09				0,095	0,045	0,029	0,602	0,538	0,482						
24/09				0,109	0,088	0,041	0,532	0,480	0,425						
26/10				0,713	0,489	0,223	0,759	0,684	0,626						

**Tabela 5:** Comparação entre os valores médios de  $K_{cb}$  obtido através do NDVI em relação ao indicado pela FAO para áreas cultivadas com milho, soja e pastagem, no município de Uruaú/PI, ano 2013.

CULTURA	ESTÁDIO MÉDIO		ESTÁDIO FINAL	
	$K_{cb}$ NDVI	$K_{cb}$ FAO	$K_{cb}$ NDVI	$K_{cb}$ FAO
MILHO	0,925	1,15	0,353	0,50-0,15
SOJA CONVENCIONAL	0,929	1,10	0,283	0,30
SOJA DIRETO	1,010	1,10	0,360	0,30
PASTAGEM	0,936	0,8-1,00	0,683	0,70

**Tabela 6:** Valores médios de evapotranspiração (ET) para áreas cultivadas com milho, eucalipto, soja e pastagem, no município de Uruçuí/PI, ano 2013.

DATA	MILHO	EUCALIPTO	PASTAGEM	SOJA CONVENCIONAL	SOJA DIRETO
	Media da ET	Media da ET	Media da ET	Media da ET	Media da ET
19/05	3,907	3,654	3,894	3,868	4,182
20/06	3,158	2,,455	4,514	1,717	2,851
06/07	1,610	1,226	3,715	1,295	1,633
22/07		1,030	3,925		
07/08		0,508	4,300		
08/09		0,249	3,773		
24/09		0,321	3,147		
26/10		2,780	3,861		

#### 5.4. Eficiência do Uso da Luz e Produção Primária Líquida das Culturas Agrícolas

Analisando-se a Tabela 7, verificou-se que a soja exibiu o maior valor de eficiência de uso de luz ( $\epsilon$ ) no dia 19 de maio de 2013 tanto no sistema de plantio convencional quanto no sistema de plantio direto, apresentando valores de 2,50 g. MJ<sup>-1</sup>, e 2,54 g. MJ<sup>-1</sup>, respectivamente. A variação fotossintética e respiratória da soja ocorre de acordo com seu desenvolvimento, devido à alteração na força dreno, na arquitetura e estrutura foliar (PORRAS et al., 1997), ou seja, os valores máximos encontrados podem estar atrelados no período de estágio vegetativo para o reprodutivo (PEREIRA, 2002). Santos et al (2003) estudando a captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja, obteve praticamente os mesmos valores do presente estudo, de 2,28 e 2,54 g. MJ<sup>-1</sup>, nos estágios antes do florescimento e após o florescimento respectivamente. Confalone et al. (1997) observaram a cultura da soja em condições ótimas e verificaram que o valor da eficiência no uso da radiação foi em média de 1,73 g. MJ<sup>-1</sup> e permaneceu relativamente constante nas diferentes fases fenológicas. Silim e Saxena (1982) encontraram valor de ( $\epsilon$ ) para a cultura da fava de 2,06 MJ<sup>-1</sup>, mostrando que dentre as duas espécies de leguminosas a soja apresenta um melhor aproveitamento na eficiência do uso de luz nos dois sistemas de plantio em comparação com a fava.

Observou-se um decréscimo nos valores de  $\epsilon$  a partir de 06 de julho, apresentando valores de 1,91 g. MJ<sup>-1</sup> no sistema de plantio convencional e 1,81 g. MJ<sup>-1</sup> no plantio direto (Tabela 7). Estes resultados são consequência do ciclo da própria cultura, onde possivelmente estão no estado de senescência e com a diminuição da área foliar, e consequentemente, da capacidade de absorção de luz. Verificou-se ainda que a partir do dia 20 de junho os valores de  $\epsilon$  pelo plantio convencional é maior do que no sistema direto, porém, este valor pode estar superestimado, possivelmente pela área estar com plantas invasoras, uma vez que o sistema de plantio direto dificulta a emergência de tais plantas.

Nas áreas onde são cultivados eucaliptos, pastagem e milho todos em sistema de plantios convencionais, o dia 19 de maio 2013 também apresentou os maiores valores de  $\epsilon$ : 1,28 g. MJ<sup>-1</sup>, 2,13 g. MJ<sup>-1</sup> e 3,83 g. MJ<sup>-1</sup> respectivamente, como mostra a (Tabela 7). A cultura do milho obteve os maiores valores de eficiência do uso de luz dentre as culturas estudadas, por se tratar de uma planta C4, que apresenta um melhor desempenho no aproveitamento da luz. No presente estudo obteve-se valores mais altos em comparação aos encontrados por Teichrieb et al. (2013) que avaliaram o uso de eficiência de luz no cultivo de milho sob plantio direto e convencional obtendo valores de 1,52g C MJ<sup>-1</sup> e 1,39 g C MJ<sup>-1</sup> respectivamente, e que por sua vez o sistema de plantio direto apresentou um comportamento mais satisfatório em relação ao cultivo convencional. Portanto, a área cultivada com milho em Uruçui-PI pode apresentar um melhor aproveitamento da luz se cultivados em sistema de plantio direto. Os valores de  $\epsilon$  podem variar de acordo com o espaçamento em campo, como demonstrado por Westgate et al. (1997) que chegaram nos seguintes valores, 2,69 e 3,02 g MS MJ<sup>-1</sup>, em dois anos diferentes, em espaçamentos de 0,38 m.

**Tabela 7:** Valores máximo, (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de eficiência de uso de luz para as culturas de soja em sistema de plantio convencional e direto, milho, pastagem e eucalipto.

DATA	SOJA CONVENCIONAL			SOJA DIRETO			MILHO			PASTAGEM			EUCALIPTO		
	g.MJ <sup>-1</sup>			g.MJ <sup>-1</sup>			g.MJ <sup>-1</sup>			g.MJ <sup>-1</sup>			g.MJ <sup>-1</sup>		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min									
19/05	2,50	2,33	1,95	2,54	1,99	1,37	3,83	3,47	2,58	2,13	2,07	2,01	1,283	1,148	0,998
20/06	2,00	1,60	1,51	1,99	1,76	1,36	3,19	2,89	2,72	2,03	1,98	1,91	1,000	0,901	0,820
06/07	1,91	1,57	1,50	1,81	1,61	1,36	2,67	2,46	2,35	2,05	1,98	1,91	0,825	0,768	0,737
22/07										1,98	1,92	1,83	0,786	0,724	0,680
07/08										2,01	1,92	1,84	0,702	0,644	0,617
08/09										1,91	1,84	1,77	0,683	0,646	0,615
24/09										1,83	1,77	1,70	0,592	0,564	0,461
26/10										2,03	1,96	1,89	0,988	0,863	0,714

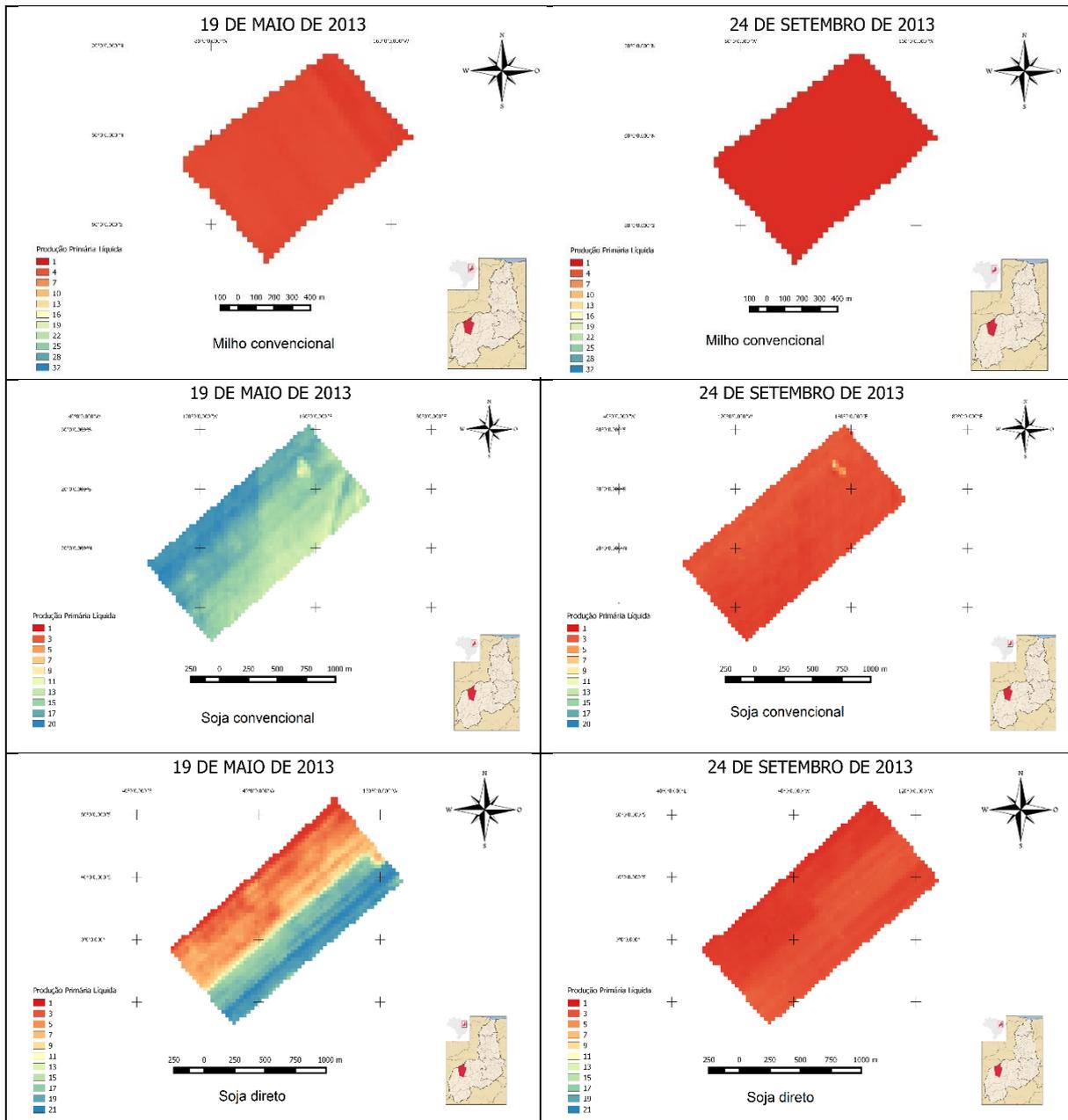
Os valores de  $\epsilon$  para pastagem se demonstraram mais constantes no decorrer do estudo, mostrando que possivelmente a área não foi utilizada ou apresenta uma excelente capacidade regenerativa além de ser uma cultura perene. Gosse et al. (1986) encontrou valores semelhantes aos obtidos para diferentes espécies C4, como, por exemplo, milho, cana de-açúcar e *Panicum* sp. de 2,49, 2,65 e 2,39 MS MJ<sup>-1</sup>, respectivamente. O eucalipto é uma espécie de metabolismo C3 e demonstrou os valores mais baixos dentre as culturas analisadas, com valor máximo de  $\epsilon$  de 1,28 g MS MJ<sup>-1</sup>. Resultados semelhantes foram reportados por Vrechi et al. (2011) que avaliaram a eficiência do uso da luz em plantios de eucalipto em duas condições edafoclimáticas, clima úmido: 1,46 g. MJ<sup>-1</sup> e clima seco: 0,72 g. MJ<sup>-1</sup>, demonstrando assim que a condição climática interfere no aumento ou decréscimo do valor de  $\epsilon$ . O presente estudo reforça tal ideia já que Uruçui-PI é classificado por Köppen como tropical quente e úmido com chuvas no verão. Segundo Floss (2004), a água é necessária durante todo o ciclo da planta e é um dos fatores decisivos na produtividade, então para o adequado estabelecimento de cultivos agrícolas e florestais a distribuição mensal da precipitação é tão importante quanto a precipitação anual.

Os menores valores de  $\epsilon$  foram encontrados em 06 de julho de 2013 para a cultura do milho, apresentando valor de 2,67 g. MJ<sup>-1</sup>. Na área de pastagem e eucalipto os menores valores foram encontrados em 24 de setembro de 2013 com  $\epsilon$  de 1,83 g. MJ<sup>-1</sup> e 0,59 g. MJ<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 7). Percebe-se que a partir do dia 22 de julho os valores de  $\epsilon$  apresentaram um decréscimo, época que para os cultivos anuais como o milho coincide com a colheita, o período de estiagem é um fator limitante.

A Figura 6 apresenta a variabilidade dos valores de produção primária líquida (PPL) no decorrer do ano de 2013, mostrando seu comportamento logo após a colheita no fim do período chuvoso (maio) até o último mês de estiagem (outubro), onde se encontram os menores valores de PPL. O valor máximo de produção primária líquida (PPL) diária nos cultivos de soja no sistema de convencional e direto foram 200 e 211 kg. ha<sup>-1</sup>, respectivamente, ambos no dia 19 de maio de 2013 (Tabela 8), mostrando que em plantio direto a fitomassa acumulada nesta área é maior do que para soja convencional, o que indica maior oferta de palha sobre o solo em plantios direto. Após o período da colheita verificou-se que na área de plantio direto há uma queda mais acentuada em seus valores de PPL a partir de 20 de junho, enquanto no mesmo período para o plantio convencional esses valores são mais constantes ao longo do ano. A planta ao atingir seu último estágio de desenvolvimento, ou seja, a fase de senescência, apresenta diminuição da área foliar e na capacidade de interceptação de luz também, resultando no decréscimo de matéria seca. Os maiores valores de PPL para a soja coincide com a mesma data onde se identificou os maiores valores de eficiência do uso de luz, ambos na data de 19 de maio.

A partir da análise da Tabela 8 verifica-se que a PPL das áreas de milho e pastagem apresentam seu valor máximo também em 19 de maio de 2013, com 322,74 e 159,62 kg. ha<sup>-1</sup> respectivamente,

data a partir da qual ocorre redução na PPL, pois, o campo encontra-se em pousio e possivelmente com algum resíduo do cultivo da atual safra.



**Figura 6:** Mapa temático de produtividade primária líquida (PPL, gC m<sup>-2</sup>) das culturas de milho, soja (convencional e direto), pastagem e eucalipto.

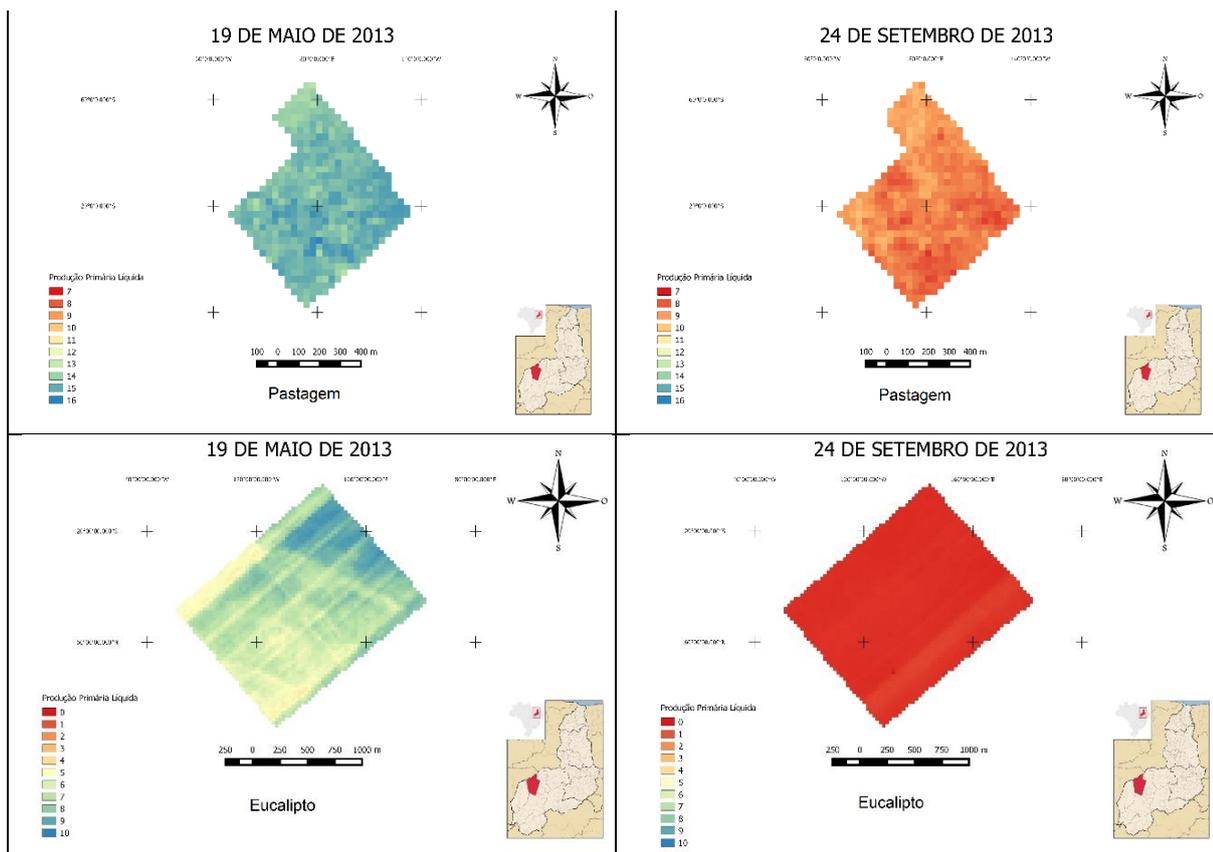


Figura 6. Continuação

Para a pastagem, os valores de PPL se apresentaram praticamente constantes, menos para o mês de setembro onde os valores foram os mais baixos estimados, provavelmente por ser o último mês da estação seca naquele ano (Figura 2), sendo também o mês mais quente do ano (Figura 3). Os valores encontrados no presente trabalho são inferiores aos encontrados por Euclides et al. (1993) que encontraram valores de 750 kg MS.  $ha^{-1}$  em pastagem de *Brachiaria decumbens* para a época seca do ano. Pedreira (1973) encontrou uma produtividade 847 kg MS.  $ha^{-1}$  (estação seca) e 6.552 kg MS.  $ha^{-1}$  (estação chuvosa), para pastagem de *Panicum máximum*.

No cultivo de eucalipto seu maior valor da PPL foi encontrado no fim do período chuvoso com valor próximo a 106 kg. ha<sup>-1</sup> (Tabela 8) e a partir do mês seguinte a uma redução muito acentuada em seus valores chegando a 8,09 kg. ha<sup>-1</sup> no mês de setembro. A cultura foi grandemente afetada pela condição do tempo seco, reduzindo eu dossel vegetativo.

Uruçuí-PI apresenta seu período chuvoso compreendido entre novembro e abril. Com exceção da soja em plantio direto, as demais culturas apresentaram aumento da PPL no mês de outubro, período esse em que as precipitações estão de volta ao município (Figura 2). Nas culturas anuais observa esse aumento não por causa da implantação de culturas pois as áreas ainda estão sendo preparadas, mas sim, por possível surgimento de plantas invasoras. Para o eucalipto e pastagem possivelmente houve a renovação da folhagem que se encontram mais densas e para o cultivo de soja direto, a palhada não permitiu o surgimento de ervas daninhas, com isso a sua PPL não aumentou.

**Tabela 8:** Valores máximo, (Max), médios (Med) e mínimos (Min) de produção primária líquida (PPL, kg. ha<sup>-1</sup>) para a cultura da soja em sistema de plantio convencional e direto, milho, pastagem e eucalipto.

DATA	SOJA CONVENCIONAL			SOJA DIRETO			MILHO			PASTAGEM			EUCALIPTO		
	Kg. ha <sup>-1</sup>			Kg. ha <sup>-1</sup>			Kg. ha <sup>-1</sup>			Kg. ha <sup>-1</sup>			Kg. ha <sup>-1</sup>		
	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
19/05	200,12	164,55	93,05	211,19	108,74	16,65	322,74	244,36	81,04	159,62	146,81	132,92	105,99	76,79	48,61
20/06	113,06	47,21	35,89	111,41	71,50	18,15	207,31	150,45	120,31	156,60	144,46	130,11	54,63	36,85	24,78
06/07	84,77	36,63	28,87	68,64	41,93	14,68	98,11	69,67	55,98	136,87	123,49	110,59	23,94	16,97	13,56
22/07	94,93	38,43	27,97	54,68	36,27	15,85	68,57	57,55	50,92	145,50	127,70	113,35	22,53	14,34	9,23
07/08	85,14	32,36	23,66	45,50	29,63	16,00	54,47	36,54	28,39	136,84	119,13	103,23	12,80	6,38	3,73
08/09	67,92	25,62	17,62	34,38	23,07	11,99	36,08	23,83	19,54	110,43	95,35	82,91	8,09	4,11	1,23
24/09	78,27	27,28	20,93	36,38	26,13	15,82	37,65	26,95	23,02	98,30	86,30	74,38	8,21	4,55	4,59
26/10	106,27	25,70	15,83	57,16	27,92	16,70	223,90	171,85	55,10	144,32	127,62	113,55	67,18	42,20	17,71

## 5.5. Produtividade

Considerando que os valores de NDVI estão relacionados com a quantidade de biomassa da cultura, é possível afirmar, que o período de maior acúmulo de biomassa pela cultura ocorre de maio a julho (dentre as imagens coletadas para o estudo), com isso as imagens utilizadas para estimar a produtividade do milho e da soja foram no intervalo de maio a julho.

Os avanços significativos na produção de grãos nos últimos 50 anos se deve a inúmeros fatores, mas o aumento no índice de colheita das culturas pode ser considerado um dos mais importantes para o acréscimo na produção de grãos (Sinclair, 1998).

A Tabela 9 exhibe os valores estimados para a produtividade das culturas de milho, soja no sistema de plantio convencional e soja em sistema de plantio direto, estimados com base no NDVI. Nota-se que quando comparada os dois sistemas de plantio da soja, que o plantio direto tende a ter uma produção superior ao esperado para soja convencional, com uma diferença de 411,18 Kg. ha<sup>-1</sup> ou aproximadamente 7 sacas a mais do que o sistema convencional. Se levar em consideração o preço atual da saca de soja em grãos em novembro de 2016 a R\$ 65,00, o produtor que optar pelo plantio direto já terá uma receita bruta superior ao sistema convencional de R\$ 455,00 por hectare.

De acordo com o levantamento elaborado pela Conab em julho de 2013, a produtividade de soja para o estado do Piauí foi de 1.678 Kg. ha<sup>-1</sup> e para o milho de 1.406 Kg. ha<sup>-1</sup>. O valor da soja está próximo ao encontrado no presente estudo que foi de 1.714 Kg. ha<sup>-1</sup>, mostrando que a estimativa de produtividade por imagem de satélite possui uma boa acurácia. Outros autores também obtiveram bons resultados utilizando o sensoriamento remoto para a estimativa de produtividade da soja (Fernandes et al., 2009; Rizzi, 2005). Mahey et al. (1991), também demonstra em seu estudo o potencial de se prever a produtividade da cultura com dados de sensoriamento remoto.

Mesmo a soja em sistema de plantio direto apresentando valores de ET superiores ao da soja em sistema convencional (Tabela 5), não houve o comprometimento da produção, o sistema de plantio direto possui em uma de suas características, o melhor aproveitamento da água pelas culturas, pois a palhada consegue manter a umidade do solo por um período mais longo. A Tabela 8 mostra os valores de PPL e nota-se que nas três primeiras datas o valor acumulado de fitomassa é maior no cultivo convencional em relação ao plantio direto, apresentando uma diferença de aproximadamente 9 Kg. ha<sup>-1</sup>, mesmo assim a produtividade no sistema de plantio direto foi superior ao convencional, essa diferença pode ser ocasionada por plantas daninhas nas áreas de plantio convencional, coincidentemente os valores de fitomassa do plantio convencional são mais elevados a partir do momento de senescência das plantas, ocasionando a superestimativa dos valores de PPL pelas plantas daninhas, uma vez que o plantio direto dificulta a emergência de plantas daninhas.

A área cultivada com milho apresenta uma estimativa de colheita de 3.133,82 Kg. ha<sup>-1</sup> ou aproximadamente 53 sacas por hectare. Este resultado está muito acima da média do estado, porém verifica-se uma proximidade com a produtividade média do milho 2º safra de 2.893 Kg. ha<sup>-1</sup>. Uma boa estimativa de produtividade utilizando o NDVI foi encontrada por Matias, Streck e Aguilar (2015), obtendo uma regressão linear altamente significativa entre produtividade obtida a campo e a produtividade estimada com Índice NDVI com um R<sup>2</sup> elevado (1,00).

**Tabela 9:** Produtividades média estimada com NDVI em Kg. ha<sup>-1</sup> para as culturas de milho, soja em sistema de plantio direto e convencional no município de Uruçuí-PI.

CULTURA	Milho	Soja convencional	Soja direto
PRODUTIVIDADE	3.133,82	1.303,57	1.714,75

## 6. CONCLUSÕES

Por se tratarem de cultivos em sistema de sequeiro, a presença das chuvas determina os períodos em que as áreas apresentam maiores valores tanto de NDVI como de  $K_{cb}$ . Provocando uma queda desses padrões com a chegada do período de estiagem. Já a pastagem se mostrou tolerante a estiagem durante o período estudado. Apresentando sempre os maiores índices em comparação com as outras culturas o eucalipto também acompanha o regime pluviométrico da região, sendo encontrados os maiores valores tanto de eficiência do uso de luz quanto produção primária líquida além do NDVI e  $K_{cb}$  no começo do período chuvoso.

A soja em sistema de plantio convencional apresenta uma maior produção de fitomassa em relação ao sistema de plantio direto, contudo na eficiência do uso de luz as culturas apresentam praticamente os mesmos valores e os números de produtividade são superiores nas áreas de plantio direto, em relação ao convencional.

O milho, dentre as culturas estudadas, foi a que se destacou, apresentando o melhor desempenho na eficiência do uso de luz e conseqüentemente na produção de fitomassa.

A metodologia proposta atende satisfatoriamente as determinações de  $K_{cb}$  e posteriormente a estimativas de produtividade, sendo os valores estimado de produtividade ficaram próximas as médias do estado do Piauí da safra 2012/2013.

O sensoriamento remoto permite monitorar a produtividade das culturas com uma boa precisão além de permitir o monitoramento de elevados números de pontos e baixo custo de aquisição.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA BRASIL. **Participação da agropecuária no PIB sobe para 23% em 2015**. Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-12/participacao-da-agropecuaria-no-pib-sobe-para-23-em-2015>>. Acessado em 18 de outubro de 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, v.28, p.17-34, 2009.
- ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M., 1998. **Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma, 300 p.
- Allen, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. **Agricultural Water Management**, v. 98, p. 899-920, 2011.
- ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. 2004. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, pp. 1057-1064.
- BARBOSA, H. A.; HUETI, A. R; BAETHGEN, W. E.A 20 year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 67, n. 2, p. 288-307, 2006.
- BASTIAANSEN, 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.
- BASTIAANSEN, W. G. M.; MOLDEN, D. J.; MAKIN, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, v.42, p. 137-155, 2000.
- BEER, C.; REICHSTEIM, M.; TOMELLERI, et al. Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate. **Science**, v.329, 834-838, 2010.
- BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**. v. 72, 2002. p. 693 – 701.
- BEZERRA, BERGSON GUEDES et al. Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.404-414, set. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862010000300012>.
- BOS, M.G.; BURTON, M.A.; MOLDEN, D.J. **Irrigation and drainage performance assessment: practical guidelines**. Cambridge: CABI Publishing, 2005. 166p.
- BRAGA, N. R. ; COSTA, J. A. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, 1983.
- CABRAL, O. M. R.; GASH, J. H. C.; ROCHA, H. R.; MARSDEN, C.; LIGO, M. A. V.; FREITAS, H. C.; TATSCH, 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.

CARVALHO, JOÃO LUIS NUNES et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, [s.l.], v. 34, n. 2, p.277-290, abr. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000200001>.

CERRI, CC; CERRI, CEP. 2007. Agricultura e Aquecimento Global. 2007. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <[http://www.aquecimento.cnpem.br/bibliografia/agr\\_e\\_aquec\\_Cerri\\_2007.pdf](http://www.aquecimento.cnpem.br/bibliografia/agr_e_aquec_Cerri_2007.pdf)> Acesso: 02 out 2016.

COELHO, ANDRÉ LUIZ NASCENTES; RAMOS, ANDRÉ LUÍS DEMUNER; BERGAMASCHI, RODRIGO BETTIM. Aplicação dos Produtos Landsat-8/TIRS/OLI e Aster/GDEM na Avaliação do Comportamento Termal de Superfície, Usos e Topografia. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17., 2015, João Pessoa-pb, Brasil. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 1323 - 1330.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira grãos. 10º levantamento julho de 2013. Disponível em <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13\\_07\\_09\\_09\\_04\\_53\\_boletim\\_graos\\_junho\\_2013.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_07_09_09_04_53_boletim_graos_junho_2013.pdf)>. Acesso em Novembro de 2016.

CONFALONE, A.; COSTA, L.C.; PEREIRA, C.R. Eficiência de uso de la radiación en soja en distintas fases fenológicas bajo estres hídrico. **Revista Facultad de Agronomía**, La Plata, v.17, n.1, p.63-66, 1997.

CRUICKSHANK, M. M.; TOMLINSON, R. W.; TREW, S. Application of CORINE land-cover mapping to estimate carbon stored in the vegetation of Ireland. **Journal of Environmental Management**, v. 58, n. 4, 2000, p. 269-287.

CRUZ, SIHÉLIO JÚLIO SILVA. **CARACTERÍSTICAS MORFOFISIOLÓGICAS DE PLANTAS E PRODUTIVIDADE DO MILHO**. 2013. 77 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia, Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp - Campus de Botucatu, Botucatu, 2013.

CUI, Z.; ZHANG, R.; M.L.G.; CHEN, E.; LI, E.; CHEN, X.; LI, J.; SHI, L. Interaction between genotypic difference and nitrogen management strategy in determining nitrogen use efficiency of summer maize. **Plant Soil**, v.317, p.267-276, 2009.

DIXON, R. K. 1995 Sistemas agroflorestales y gases invernadero. **Agroforesteria en las Americas**, Turrialba, v. 2, n. 7, pp. 22-26.

ER-RAKI, S.; et al. Determination of crop evapotranspiration of table grapes in a semi-arid region of Northwest Mexico using multi-spectral vegetation index. **Agricultural Water Management**, v.122, p.12-19, 2013.

EUCLIDES, V.P.B.; THIAGO, L.R.L.S. E OLIVEIRA, M.P. (1993): “Consumo de forragem por novilhos pastejando cinco gramíneas”, em **Reunião da Sociedade Brasileira de Zootecnia**. Anais... Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Zootecnia, p.491.

FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2015. **Oecd-fao Agricultural Outlook**, [s.l.], p.61-108, 1 jul. 2015. OECD Publishing. [http://dx.doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2015-en](http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-en).

FEITOSA, MARCELO VIANA. **Variação Temporal do Índice de Vegetação (Ndv) Correlacionada ao Uso e Manejo do Solo para Estimativa da Erosão**. 2006. 143 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2006.

FERERES, E.; SORIANO, M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, v.58, p.147-159, 2007.

FERNANDES, PABLO; VEIVERBERG, KELLY TALINE; SEBEM, ELÓDIO. Determinação da Produtividade de Soja por Sensoriamento Remoto em Nível de Talhão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais XIV simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**. Natal: Inpe, 2009. p. 2009 - 2015.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: 2004. 536p.

FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. P.; SALOMONI, E. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. **Ciência Rural**, v.36, n. 2, 2006. p.656- 659.

FONTANA, D.C.; ALVES, G.M.; ROBERTI, D.; MORAES, O.L.L.; GERHARDT, A. Estimation of the absorbed photosynthetically active radiation by the soybean crop through modis sensor data. **Bragantia**, v.71 n.4, Campinas, 2012.

GALLON, M. M. P.; SANCHES, L.; 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.3, p.79-88, 2006.

GALVANI, E. Avaliação preliminar da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) na região metropolitana de são paulo I Seminário de Pesquisa em Geografia - Programa de Pós-graduação em Geografia Física - FFLCH - USP - 8 a 10 dez 2003.

GOSSE, G.; VARLET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRND, J.M.; LEMAIRE, G. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert vegetal. **Agronomie**, v.6, p.47-56, 1986.

GOWARD, S. N.; TUCKER, C. J.; DYE, D. G. North American vegetation patterns observed with the NOAA-7 advanced very high resolution radiometer. **Plant Ecology**, v. 64, n.1, p.3-14, 1985.

GRAUMLICH, L. J. & L. B. BRUBAKER. Long-tenn trends in forest net primary productivity: Cascade Mountains, Washington. **Ecology** 70(2) p. 405-410. 1989.

GURGEL, HELEN DA C.; FERREIRA, NELSON J.; LUIZ, ALFREDO J. B.. Estudo da variabilidade do NDVI sobre o Brasil, utilizando-se a análise de agrupamentos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.85-90, abr. 2003. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662003000100014>.

HAMZELO, M. et al. MODELLING OF CARBON MONOXIDE AIR POLLUTION IN LARG CITIES BY EVALUETION OF SPECTRAL LANDSAT8 IMAGES. **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.**, [s.l.], v. -1-5, p.281-285, 11 dez. 2015. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-1-w5-281-2015>.

HOLBEN, B. N. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**. V. 7, n. 11, p. 1417-1434, 1986.

IBGE. Bom Jesus – PI: Lavoura temporária, ano 2013. Disponível em <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=220190&search=piaui|bom-jesus>>. Acessado em 07 de maio de 2015.

IBGE. Contas Nacionais - PIB - valores correntes, ano 2015. Disponível em <<http://brasilemsintese.ibge.gov.br/contas-nacionais/pib-valores-correntes.html>>. Acessado em 18 de outubro de 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate change 2007**. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881p.

JENSEN JR. (2007) Remote sensing of the environment: an Earth Resources Perspective. 2. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall. 592p.

JOHANN, J.A.; ARAÚJO, G. K. D.; ROCHA, J. V. (2009). Avaliação do perfil temporal de NDVI decendial do sensor SPOT Vegetation em pixels “puros” e “não puros” derivados de mapa de uso da terra realizado a partir do sensor Landsat-5/TM. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto – SBSR, Curitiba, PR.

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 CO2 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.

LIETH, H. La producción de substancia organica por la capa vegetal terrestre y sus problemas. **Acta Cient. Venez**, 12:107-114.1961.

LOBELL, D. B. et al. Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.94, p.205-220, 2003.

LUSTOSA FILHO, J. F. **Dinâmica de nutrientes e fósforo em solos do cerrado piauiense em função do uso e manejo do solo**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí. Bom Jesus: UFPI, 2014, 75 p.

MAHEY, R.K.; SINGH, R.; SIDHU, S.S.; NARANG, R.S. The use of remote sensing to assess the effects of water stress on wheat. **Experimental Agriculture**, v.27, p.423-429, 1991.

MAHEY, R.K.; SINGH, R.; SIDHU, S.S.; NARANG, R.S. The use of remote sensing to assess the effects of water stress on wheat. **Experimental Agriculture**, v.27, p.423-429, 1991.

MARENGO, JA. 2006. Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI. Brasília: MMA, 212 p.: il. color ; 21 cm. (Série Biodiversidade, v. 26).

MATIAS, JOÃO FILLIPE GENEROSO; STRECK, LUCIANO; AGUILAR, DAMIAN DULAU. Geração de mapas de produtividade de milho (Zea mays) com índice de vegetação NDVI de imagens Landsat 8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2015, João Pessoa. **Anais XVII simpósio brasileiro de sensoriamento remoto**. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 157 - 162.

- MEIRELES, M.L.; HENRIQUES, R.P. Produção primária líquida em área queimada e não queimada de campo sujo de cerrado (Planaltina - DF). **Acta bot. bras.** 6(2): 1992.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production en Britain. **Proceedings of the Royal Society of London**, v.281, n.980, p.277-294, 1977.
- MONTEITH, J. L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, v.29, p.17-37, 1965.
- MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v.9, p.747- 766, 1972.
- MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. 2. ed. London: Edward Arnold, 1990.
- MOREIRA, ANDREISE et al. ANÁLISE COMBINADA DE SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI, TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO PLUVIAL SOBRE PASTAGEM NATIVA EM SANTA MARIA, RS. **Revista Ciência e Natura**, Santa Maria, p.051-053, dez. 2013.
- NASCIMENTO, JOÃO TAVARES; SILVA, IVANDRO DE FRANÇA. Efeitos de leguminos e de adubação mineral na produção do milho em um luvissole degradado de alagoinha, PB. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 24, n. 2, p.103-111, 2003.
- NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Landsat Data Continuity Mission: Continuously Observing Your World. 2013. Disponível em: . Acesso em: 23 set 2016.
- NOVELLI, ANTONIO et al. Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain). **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, [s.l.], v. 52, p.403-411, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2016.07.011>.
- PARUELO, J.M. et al. Estimation of primary production of subhumid rangelands from remote sensing data. **Applied Vegetation Science**, v.3, 2000. p. 189-195.
- PATEL, N. R. et al. Evaluation of Modis data potential to infer water stress for wheat NPP estimation. **Topical Ecology**, v.51, p.93-105, 2010.
- PEDREIRA, J.V.S. (1973): “Crescimento estacional dos capins colônias Panicum maximum Jacq., gordura Melinis minutiflora Pal de Beauv, Jaraguá Hyparrhenia rufa (Ness) Stapf e pangola de Taiwan A-24 Digitaria pentzii Stent”, **Boletim da Indústria Animal**, v.30, p.59-145.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapotranspiração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- PEREIRA, C.R. Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais. **Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)**, Universidade Federal de Viçosa, 2002, 282p.
- PITI, M. D. & H. F. HEADY. Responses of annual vegetation to temperature and rainfall patterns in Northern California. **Ecology** 59(2): p.336-350. 1978.
- PORRAS, C.A; CAYÓN, D.G.; DELGADO, O.A. Comportamiento fisiológico de genótipos de soya en diferentes arreglos de siembra. **Acta Agronomica**, v.47, n.1, p.9-15, 1997.
- RIBEIRO, S. C. et al. Quantificação de biomassa e estimativa de estoque de carbono em uma capoeira da zona da mata mineira. **Revista Árvore**, v.34, n.3, 2010, p.495-504.

RIZZI, RODRIGO. **Geotecnologias em um Sistema de Estimativa da Produção de Soja: Estudo de Caso no Rio Grande Do Sul**. 2005. 216 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sensoriamento Remoto, Inpe, São José dos Campos, 2004.

RODRIGUES, MARCOS. **Anais da quarta conferência latino-americana sobre sistemas de informação geográfica/segundo simpósio brasileiro de geoprocessamento**. São Paulo: Epusp, 1993.

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no sequestro de carbono. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 20, n. 2, 2003. p. 209-223.

ROSENZWEIG, M. L. Net primary productivity of terrestrial communities: prediction from climatological data. **The American Naturalist** 102(923): 67-74. 1968.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation**. NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1 – 371, 1974.

RUNNING, S. W. et al. A global terrestrial monitoring network integrating tower fluxes, flask sampling, ecosystem modeling and EOS satellite data. **Remote Sensing Environment**, v. 70, 1999. p. 108-127.

SAFRA. **Revista do Agronegócio**. Goiânia, n.88, mar. 2007. P.14-20.

SANTOS, J. B.; PROCÓPIO, S. O.; SILVA, A. A.; COSTA, L. C.; Captação e aproveitamento da radiação solar pelas culturas da soja e do feijão e por plantas daninhas. **Bragantia**, Campinas, v.62, n.1, p.147-153, 2003.

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.

SHAMS, SH. BAHRAMVASH. AUTOMATIC PADDY RICE MAPPING INTERFACE USING ARCEngine AND LANDSAT8 IMAGERY (CASE STUDY IN NORTH PART OF IRAN). **Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.**, [s.l.], v. -2/3, p.79-83, 22 out. 2014. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w3-79-2014>.

SHARMA-NATU, P.; GHILDIYAL, C.M. Potential targets for improvement photosynthesis and crops yield. **Current Science**, v.12, p.1918-1925, 2005.

SILIM, S. N., and SAXENA, M. C. Comparative performance of some faba bean (viciafaba) cultivars of contrasting plant types. 2. Growth and development in relation to yield. **J. Agric. Sci. Cambridge** v.118. p.333-342, 1992.

SILVA, B. B.; BEZERRA, M. V. C. Determinação dos fluxos de calor sensível e latente na superfície utilizando imagens TM – Landsat 5. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. v. 14, n. 2, p. 174-186, 2006.

SILVA, B.B.; GALVÍNCIO, J.D.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; MACHADO, C.C.C.; OLIVEIRA, L.M.M.O.; 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, 57 - 64, 2013.

SILVEIRA, P.; KOEHLER, H. S.; SANQUETTA, C. R.; ARCE, J. E. O estado da arte na estimativa de biomassa e carbono em formações florestais. **Floresta**, v. 38, n. 1, 2008, p. 185-206.

SIMONNEAUX, V.; DUCHEMIN, B.; HELSON, D.; ER-RAKI, S.; OLIOSO, A.; CHEHBOUNI, A. G. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated area in central Morocco. **International Journal of Remote Sensing**, Abingdom, v. 29, n. 1, p. 95-116, 2008.

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.

SIMS, P. L. & J. S. SINGH. The structure and function of ten Western North American Grasslands. III- Net primary production, turnover and efficiencies of energy captures and water use. **Journal of Ecology** 66: 573-597. 1978.

SINCLAIR, T. R. Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation. **Crop. science**, v. 38, p. 638-643, 1998.

TAO, F. et al. Remote sensing of crop production in China by production efficiency models: models comparisons, estimates and uncertainties. **Ecological Modelling**, v.183, p.385-396, 2005.

TEICHRIEB, C. A.; SANTOS, D. M. D.; OLIVEIRA, P. E. S. D.; SENA, J. C. L.; ZIMERMANN, H R.; ROBERTI, D. R.; MORAES, O. L.L. D. Análise da eficiência de utilização da luz pela cultura do milho sob dois diferentes sistemas de manejo do solo. **Ciência e Natura**, Edição Esp. Dez. 2013. p. 087 – 090.

TRABAQUINI, KLEBER et al. Caracterização De Lavouras Cafeeiras, Utilizando Técnicas De Geoprocessamento E Sensoriamento Remoto, No Município De Umuarama – PR. **Ciênc. Agrotec**, Lavras, v. 35, n. 1, p.35-44, jan. 2011.

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.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat Project Description. Disponível em:<[http://landsat.usgs.gov/about\\_project\\_descriptions.php](http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php)> Acesso em: 23 set 2016.

WOLF, S. et al. Strong seasonal variations in net ecosystem CO<sub>2</sub> exchange of a tropical pasture and afforestation in Panama. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, 2011. p. 1139–1151.

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.

ZHOU, JIHUA et al. Comparison modeling for alpine vegetation distribution in an arid area. **Environmental Monitoring And Assessment**, [s.l.], v. 188, n. 7, p.407-421, 15 jun. 2016. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5417-x>.