

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E
UMIDADE DO SOLO POR IMAGENS LANDSAT 8 EM
DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NA BAIXADA
CUIABANA MT**

MARCOS ALVES FAUSTO

**PROF. DRA. NADJA GOMES MACHADO
ORIENTADORA**

Cuiabá, MT.
Dezembro de 2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

**ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E
UMIDADE DO SOLO POR IMAGENS LANDSAT 8 EM
DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NA BAIXADA
CUIABANA MT**

MARCOS ALVES FAUSTO

*Tese apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física
Ambiental da Universidade
Federal de Mato Grosso, como
parte dos requisitos para
obtenção do título de Doutor em
Física Ambiental.*

PROF. DRA. NADJA GOMES MACHADO

Cuiabá, MT

Dezembro de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F268e Fausto, Marcos Alves.

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E UMIDADE DO SOLO
POR IMAGENS LANDSAT 8 EM DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO
NA BAIXADA CUIABANA, MT. / Marcos Alves Fausto. -- 2018

75 f. ; 30 cm.

Orientadora: Nadja Gomes Machado.

Co-orientador: Marcelo Sarcadi Biudes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2018. Inclui bibliografia.

1. Índice de Vegetação. 2. SEBAL. 3. Água. 4. Solo. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR E UMIDADE DO SOLO POR IMAGENS LANDSAT 8 EM DIFERENTES COBERTURAS DO SOLO NA BAIXADA CUIABANA

AUTOR: MARCOS ALVES FAUSTO

Tese de Doutorado defendida e aprovada em 14 de dezembro de 2018, pela comissão julgadora:



Profa. Dra. Nadja Gomes Machado
Orientadora

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Mato Grosso – IFMT



Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes
Coorientador

Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Victor Hugo de Moraes Danelichen
Examinador Externo

Universidade de Cuiabá - UNIC



Prof. Dr. Leone Francisco Amorim Curado
Examinador Interno

Instituto de Física - UFMT



Prof. Dr. Carlos Alexandre Santos Querino
Examinador Externo

Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente (IEAA) – UFAM

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a Deus, aos meus pais Maria da Glória Alves de Alencar e Francisco de Assis Fausto, aos meus amigos que me incentivaram e também aos meus irmãos pela companhia em todo momento. Dedicção eterna ao Prof. Dr. Fernando Quites.

AGRADECIMENTOS

- À Deus pela força;
- A Professora Dra. Nadja Gomes Machado pela orientação, confiança, paciência, disposição e ajuda na realização do trabalho;
- Ao Prof. Dr. Marcelo Sacardi Biudes pelas contribuições e sugestões durante o desenvolvimento do trabalho;
- Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela grande dedicação, incentivo e empenho em poder tornar esta pós-graduação referência e conceituada no Brasil e no Estado de Mato Grosso;
- A minha Mãe que sempre acreditou em mim e em todo tempo pedindo proteção e sabedoria a Deus a meu favor;
- A Rodrigo Martins de Oliveira pela cooperação, solidariedade durante esse período de trabalho;
- Aos meus amigos Lucas Peres Angelini, Pablinne Cynthia Batista da Silva, Heloisa Oliveira Marques, Danielle Christine Stenner Nassarden, Dalila Morgana de Souza Mützenberg, Vagner Marques Pavão e a Israel de Oliveira Ivo pela ajuda no campo;
- Ao meu amigo Professor Doutor Fernando Quites pela troca de conhecimento e amizade. Saudades eternas;
- À CAPES pelo auxílio financeiro;

ÉPIGRAFES

“Fazer o que se gosta é um dos grandes segredos para ser feliz”.

Fernando Quites

SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| LISTA DE FIGURAS | x |
| LISTA DE TABELAS | xii |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS | xiv |
| RESUMO | 1 |
| ABSTRACT | 2 |
| 1. INTRODUÇÃO | 3 |
| 1.1 PROBLEMATICA | 3 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 4 |
| 1.3 OBJETIVO GERAL..... | 5 |
| 1.4 OBJETIVO ESPECÍFICOS | 5 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 6 |
| 2.1 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO..... | 6 |
| 2.2 NDVI..... | 7 |
| 2.3 SAVI..... | 9 |
| 2.4 ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR – IAF | 9 |
| 2.5 CONTEUDO DE ÁGUA NO SOLO – CAS | 15 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 17 |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO | 17 |
| 3.2 COLETA DOS DADOS | 21 |
| 3.3 UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO..... | 24 |
| 3.4 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO..... | 24 |

| | |
|--|-----------|
| 3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS | 26 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 28 |
| 4.1 VARIAÇÃO METEOROLOGICA | 28 |
| 4.2 CONTEUDO DE ÁGUA NO SOLO (CAS) | 32 |
| 4.3 ÍNDICE DE AREA FOLIAR (IAF)..... | 33 |
| 4.4 MODELO DA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR..... | 37 |
| 4.5 MODELO DA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO.... | 43 |
| 5. CONCLUSÃO | 47 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 48 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Localização dos pontos de coleta em diferentes coberturas do solo na Fazenda Experimental da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. | 17 |
| Figura 2 - Pontos de amostragem no pixel representativo de cada cobertura do solo amostrada na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. | 22 |
| Figura 3 - Variação mensal da precipitação (A), radiação solar global – Rg (B), temperatura do ar – Tar (C), déficit de pressão de vapor d’água – DPV (D) nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. Área sombreada representa a estação seca. | 29 |
| Figura 4 - Variação mensal do Conteúdo de água no solo – CAS nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca | 33 |
| Figura 5 - Variação mensal do índice de área foliar – IAF nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca. | 35 |
| Figura 6 - Comparação entres os modelos de estimativa de IAF com os dados de campos nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca | 40 |
| Figura 7 - Espacialização da estimativa do IAF usando o modelo proposto nesse estudo para a Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. As cartas temáticas do dia 24/09/2015 (I) e 10/09/2016 (II) representam a estação seca e, 16/03/2015 (III) e 18/03/2016 (IV) representa a estação chuvosa | 42 |

Figura 8 - Comparação entre o modelo de estimativa de CAS com os dados de campos nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca..... 44

Figura 9 - Espacialização da estimativa do CAS usando o modelo proposto nesse estudo nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. As cartas temáticas são do dia 24/09/2015- (I) e 10/09/2016- (II) imagens representa a estação seca e 16/03/2015- (III) e 18/04/2016- (IV) as imagens que representa a estação chuvosa..... 45

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Identificação dos pontos de coleta em diferentes coberturas do solo na Fazenda Experimental da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. | 18 |
| Tabela 2 - Caracterização dos principais tipos de solo na Fazenda Experimental da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso..... | 18 |
| Tabela 3 - Dados meteorológicos e das imagens orbitais dos pixels amostrados na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca..... | 23 |
| Tabela 4 - Critérios de interpretação do desempenho dos valores estimados pelo índice de confiança. | 27 |
| Tabela 5 - Variação interanual e sazonal da precipitação (Ppt, mm), Radiação solar global (R_g , $W\ m^{-2}$), Temperatura do ar (T_{ar} , °C) Déficit de pressão de vapor (DPV) nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso..... | 28 |
| Tabela 6 - Correlação da precipitação (Ppt), radiação solar global (R_g), temperatura do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), na Baixada Cuiabana, Mato Grosso. | 32 |
| Tabela 7 - Variação interanual e sazonal do Conteúdo de água no solo (CAS) nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso..... | 32 |
| Tabela 8 - Variação interanual e sazonal do Índice de área foliar (IAF, m^2m^{-2}) nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso..... | 34 |
| Tabela 9 - Correlação do CAS com a precipitação (Ppt), radiação solar global (R_g), temperatura do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), IAF, NDVI, e a refletância da banda 2 do Landsat 8 nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) | |

da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. (*) p-valor < 0.05; (**) p-valor < 0.01; (***) p-valor < 0.001. 36

Tabela 10 - Correlação do IAF com a precipitação (Ppt), radiação solar global (Rg), temperatura do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), NDVI, SAVI e a refletância da banda 7 do Landsat 8 nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. (*) p-valor < 0.05; (**) p-valor < 0.01; (***) p-valor < 0.001. 36

Tabela 11 - Valores máximos e mínimos do NDVI, SAVI e da refletância 7 nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso, nos anos de 2015 e 2016. 38

Tabela 12 - Validação dos Modelos de estimativa do IAF pela equação de Allen et al. (2007) e o modelo proposto nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. r = correlação de Pearson r^2 = coeficiente de determinação. d = coeficiente de Wilmont. c = índice de confiança. REQM = Raiz do erro quadrático médio. 39

Tabela 13 - Validação do Modelo de estimativa do CAS proposto por fausto nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso, em que r é a correlação de Pearson, r^2 - coeficiente de determinação, d – coeficiente de wilmont, c – índice de confiança e REQM – Raiz do erro quadrático médio. (*) p-valor < 0.05; (**) p-valor < 0.01; (***) p-valor < 0.001. 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

| | |
|----------------|---|
| IAF | Índice de área foliar |
| AB | Abacate |
| CJ | Caju |
| BN | Banana |
| CQ | Coqueiro |
| MG | Mangueira |
| TC | Teca |
| CD | Cerradão |
| CS | Cerrado Strict sensu |
| PH | Pastagem Humidicola |
| PM | Pastagem Mista |
| PT | Pastagem Tanzânia |
| c | Índice de confiança |
| RMSE | Raiz do erro quadrático médio |
| r | Correlação de Pearson |
| R ² | Coefficiente de determinação |
| CAS | Conteúdo de água no solo |
| SEBAL | Surface Energy Balance Algorithm for Land |
| NDVI | Normalized Difference Vegetation Index |
| SAVI | Soil Adjusted Vegetation Index |
| TM | Thermal Mapper |
| IVP | Infravermelho próximo |
| V | Faixa do vermelho |
| L | Constante de ajuste do solo |
| FEX | Fazenda Experimental |
| UFMT | Universidade Federal de Mato Grosso |

| | |
|-------|---------------------------------------|
| Aw | Classificação climática de Köppen |
| A1 | Área de coleta 1 |
| A2 | Área de coleta 2 |
| A3 | Área de coleta 3 |
| A4 | Área de coleta 4 |
| A5 | Área de coleta 5 |
| PC | Ponto central |
| PN | Ponto ao norte |
| PL | Ponto ao Leste |
| PS | Ponto ao Sul |
| PO | Ponto ao Oeste |
| UR ar | Umidade Relativa do ar |
| Tar | Temperatura do ar |
| Rg | Radiação solar global |
| DPV | Deficit de pressão de vapor d'água |
| es | Pressão de saturação de vapor d'água |
| ea | Pressão de vapor real |
| Ug | Umidade gravimétrica |
| ds | Densidade do solo |
| Ms | Massa seca |
| Vt | Volume total |
| Mu | Massa úmida |
| NIR | Banda de refletância 5 |
| RED | Banda de refletância 4 |
| Var | Variáveis |
| ZCAS | Zona de Convergência do Atlântico Sul |
| PPT | Precipitação |

RESUMO

FAUSTO, M. A. Estimativa do índice de área foliar e umidade do solo por imagens Landsat 8 em diferentes coberturas do solo na baixada Cuiabana, MT. Cuiabá, 2018. Tese (Doutorado em Física Ambiental) -Instituto de Física. Universidade Federal de Mato Grosso.

A Baixada Cuiabana Matogrossense está localizada na região Centro-Oeste do Brasil, numa área de transição entre o Cerrado e o Pantanal norte de Mato Grosso. Essa área abriga uma ampla diversidade de ecossistemas naturais e áreas modificadas. O índice de área foliar (IAF) é uma eficiente medida da cobertura da superfície do solo, pois, controla as trocas de massa e energia em uma superfície vegetada. Dessa forma o objetivo deste trabalho foi estimar o índice de área foliar e a umidade do solo por imagens Landsat 8 em diferentes coberturas do solo na Baixada Cuiabana, por meio de um modelo empírico desenvolvido para a área de estudo. As coletas de dados foram realizadas entre os meses de fevereiro de 2015 a fevereiro de 2017 em 11 coberturas vegetadas localizadas na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso (FEX), no município de Santo Antônio de Leverger – MT. A mensuração do IAF foi obtida por um Ceptômetro (*Modelo LP-80*) e a umidade do Solo pelo equipamento *Soil Moisture Sensor (modelo MP 406)*, além de dados gravimétricos e de densidade do solo. Os modelos desenvolvidos para estimar o IAF e o CAS apresentaram índice de confiança (c) acima de 0.80 em relação aos dados de campo. As correlações (r) e os coeficientes de determinação (r^2) foram superiores a 0.70. A raiz do erro quadrático médio (RMSE) entre os valores obtidos por outros modelos de estimativas de IAF foram superiores em comparação aos valores estimados pelo modelo proposto nesse estudo. Os parâmetros estatísticos adotados na pesquisa apresentaram resultados ótimos. As estimativas realizadas foram semelhantes aos dados medidos em campo numa escala temporal e espacial, corroborando para aplicabilidade do modelo proposto.

PALAVRAS-CHAVE: Índice de Vegetação, SEBAL, Água, Solo.

ABSTRACT

FAUSTO, M. A. Estimation of leaf area index and soil moisture by Landsat 8 images in different soil cover in the lowland Cuiabana, MT. Cuiabá, 2018. Thesis (Doctorate in Environmental Physics)-Institute of Physics. Federal University of Mato Grosso, 2018.

The Baixada Cuiabana Matogrossense is located in the Center-West region of Brazil, in a transition area between the Cerrado and the northern Pantanal of Mato Grosso. This area harbors a wide diversity of natural ecosystems and modified areas. Leaf area index (LAI) is an efficient measure of soil surface cover, as it controls the exchange of mass and energy on a vegetated surface. Thus, the objective of this work was to estimate leaf area index and soil moisture by Landsat 8 images in different soil coverages in the Cuiabana basin, by means of an empirical model developed for the study area. Data collection carried between February 2015 and February 2017 in 11 vegetation coverages, located in the Experimental Farm of the Federal University of Mato Grosso (FEX), in the municipality of Santo Antônio de Leverger - MT. The IAF measurement was performed by a Ceptômetro (Model LP-80) and Soil Moisture by Soil Moisture Sensor (model MP 406) in addition to gravimetric and soil density data. The models developed to estimate the LAI and CAS presented a confidence index above 0.80 compared to the data measured in the field. Correlations (r) and determination coefficients (r^2) were higher than 0.70. The root mean square error (RMSE) among the LAI values obtained by other models of LAI estimates was higher in comparison to the values estimated by the model proposed in this study. The statistical parameters adopted in the research presented excellent results. The estimates of the proposed models were similar to the data measured in the field on a temporal and spatial scale, corroborating the applicability of the models.

KEYWORDS: Vegetation Index, SEBAL, Water, SOIL

1. INTRODUÇÃO

1.1 PROBLEMATICA

A Baixada Cuiabana Matogrossense está localizada na região centro-oeste do Brasil, numa área de transição entre o Cerrado e o Pantanal norte de Mato Grosso. Essa área abriga uma ampla diversidade de ecossistemas naturais e áreas modificadas. Em toda a extensão da baixada cuiabana é possível encontrar fragmentos de cerrado, matas de galerias, nascentes fluviais e uma diversidade de animais.

Os ecossistemas localizados na baixada cuiabana podem estar ameaçados devido as conversões das áreas naturais em pastagens e lavoura. Os fragmentos de Cerrado e matas de galerias são vizinhos a grandes áreas de pastagens e imensas plantações de grãos no estado, essa aproximação além de interferir na dinâmica do sistema solo-planta-atmosfera aumenta a degradação do ecossistema ao longo do tempo.

As modificações na dinâmica do uso do solo produzem mudanças nas propriedades químicas e físicas do solo, no microclima e nas variáveis climáticas, influenciando os sistemas hídricos e meteorológicos. Para compreender as alterações nos ecossistemas, os estudos utilizam-se de diferentes metodologias.

A pesquisa de campo utiliza-se de métodos diretos, necessitando de recursos humanos e equipamentos caros, que muitas vezes são adquiridos por meio de projetos financiados por instituições de fomento, já o sensoriamento remoto tem a vantagem de facilitar os estudos, visto que reduzem os custos e o tempo em obter informações do ambiente, pois utiliza-se de metodologias indiretas bastante eficazes nos estudos ambientais.

O uso do sensoriamento remoto é promissor nos estudos ambientais, pois contribuem no monitoramento da superfície terrestre fornecendo dados de mudanças no uso do solo. Há muitas técnicas que utilizam de sensoriamento remoto para estudar essas mudanças, e uma delas é o uso dos índices de vegetação.

Um dos índices de vegetação, é o Índice de área foliar (IAF), que pode ser obtido por métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos utilizam-se de pesquisa em campo com medições de comprimento e largura da folha, retiradas de folhas e

nos casos mais extremos o corte da planta. O método indireto baseia-se em sensoriamento remoto utilizando de índice de vegetação para estimativa desse parâmetro.

O IAF é bastante útil para monitorar o crescimento e a produção de biomassa no dossel da vegetação, no entanto, os métodos diretos são limitados a determinada fisionomia vegetal, além de exigir recurso financeiro para compra de equipamentos e tempo nas coletas de dados, e mesmo os métodos indiretos, ainda apresenta limitações comparado aos dados de superfície, além de serem equipamentos caros, são restritos a determinada cobertura vegetal.

O sensoriamento remoto apresenta alguns modelos que podem ser úteis para determinada cobertura, mas ainda muito limitado a determinado estudo. Por isso a necessidade de obter um modelo genérico que represente valores de IAF e Umidade do solo independentemente do tipo de cobertura do solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Os dados obtidos por métodos diretos/indiretos usando equipamentos de medição de IAF são muito importantes para validar os dados de estimativas por sensoriamento remoto. Por isso o estudo mensurou o IAF e a umidade do solo em diferentes coberturas do solo na baixada cuiabana para desenvolver modelos que represente os valores de IAF e conteúdo de água no solo para as 11 coberturas amostradas na FEX.

Por ser mais barato e acessível, o sensoriamento remoto apresenta como uma ferramenta eficaz para o monitoramento da superfície terrestre, pois utiliza-se de metodologias para determinar as mudanças na cobertura do solo em escala espacial e temporal, por isso é bastante utilizado nos estudos ambientais.

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido empregadas, no clima (ZAROUG et al 2012), na ecologia (RICHARDSON et al., 2011) e em modelos agrônômicos (GONZÁLEZ et al., 2008), em estudos ambientais (BIUDES et al., 2009, BARBOSA et al., 2012; DANELICHEN et al., 2016; FAUSTO et al., 2016) e também em estimativa de IAF e umidade do solo.

O IAF por ser um parâmetro biofísico comumente utilizada em monitoramento de cultura e estudos ambientais, indica a proporção da área verde por unidade de área no solo. Representa a razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa verde da vegetação por área do solo, sendo a parte foliar a responsável pela fotossíntese e produção de biomassa.

No entanto os modelos que utilizam de sensoriamento remoto para estimar o IAF e a umidade do solo ainda apresentam valores inconsistentes aos dados de campo, visto que o modelo mais comum representa uma etapa dentro do balanço de energia usando o algoritmo SEBAL que o qual ainda apresenta restrição ao próprio modelo do SEBAL.

Por isso o estudo propõe um modelo de estimativa de IAF e CAS baseando em refletância e índices de vegetações visando facilitar os estudos que utilizam do IAF e da umidade do solo independentemente do tipo de cobertura vegetal, corroborando com os estudos já existente na literatura e buscando aprimorar os estudos realizados na Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

1.3 OBJETIVO GERAL

Estimativa do índice de área foliar e umidade do solo por imagens Landsat 8 em diferentes coberturas do solo na Baixada Cuiabana.

1.4 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Avaliar a variação sazonal e anual de variáveis meteorológicas na área de estudo;
- Avaliar a variação espaço-temporal de índices de vegetação na área de estudo;
- Avaliar a variação espaço-temporal do índice de área foliar e conteúdo de água no solo;
- Analisar modelos de estimativa do IAF e CAS

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os índices de vegetação são modelos matemáticos desenvolvidos para avaliar a cobertura vegetal e relacionam a assinatura espectral e os parâmetros mensuráveis no campo tanto quantitativamente quanto qualitativamente (MENESES, 2012). São transformações lineares de bandas espectrais, geralmente nas faixas do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al., 1996).

Os índices são ferramentas pelas quais essas transformações são efetuadas, sendo realizadas diretamente pelos sistemas de informação geográfica. As bandas das imagens de satélite são compostas por pixels, que por sua vez, são transformados diretamente pelas equações, ressaltando determinados aspectos inerentes a cada índice (ROSENDO & ROSA, 2005).

Os índices são apontados como indicadores de crescimento e vigor da vegetação e podem ser utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos com os quais apresentam altas correlações incluindo o índice de área foliar, biomassa, porcentagem de cobertura do solo, atividade fotossintética e produtividade (PONZONI, 2001). Esses índices têm sido utilizados com sucesso para o monitoramento de mudanças na vegetação em escala continental, regional e global (BANNARI et al., 1995). Esse sucesso deve-se a refletâncias diferencial da clorofila nos comprimentos de onda do visível e infravermelho.

Os índices de vegetação de maneira geral realçam o comportamento espectral da vegetação presente na imagem correlacionando-se com os aspectos biofísicos como biomassa, vigor da vegetação, cobertura do solo, atividade fotossintética, dentre outros aspectos. Esses índices normalmente são utilizados para caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície bem como sua distribuição espaço-temporal a qual é inerente às condições climáticas e aos ciclos fenológicos anuais (MENESES, 2012).

Os valores obtidos para índices de vegetação estão diretamente ligados à disponibilidade hídrica do sistema, portanto, a escolha de imagens de satélite de

períodos úmidos ou de estiagem apresentarão resultados diferenciados. Contudo, geralmente a escolha das melhores imagens de satélite coincide com o período de estiagem, visto que normalmente neste período há uma menor cobertura de nuvens sobre a área alvo.

Segundo HUXMAN et al. (2004), a sazonalidade climática influencia a fenologia da vegetação com períodos de maior produtividade vegetal e brotação de folhas, quando são registrados maiores valores do índice de vegetação (estação chuvosa), e períodos de menor produtividade e senescência de folhas, apresentando valores baixos do índice de vegetação (estação seca).

Dessa forma, variações na determinação de áreas com cobertura vegetal podem estar associadas à dinâmica climática, especificamente em relação aos índices pluviométricos do ano de aquisição e antecedente à tomada das imagens.

A modelagem dos índices de vegetação é obtida por meio de processamento de informações contidas nas bandas que apresentam refletância na região do visível (vermelho) e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Na faixa espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar devido à presença da clorofila e isso ocasiona baixa refletância. Por sua vez, na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta refletância. Portanto, a combinação dessas duas faixas espectrais realça as áreas de vegetação nas imagens e, quanto maior o contraste maior é o vigor da vegetação na área imageada.

2.2 NDVI

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) proposto por ROUSE et al. (1973), é um índice utilizado principalmente em pesquisas ambientais, pois permite fazer análises sobre a cobertura vegetal de determinada região em diversas escalas. Em se tratando de pesquisas utilizando imagens de satélite, o NDVI é um índice muito utilizado, pois, reduz o efeito topográfico e apresenta uma escala de medida linear entre -1 e 1.

O NDVI é obtido pela razão entre a diferença da refletância do infravermelho próximo e a refletância do vermelho, dividida, respectivamente, pela soma das mesmas, destaca ALLEN et al. (2002). Esse índice é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde. Geralmente para superfícies com presença de alguma

vegetação o valor do NDVI é positivo, para superfícies sem vegetação o valor é nulo, já para a água e nuvens o valor geralmente é negativo. Quanto mais próximo do extremo positivo, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, condiz com seu estágio denso e desenvolvido da cobertura vegetal. Esse valor diminui gradativamente para cobertura vegetal menos densa, que apresenta valores positivos, porém não muito elevados (ESTEVEES et al., 2012).

Embora NDVI é bastante utilizado no sensoriamento remoto. Em estudo apresentado por LIMA et al. (2013) o NDVI apresentou boa acurácia para identificar os usos que ocorrem na sub-bacias das Posses-MG e também permitiu localizar na sub-bacias distribuição geográfica dos diferentes usos do solo e identificar as áreas críticas em relação à cobertura vegetal.

Em RAMOS et al. (2010), a utilização do NDVI possibilitou a avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação através da avaliação do uso e ocupação do solo e condições biológicas a partir de imagens LANDSAT 5 TM. O mapeamento por meio do NDVI analisou o grau de degradação sofrido no parque entre 2000 e 2010.

Em estudo de BRANDÃO & SILVA (2007), utilizaram o NDVI para estimar o acúmulo da biomassa na Região de Barbalha, CE. Os valores de NDVI, foram utilizados juntamente com dados de superfície para a estimativa da biomassa acumulada. Para LIMA et al. (2015), o uso do NDVI possibilitou monitorar as alterações da cobertura vegetal no município de Garanhuns, PB, através de imagem de satélite LANDSAT 5 TM, nos anos de 2000 e 2010. O autor buscou classificar, através de porcentagem, a vegetação rasteira, vegetação espaça, vegetação densa e ausência de vegetação.

Mesmo apresentado resultados eficientes no monitoramento da superfície vegetada os estudos realizados por JENSEN (2009), apresenta algumas limitações do NDVI em relação a influência de radiância de trajetória atmosférica, saturação em relação a altos valores de Índice de Área Foliar (IAF) e sensibilidade às mudanças do substrato do dossel, como o solo (ELMORE et al., 2000)

2.3 SAVI

O SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*) desenvolvido por HUETE (1988), foi proposto devido às limitações observadas no NDVI. Desenvolveu-se o SAVI para melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo (JENSEN, 2009). Por isso foi proposto um índice melhorado a partir de uma constante, determinada “L”, para o fator de ajuste com o substrato do dossel. Criou-se, portanto o SAVI que busca amenizar os efeitos do “**background**” do solo.

A constante L pode apresentar valores variando entre 0 a 1, variando segundo a própria cobertura vegetal (HUETE, 1988); PONZONI & SHIMABUKURO, 2009). Dependendo da cobertura vegetal a estudar foram fornecidos os seguintes valores para o processamento do SAVI: L = 1 (para baixas densidades de vegetação); L = 0,5 (para médias densidades de vegetação) e L = 0,25 (para altas densidades de vegetação).

Segundo HUETE (1988), em geral o fator L = 0,5 é mais utilizado, uma vez que agrupa maior variação de vegetação. Contudo, o SAVI limita-se em função dos diferentes biomas e situações de uso e ocupação, uma vez que os valores da constante são generalizados, não considerando as características dos ambientes analisados, mas apenas a densidade vegetada (PONZONI & SHIMABUKURO, 2009).

O SAVI assim como o NDVI é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde, porém faz parte de um grupo de índices considerados híbridos, pois utiliza um fator de ajuste para minimizar o efeito da presença de solo em meio à vegetação. Segundo HUETE (1988), o SAVI mede ou aproxima a distância entre o pixel e a linha do solo retirando o efeito dos solos claros ou escuros amenizando assim os efeitos do background do solo.

Os valores obtidos da classificação SAVI também variam em range negativo-positivo (-1,5 a 1,5), onde áreas com presença de alguma vegetação o valor é positivo e áreas sem vegetação, corpos d’água e nuvens o valor geralmente é negativo.

2.4 INDICE DE ÁREA FOLIAR – IAF

O IAF é a razão entre a área foliar do dossel e a unidade de superfície projetada no solo (m^2/m^2). Esse parâmetro biofísico é uma variável que está diretamente relacionada com produção de biomassa pelo dossel, com a radiação solar e com a

evapotranspiração. Vários estudos utilizam o IAF, pois permite a previsão da produção primária fotossintética e também é uma ferramenta de referência para o crescimento das culturas agrícolas e florestais, sendo muito utilizado no monitoramento de culturas (WATSON, 1947; BREDA et al 2003).

Há duas formas de obter valores de IAF: usando **métodos diretos e indiretos**. Os métodos diretos referem-se as medições da folhagem que permitem o cálculo da forma, tamanho e número de folhas. Às medidas tomadas diretamente na planta, sendo muito importantes para estimativa adequada e amostragem representativa, que será maior ou menor em função da arquitetura da vegetação (JESUS et al., 2001; ZANCHI et al., 2009; BARBOSA et al., 2012; LIMA et al., 2013; DE ALMEIDA et al., 2015).

O trabalho de campo é bastante intensificado, por isso a obtenção de IAF por métodos diretos apresentam maior precisão quando bem aplicados mas exige mais tempo de dedicação da análise à medida em que aumentam a complexidade do dossel e a localização da área de pesquisa (SBRISSIA & SILVA, 2008; COELHO FILHO et al., 2010).

As coletas “in loco” podem ser dificultadas em espécies arbóreas de grande porte, do número de folhas de árvores adultas. Essas dificuldades podem ser observadas nos trabalhos realizados por MACFARLANE et al., (2000) e WELLES & COHEN, (1996), em áreas florestais com cobertura é heterogênea, dificultando a amostragem.

Já os métodos diretos destrutivos exigem o abate das árvores, a divisão da copa em três estratos e a amostragem das folhas de cada estrato. Em seguida, é feita a medição da área foliar e sua secagem em estufa. Após este processo é determinado o IAF utilizando scanners e softwares. Este método, apesar de eficaz, é muito trabalhoso e, por vezes, inviável, visto que destrói a estrutura vegetal (COELHO FILHO et al., 2010).

Quantificar o IAF seja por método direto ou indireto, é importante para determinar as condições do dossel vegetativo. O dossel vegetativo controla o microclima abaixo da copa, regula a entrada de radiação solar, influencia a dinâmica da troca de gás carbônico entre o sistema solo-planta-atmosfera e mantém a umidade do solo. Portanto, é um componente importante nos ciclos biogeoquímicos nos ecossistemas (BREDA, 2003; BREDA et al 2003).

Por isso, o IAF é determinante na produtividade (RIGHI & BERNARDES, 2008), no consumo de água da vegetação (MACFARLANE et al., 2000), pois participam na interceptação da radiação solar e nas trocas energéticas e gasosas, afetando a evapotranspiração (ANGELOCCI & VALANCOGNE, 1993; COELHO FILHO et al., 2004; 2007; RIGHI et al., 2008), a evaporação da água no solo (ALLEN et al., 1998) e a fotossíntese (HOLLINGER, 1992).

Portanto, as relações existentes entre a estrutura vegetal e o solo são importante no conhecimento da dinâmica no sistema solo-planta-atmosfera (NORMAN & CAMPBELL, 1989).

Já os métodos indiretos, baseia-se em medições sem contato direto com a estrutura do dossel da vegetação. Como exemplo as medidas da transmissão da luz direta e/ou difusa no dossel vegetativo, com possibilidade de armazenamento dos dados em memória eletrônica e posterior utilização com tratamento informatizado.

As medições indiretas apresentam a vantagem de não serem destrutivos e de permitirem maior frequência de leituras pela rapidez de mensuração, utilizando apenas a informação da fração de radiação transmitida que não sofreu atenuação pela estrutura do dossel vegetativo. Existem muitos instrumentos comercializados que utilizam esse princípio e com os quais se tem obtido resultados satisfatórios (ATROPINA et al., 2006; SOBRESSIA & SILVA, 2008).

O uso desses instrumentos é interessante por permitir maior amostragem, obtendo-se valores médios comparáveis no tempo, sendo de utilidade em estudos de variabilidade temporal de IAF (CASO et al., 1991; XAVIER et al., 2002), de interação fertilidade do solo e IAF (SMETHURS et al., 2002), de dinâmica de dossel (PAULA & LEMOS FILHO, 2001) e de produção de biomassa (LINHARES et al., 2000). No entanto, esses instrumentos precisam ser operados corretamente para minimizar erros, necessitando serem calibrados dependendo do tipo e da idade das plantas e localidade.

Dentre os muitos aparelhos comercializados que utilizam modelos que utilizam da fração transmitida de radiação se destacam os sensores quânticos, tais como o “LAI-2000” (LICOR) (NORMAN & CAMPBELL, 1989; WELLES, 1990; VELES & NORMAN, 1991), o “demo” (LANG et al., 1985), o “Ceptômetro” (WELLES & COHEN, 1996; DE ALMEIDA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2015), os sensores utilizados em fotografias hemisféricas (RICH, 1990; LEBLANC et al., 2005;

ZHANG et al., 2005; DEMEARES et al., 2008) e os sensores orbitais (SCHULER et al., 2005; FUENTES et al., 2008; BRANTLEY et al., 2011).

Outra limitação quanto a obtenção de IAF por método indireto está relacionada aos erros que usam o princípio da transmissão de luz pelo dossel, associadas à interceptação da radiação por ramos e ramos, com superestimava dos resultados principalmente em condições de baixo IAF, e à aglomeração de folhas, que fere a pressuposição de distribuição aleatória das folhas no plano de projeção onde são realizadas as mensurações (WELLES, 1990).

Essas subestimativas nos valores de IAF foram observadas em eucalipto (NORMAN & CAMPBELL, 1989; MACFARLANE et al., 2000), em florestas de coníferas (FASSNACHT et al., 1994; STENBERG, 1996), em pinus (LANG et al., 1985) e em cultura de girassol (NORMAN & CAMPBELL, 1989). Essas subestimativas de IAF podem ser corrigidas por coeficientes ou modelos envolvendo parâmetros vegetativos (LUCHARIA et al., 1998).

Outra forma de obtenção de IAF por método indireto é por fotografias hemisféricas, deve-se ter cuidado na instalação do instrumento, pois pode contribuir para o aumento do erro nas medidas de IAF, à má exposição das fotografias afeta o contraste entre as folhas e o céu, pode contribuir para a deformação causada pela projeção da imagem hemisférica no plano, produzindo o espalhamento e a difração da luz incidente pelas folhas (BIGNAMI & ROSSINI, 1996). O uso de fotografias hemisféricas foi usado por LEONG et al. (1982), em uma cultura de seringueira.

Para MONTE et al. (2007) as fotografias digitais comuns nas estimativas de índice de cobertura vegetal, correlacionando o IAF estimados com o uso do LAI-2000 encontraram correlações significativas entre as duas estimativas. Outro trabalho que apresentou bons resultados foi de MACFARLANE et al. (2007) que utilizou ambos os métodos em uma floresta de eucalipto.

A obtenção de IAF por métodos indiretos tem sido bastante utilizado nos estudos recentes, podemos listar os seguintes equipamentos nos trabalhos de obtenção indireta em campo: O analisador de dossel LAI-2000 (Li-Cor), se destaca por sua praticidade e rapidez na obtenção dos dados (WELLES, 1990), além de fornecer estimativa confiável do IAF (NORMAN & CAMPBELL, 1989).

O LAI-2000 tem sido amplamente empregado em estudos de estimativa de IAF em diferentes culturas (XAVIER et al., 2002; XAVIER & VETTORAZZI, 2003; MONTE et al., 2007; ARIAS et al., 2007; LARA et al., 2011; SILVA et al., 2011; MAJASALMI et al., 2012). Esse tipo de equipamento é equipado com uma lente hemisférica tipo “olho de peixe”, subdividida em cinco bandas angulares de visada com relação ao zênite desta maneira, a fração de luz que transpõe o dossel vegetativo (transmitância) nos diferentes ângulos é armazenada e utilizada no cálculo do IAF; um filtro óptico restringe as medidas de transmitância à faixa de luz abaixo de 490 nm, minimizando os erros da reflexão pelas folhas (COELHO FILHO et al., 2010).

No entanto, o LAI-2000 possui custo relativamente alto e a possibilidade de simplificar a técnica e minimizar tal custo é bastante interessante. Dessa forma, o sensoriamento remoto é uma alternativa para superar essa limitação, já que dispensa a necessidade de desfolhar ou arrancar uma árvore para saber seu IAF, poupando tempo e dinheiro, e destruição das plantas (DE ALMEIDA et al., 2015).

O uso de sensoriamento remoto tem-se apresentado como uma ferramenta eficaz nos estudos ambientais e agrônômicos. É provável que novas técnicas de possa oferecer metodologias para as estimativas de IAF independente do tipo de cobertura vegetal. Para FORMAGGIO & EIPHANIO (1988), as relações existentes entre os parâmetros físicos das culturas, como o IAF, e seu comportamento espectral é um passo importante para avaliar o desempenho e o desenvolvimento das culturas, utilizando modelos de dados de sensoriamento remoto com os índices de vegetação e refletância.

Os índices de vegetação NDVI e SAVI têm sido amplamente utilizados nos modelos para estimar o IAF por imagens de satélite em diferentes coberturas do solo. Eles permitem avaliar a variação espacial e temporal das características biofísicas como o IAF, atividade fotossintética da vegetação e vigor da vegetação, que são influenciadas pelo teor de água no solo e condições climáticas (LIU et al. 2012; BIUDES et al. 2014; DANELICHEN et al. 2014; FAUSTO et al 2014, SANTOS et al 2015, ANGELINI et al 2016).

Um dos modelos mais utilizado para estimar IAF por sensoriamento remoto é o de ALLEN et al. (2002), esse modelo foi desenvolvido para o processamento do balanço de energia usando o algoritmo SEBAL. Contudo, esse modelo gera uma

discrepância nas estimativas quando a superfície apresenta SAVI superior a 0.69. Outro modelo, é o modelo de NORMAN et al. (2003) baseado na fração de cobertura da superfície, o qual está relacionado aos valores máximos e mínimos de NDVI observados na superfície.

Mesmo que a equação de ALLEN et al., (2002) seja útil nos estudos de balanço de energia, usada pelo SEBAL, ela tem sido empregada em áreas de baixa cobertura vegetal como pastagens e Cerrados, visto que esse modelo foi desenvolvido em cobertura vegetal no hemisfério norte que possuem uma vegetação bastante distintas das regiões tropicais. O uso desse modelo em coberturas vegetais densa pode não ser representativa (FAUSTO et al., 2014).

Geralmente os modelos de estimativa de IAF apresentados na literatura científica baseia-se em regressões lineares entre os dados medidos em campo com os dados de índice de vegetação, porém as equações fornecidas por esses estudos são específicas para uma determinada área de estudo e tipo de cobertura (VETTORAZZI et al., 2013; GALVÍNCIO et al., 2013; NGUY ROBERTSON et al., 2014; ALMEIDA et al., 2015)

No estudo realizado por XAVIER (2002), a relação do IAF em diferentes tipos de cobertura do solo (cana-de-açúcar, pastagem, milho, eucalipto e floresta ripária) com o índice de vegetação da razão simples (RVI), o NDVI e o SAVI, o autor correlações significativas desses índices de vegetação com o IAF medido nessas culturas.

O autor observou que as relações foram entre o IAF e o NDVI e também entre o IAF e o SAVI, notou que os valores desses dois índices de vegetação (NDVI e SAVI) apresentaram-se maiores para valores menores de IAF, mas tenderam a se estabilizar para valores maiores de IAF. Os parâmetros estatísticos foram satisfatórios visto que os coeficientes de determinação encontrados para as relações entre IAF e SAVI foi 0,56, para IAF e RVI foi 0,70 e para IAF e NDVI foi 0,72, mostrando que o IAF apresentou melhor relação com o NDVI. Concluiu que o uso do NDVI, obtido de dados de sensoriamento remoto, foi eficaz para mapear o IAF em escala regional (XAVIER, 2002).

2.5 CONTEUDO DE ÁGUA NO SOLO – CAS

A umidade do solo é uma variável importante nos estudos ambientais, na meteorologia, hidrologia e agricultura (AHMAD & BASTIAANSSEN, 2003; VISCHEL et al., 2008; MATTIA et al., 2009; KONG et al., 2011). Tanto em sistemas hidrológicos ou agrônômico, o conhecimento desse parâmetro é crucial, pois controla a quantidade de água disponível para o crescimento da vegetação (COOK et al., 2006), bem como a recarga dos aquíferos (SENERIVIRATNE et al., 2006; KJELLSTRÖM et al., 2007; LAM et al., 2011).

Para ÁVILA et al., (2011), a umidade do solo desempenha um papel importante nos processos hidrológicos de superfície e transporte de sedimentos devido à sua relevante participação na separação da precipitação em infiltração e escoamento superficial. O autor ainda descreve que a umidade do solo exerce influência na interação solo-atmosfera, especialmente na evapotranspiração e na interferência dos processos vinculados à erosão hídrica, sendo, portanto, de grande utilidade para extensa faixa de aplicações visando à conservação do solo e da água.

O tipo de solo controla o particionamento da precipitação entre escoamento, infiltração e o transporte de sedimentos (VIVONI et al., 2007; ÁVILA et al., 2011). Vários estudos climáticos indicaram que a transferência de energia da superfície-atmosfera, circulação atmosférica e precipitação são significativamente afetados pelo espaço-temporal das variações de umidade no solo.

Esse parâmetro controla a evapotranspiração por sua influência na evaporação e na disponibilidade de água para as plantas influenciando o particionamento de calor latente e sensível na superfície (COOK et al., 2006; BEZERRA et al 2013).

Para CABRAL et al. (2011), a umidade do solo também é fundamental no ciclo biogeoquímico do CO₂, uma vez que o ecossistema pode deixar de ser absorvedor de CO₂ e passar a ser uma fonte de acordo com a disponibilidade de água no solo. No entanto, a grande variabilidade espacial e temporal da umidade do solo devido a heterogeneidade do solo, topografia, vegetação e clima dificulta a medição desse parâmetro (KONG et al., 2011).

Segundo ÁVILA et al., (2011), a alta variabilidade no espaço e no tempo, em face da influência de diversos fatores estáticos e dinâmicos do solo, e a interferência

das mudanças sazonais nas distribuições das chuvas. A umidade do solo é uma variável complexa, devido à heterogeneidade e à diversidade das condições ambientais envolvidas nesse processo.

Os estudos realizados com o objetivo de obter informações de umidade do solo é um grande desafio, pois o custo dos equipamentos, a dificuldade de acesso, torna essas medidas inviável. No entanto, as condições espaciais e temporais da variabilidade da umidade do solo pode ser determinada pelas técnicas de sensoriamento remoto, especialmente com base em dados obtidos por sensores de microondas ou imagens de satélite (MORAN et al., 2002; SU et al., 2003; WANG et al., 2007; VISCHEL et al., 2008; CROW et al., 2008; PAUWELS et al., 2009; PIERDICCA et al., 2010).

MELLO et al. (2011) na região da Serra da Mantiqueira (MG) e WESTERN et al. (2004) em uma bacia hidrográfica com características semiáridas na Austrália verificaram que o padrão da umidade do solo é influenciado por fatores como o clima, solo e vegetação. Durante a estação chuvosa, quando a precipitação excede a evapotranspiração, o padrão é dominado pelo movimento lateral da água, tanto na superfície quanto na subsuperfície, sendo a topografia o fator dominante (MOORE et al., 1998).

Para HÉBRARD et al. (2006), na estação seca, quando a evapotranspiração excede continuamente a precipitação, as condições de demanda atmosférica são dominantes do padrão espacial do conteúdo de água no solo, sendo esse padrão reflexo das diferenças de uso e das classes de solo, tendo aparência mais aleatória.

Portanto, o padrão espacial da umidade do solo, pode variar ao longo do ano, especialmente em regiões onde há forte concentração da precipitação em determinado período, uma vez que os fatores que controlam a umidade do solo estão associados às condições climáticas predominantes (ÁVILA et al., 2011; MELLO et al., 2011).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada na Fazenda Experimental (FEX) da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) ($15^{\circ}47'11''\text{S}$ - $56^{\circ}04'47''\text{O}$), no município de Santo Antônio de Leverger, distante à 33 km de Cuiabá, Mato Grosso, Brasil (**Figura 1; Tabela 1 e 2**).

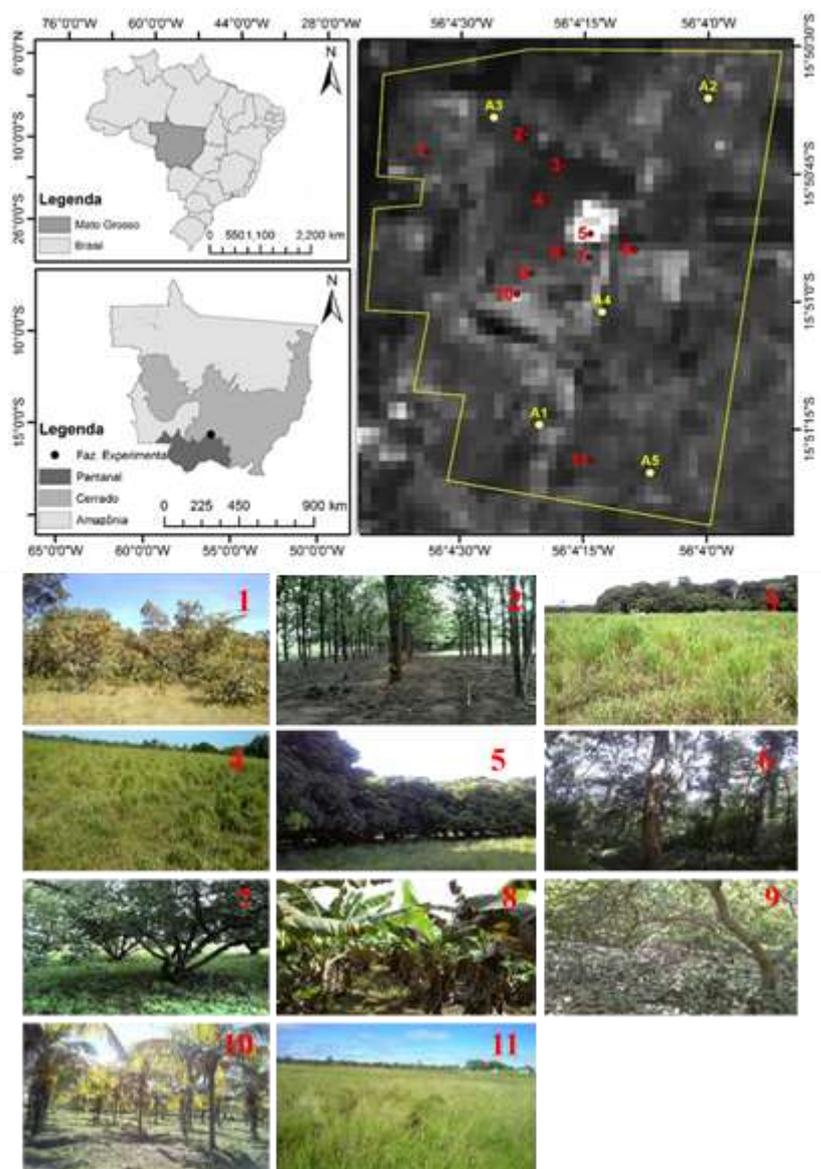


Figura 1: Localização dos pontos de coleta em diferentes coberturas do solo na Fazenda Experimental da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

Tabela 1: Identificação dos pontos de coleta em diferentes coberturas do solo na Fazenda Experimental da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

| Ordem de Coleta | SIGLA | Cobertura | Coordenada geográfica |
|-----------------|-------|-----------------------|-------------------------------------|
| 1 | CS | Cerrado stricto sensu | 15° 50' 39.67'' S; 56° 4' 31.18'' W |
| 2 | TC | Teca | 15° 50' 37.30'' S; 56° 4' 19.79'' W |
| 3 | PT | Pastagem Tanzânia | 15° 50' 40.77'' S; 56° 4' 15.58'' W |
| 4 | PM | Pastagem Mista | 15° 50' 44.84'' S; 56° 4' 17.96'' W |
| 5 | MG | Manga | 15° 50' 48.89'' S; 56° 4' 12.54'' W |
| 6 | CD | Cerradão | 15° 50' 50.61'' S; 56° 4' 07.73'' W |
| 7 | AB | Abacate | 15° 50' 51.79'' S; 56° 4' 12.52'' W |
| 8 | BN | Bananal | 15° 50' 51.22'' S; 56° 4' 15.53'' W |
| 9 | CQ | Coqueiro | 15° 50' 53.57'' S; 56° 4' 19.72'' W |
| 10 | CJ | Caju | 15° 50' 55.89'' S; 56° 4' 20.91'' W |
| 11 | PH | Pastagem humídica | 15° 51' 15.03'' S; 56° 4' 12.42'' W |

Tabela 2: Caracterização dos principais tipos de solo na Fazenda Experimental da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

| Caracterização | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 |
|----------------------|--|---|--|--|---|
| Classificação | NEOSSOLO QUARTZARÊNICO | PLINTOSSOLO PÉTRICO | NEOSSOLO QUARTZARÊNICO | LATOSSOLO AMARELO | PLANOSSOLO HÁPLICO |
| Litologia | Sedimentos arenosos | Sedimentos argilo-arenosos | Sedimentos arenosos inconsolidados | Sedimentos argilo-arenosos | Sedimentos síltico-argilosos |
| Drenagem | Bem drenado | Moderadamente drenado | Moderadamente drenado | Bem drenado | Imperfeitamente drenado |
| Morfologia (0-10 cm) | areia-franca; fraca muito pequena granular e grãos simples; solta, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e gradual | franco-arenosa muito cascalhenta; fraca pequena granular e grãos simples; extremamente firme, ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa | areia; grãos simples; muito friável, não plástica e pegajosa | franco-arenosa; fraca pequena granular e grãos simples; macia, friável, não plástica e não pegajosa; transição plana e clara | franco-argiloarenosa; moderados pequenos blocos subangulares e moderada pequena granular; ligeiramente dura, firme, ligeiramente plástica, ligeiramente pegajosa; transição plana e abrupta |

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, o clima regional é Aw com precipitação anual de 1335 mm, com uma estação chuvosa de outubro a abril e uma seca de maio a setembro (CHIARANDA et al., 2012) e temperatura média anual entre

24 e 26°C (BIUDES et al., 2012). A FEX possui uma variedade de coberturas vegetais, desde fragmentos vegetais naturais a áreas de culturas e pastagens. Abaixo mais informação sobre essas coberturas:

Cerrado strict sensu: Caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (Xilopódeos), que permite a rebrota após a queima ou corte (RIBEIRO et al., 2007; BASTOS et al., 2010).

Teca: (*Tectona grandis L.*) é uma espécie nativa da Ásia, uma das espécies mais valorizadas no mercado internacional de madeiras por sua alta durabilidade, boa estabilidade dimensional, resistência, baixa densidade e as qualidades estéticas de sua madeira, é uma árvore decídua, de grande porte e de copa circular. Sob condições favoráveis de crescimento, desenvolve tronco retilíneo com altura superior a 25 metros de alturas. Desenvolve-se em uma grande variedade de solos e formações geológicas (DRESHER, 2004; FIGUEIREDO, 2005; SALGADO et al. 2005).

Pastagem Tanzânia: (*Panicum maximum*) de crescimento ereto, formando touceiras e pode atingir até 1 metro de altura. Esta forrageira vem sendo utilizada como uma alternativa ao capim-colonião, forrageira do gênero *Panicum* tradicionalmente cultivada em solos mais férteis, e passou a ser usada como substituta a braquiária decumbens em processo de degradação (COSTA et al., 2004; SBRISSIA & SILVA, 2008).

Pastagem Mista (Braquiária e Tanzânia): O crescimento dessas forrageiras é do tipo cespitosas, ereto, formando touceiras o que expõem mais facilmente os seus meristemas apicais à decapitação, necessariamente devem ser manejadas sob pastejo menos intenso ou sob pastejo rotativo. As braquiárias crescem dentro de uma grande faixa de variação de habitats (de várzeas e bosques sombreados até semidesertos) sendo que a maioria das espécies é encontrada nas savanas africanas e no Cerrado Brasileiro. O interesse agrônômico dado ao gênero está relacionado ao seu uso como plantas forrageiras em pastagens (VALLE et al., 2000; SBRISSIA & SILVA, 2008).

Mangueira: (*Mangifera indica L.*) é uma árvore frondosa de porte médio a alto, podendo atingir até 30 metros de altura. Apresenta copa arredondada e simétrica, variando de baixa e densa a ereta e aberta e adquirindo eventualmente forma piramidal.

A folhagem é sempre verde. O sistema radicular da mangueira é caracterizado pela presença de uma raiz pivotantes, que pode se aprofundar bastante no solo, proporcionando uma boa sustentação à planta e possibilitando a sobrevivência em períodos de estiagem (DE NUNES et al., 2001; SILVA, 2006).

Cerradão: Apresenta dossel predominantemente contínuo e cobertura arbórea, a altura média do extrato arbóreo varia de 8 a 15 metros, proporcionando condições de luminosidade que favorecem à formação de estratos arbustivo e herbáceo diferenciados. Embora possa ser perenifólio, muitas espécies comuns ao Cerrado apresentam caducifolia em determinados períodos na estação seca; períodos nem sempre coincidentes com aqueles das populações do Cerrado (RIBEIRO et al., 1998; RIBEIRO et al., 2007; MACHADO et al., 2004; MACHADO & KLINK, 2005; RODRIGUES et al., 2013).

Abacate: São árvores de folhas perenes da família das lauráceas, pode chegar a 15 m de altura e apresentam folhas de cor verde-escura. O abacate é originário do México e América Central. Em relação ao desenvolvimento apresenta crescimento muito rápido e exige solos bem drenados, nos quais não haja encharcamento (DONADIO, 1995; COSTA et al., 2004).

Banana: (*Musa* spp.) é considerada uma das frutíferas mais cultivadas nos países de clima tropical e subtropical nos últimos anos. É um vegetal herbáceo que apresenta em sua estrutura raiz, caule, flores, frutos e sementes (BORGES et al., 2000; OLIVEIRA et al., 2008; CAMOLESE et al., 2012). Sua inflorescência é constituída pelo pedúnculo ou engaço, iniciando no ponto de fixação da última folha e tendo fim na inserção da primeira penca. A bananeira possui o tronco que é formado por um conjunto de bainhas a partir do rizoma até a roseta, sendo denominado de pseudocaule. (ROSA JUNIOR, 2000; SARAIVA et al., 2013; ROQUE et al., 2014).

Coqueiro: Uma palmeira de distribuição mundial, cultivada em mais de noventa países, principalmente nas regiões tropicais. Possui crescimento vegetativo lento, podendo atingir altura entre 10 e 12 m. possui estipe delgado, numerosas folhas na copa. Sistema radicular fasciculado, característico das monocotiledôneas. O caule é do tipo estipe, cilíndrico, não ramificado, de coloração acinzentada, apresentando externamente regiões lisas e regiões ásperas. A folha do coqueiro é do tipo pinada,

possui bainha e pecíolo que se prolonga numa raque onde se prendem numerosos folíolos (FORTE et al., 2002).

Caju: Considerado uma das mais importantes espécies cultivadas das regiões tropicais. O Caju (*Anacardium occidentale L.*) é o originário da América Tropical, pertence à família Anacardiaceae, que inclui árvores e arbustos tropicais e subtropicais. A maior diversidade de cajueiro, única espécie cultivada e de maior dispersão do gênero, encontra-se no Nordeste brasileiro, em diversos ecossistemas, especialmente nas zonas costeiras, compondo a vegetação de praias, dunas e restingas (LIMA 1988; BARROS 1995; CARNEIRO et al., 2002; AMORIM et al., 2011).

Pastagem Humidicola: pertencente ao grupo das estoloníferas/rizomatosas de crescimento rasteiro ou prostrado, toleram pastejo mais intenso, pois seus meristemas apicais ficam menos expostos à decapitação pelos animais (COSTA et al., 2004). Essas forrageiras têm alta capacidade de adaptação a vários tipos de solos, especialmente, os de baixa fertilidade e com alto nível de umidade. Rebrotam vigorosa, mesmo com manejo baixo e intervalos pequenos de cortes sob pastejo. Apresenta estolões finos, fortes. As folhas são cores verde-pálidas e fortemente denticuladas nas margens. Possuem boa tolerância ao encharcamento podendo ser plantada em várzeas (WENZL et al., 2002).

3.2 COLETA DOS DADOS

Os pontos de coleta foram identificados com apoio de um GPS (modelo Garmin), considerando o tamanho da área e a homogeneização do dossel nas 11 coberturas de solo descritas na Tabela 1. Cada ponto de coleta ficou integralmente contido em um pixel de uma imagem do satélite Landsat 8. Nesse pixel, foram definidos 05 pontos, sendo 01 ponto central (PC) e 04 pontos periféricos na direção Norte (PN), Sul (PS), Leste (PL) e Oeste (PO) (Figura 2).

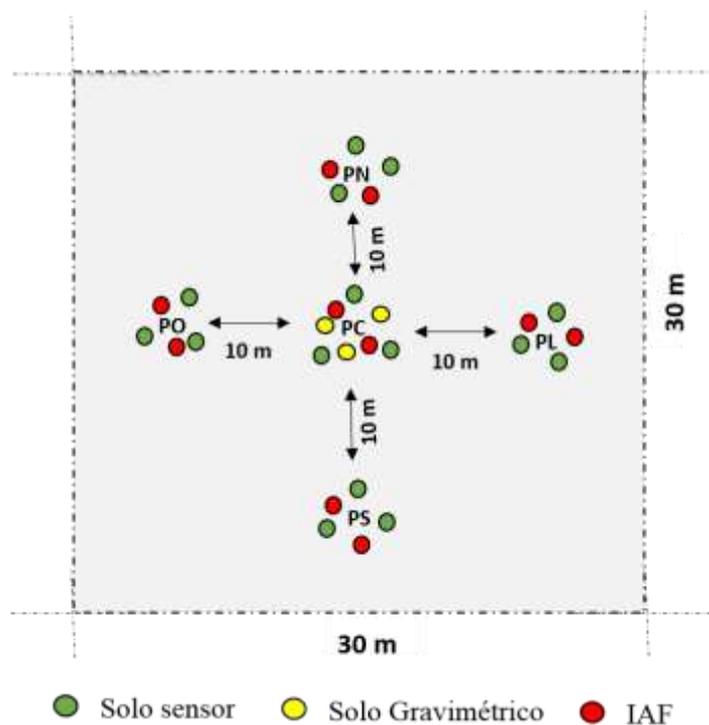


Figura 2: Pontos de amostragem no pixel representativo de cada cobertura do solo amostrada na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

O índice de área foliar (IAF) foi medido por um Ceptômetro (Modelo LP-80, METER Group, Pullman WA, USA) e a umidade do solo foi estimada pelo método gravimétrico e medida por um sensor de umidade do solo (Modelo MP 406, ICT International Pty Ltd, Armidale NSW, Austrália). Os dados foram coletados nos dias da passagem no satélite Landsat 8 (**Tabela 3**) no período de 15 de fevereiro de 2015 a 15 de fevereiro de 2017.

As medidas do IAF por dia de coleta em cada tipo de cobertura representam uma média de 05 pontos, onde cada ponto representa 02 medidas. As estimativas de umidade do solo pelo método gravimétrico por dia de coleta em cada tipo de cobertura representam 03 amostras entorno do PC. As medições de umidade do solo pelo sensor por dia de coleta em cada tipo de cobertura representam uma média de 05 pontos, onde cada ponto representa 03 medidas.

Tabela 3: Dados meteorológicos e das imagens orbitais dos pixels amostrados na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca.

| Ano | Data da imagem | Ângulo de Elevação | UR _{ar} (%) | T _{ar} (°C) | Rg (Wm ⁻²) |
|-------|----------------|--------------------|----------------------|----------------------|------------------------|
| 2015 | 16/03 | 55.913 | 76.5 | 28.7 | 741.2 |
| | 05/06 | 42.275 | 96.2 | 24.9 | 569.4 |
| | 07/08 | 46.665 | 32.3 | 33.7 | 628.8 |
| | 23/08 | 49.670 | 33.2 | 34.2 | 637.6 |
| | 08/09 | 54.317 | 45.0 | 33.4 | 598.2 |
| | 24/09 | 59.984 | 40.2 | 36.4 | 661.2 |
| | 11/11 | 65.811 | 55.0 | 34.6 | 798.8 |
| | 27/11 | 64.742 | 54.5 | 33.4 | 782.0 |
| 2016 | 15/02 | 58.114 | 75.1 | 30.7 | 779.8 |
| | 18/03 | 55.591 | 59.5 | 33.1 | 652.8 |
| | 03/04 | 53.250 | 66.7 | 30.8 | 672.6 |
| | 19/04 | 50.280 | 54.3 | 32.7 | 655.0 |
| | 05/05 | 47.085 | 68.6 | 28.9 | 620.8 |
| | 24/07 | 43.224 | 41.0 | 28.2 | 564.4 |
| | 09/08 | 46.355 | 71.9 | 25.0 | 543.4 |
| | 25/08 | 50.509 | 42.4 | 32.7 | 577.8 |
| | 10/09 | 55.204 | 50.2 | 31.2 | 668.8 |
| | 26/09 | 59.804 | 53.8 | 28.7 | 712.2 |
| 28/10 | 65.596 | 63.7 | 25.1 | 785.6 | |

Os dados de precipitação foram obtidos na estação meteorológica do INMET localizada na FEX. Os dados meteorológicos (Tabela 3) foram obtidos da torre instalada na Fazenda Miranda (FMI), distante 14 km da FEX. Nessa torre, estão instalados três termohigrômetros modelo HMP45AC (Vaisala, Inc., Woburn, MA, USA) distribuídos em três alturas; a 5, 10 e a 18 m em relação ao nível do solo e um piranômetro modelo LI200X (LI-COR Biosciences, Inc., Lincoln, NE, USA) instalados a 5 m de altura.

O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado a partir dos valores de temperatura (T_{ar}, °C) e umidade relativa do ar (UR, %) medidos na FMI há 5 metros da superfície. O déficit de pressão de vapor (DPV) em kPa foi calculado por:

A diferença entre a pressão de saturação e a pressão parcial de vapor d'água no ar possibilitou o cálculo do déficit de pressão de vapor d'água no ar, que é a medida da quantidade de vapor d'água necessária para que o ambiente atinja o ponto de saturação (ALVARENGA et al 2014).

$$DPV = es - ea \quad (1)$$

$$es = 0.6108 * 10^{\left[\frac{(7.5*Tar)}{(237.5+Tar)}\right]} \quad (2)$$

$$ea = \frac{Ur * es}{100} \quad (3)$$

3.3 UMIDADE E DENSIDADE DO SOLO

A umidade do solo em cada cobertura calculada pelo método gravimétrico foi realizada a partir de amostras de solo pesadas e secas em estufa a 105°C por um período de 24 horas. Após 24 na estufa, as amostras de solo seco foram novamente pesadas. Em seguida, a umidade do solo (U_G) foi calculada pela equação 4 que representa a relação entre a massa da água e a dos sólidos contidos na amostra. O conteúdo de água no solo (CAS) foi corrigido considerando a densidade aparente do solo obtido pela equação 5. A densidade aparente do solo foi obtida a partir da equação 6.

$$U_G = 100 * \frac{(M_u - M_s)}{(M_s)} \left[\frac{g_{H_2O}}{g_{solo\ seco}} \right] \quad (4)$$

$$CAS = d_s * U_G \left[\frac{H_2O (cm^3)}{solo (cm^3)} \right] \quad (5)$$

$$d_s = \frac{M_s}{V_t} \left[\frac{solo (cm^3)}{solo (cm^3)} \right] \quad (6)$$

em que, M_u é a massa úmida da amostra e M_s é a massa seca, d_s é a densidade do solo obtida por meio de amostra coletada usado trado e, V_t o volume total da amostra ocupada pela amostra de solo.

3.4 CÁLCULO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal pode ser avaliada por índices de vegetação a partir de cálculos das refletâncias das bandas das imagens de satélite na faixa do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP) do espectro eletromagnético (EPIPHANIO et al., 1996). Esses índices de vegetação podem ser relacionados com dados medidos em campo (SILVA et al., 2011, FAUSTO et al., 2014,). Os índices de vegetação utilizados

foram calculados para 19 imagens LANDSAT 8 disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) disponível em [www.landsat.usgs.gov]. Os índices de vegetação calculados foram NDVI, SAVI e IAF.

O índice de vegetação da diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI), proposto por ROCASE et al. (1974), é expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma dessas bandas (equação 7).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (7)$$

em que NIR corresponde a banda de refletância 5 e o RED a banda de refletância.

O Índice de Vegetação Ajustado aos Efeitos do Solo (inglês – SAVI), proposto por HUETE (1988), foi calculado pela equação 8.

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - RED)}{(L + NIR + RED)} \quad (8)$$

em que L é a constante de ajuste ao solo cujo valor usado no estudo foi 0,1 (ALLEN et al., 2007; SILVA et al., 2011).

O Índice de Área Foliar (IAF), definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação, constitui-se um indicador da biomassa de cada pixel, proposto por ALLEN et al. (2002) (equação 9). O valor máximo atingido pelo IAF é igual a 6,0 quando o SAVI vale 0,69.

$$IAF = -\frac{LN\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59}\right)}{(0.91)} \quad (9)$$

O índice de área foliar também pode ser estimado usando a equação de NORMAN et al. (2003) em que utiliza de dados de fração de cobertura para obter valores de IAF.

$$IAF = -2LN(1 - fc) \quad (10)$$

A fração de cobertura proposto por CHOUDHURY et al. (1994) para estimativa do índice de área foliar (IAF), as imagens de NDVI foram primeiramente

transformadas em imagens de fração da cobertura do solo (Fc) conforme a Equação 11:

$$fc = 1 - \left[\frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right]^{0.9} \quad (11)$$

em que, Fc = fração do solo coberto pela cultura; $NDVI_{max}$ = valor máximo do NDVI da imagem; $NDVI_{min}$ = valor mínimo do NDVI da imagem; NDVI = valor do NDVI de cada pixel da imagem.

3.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As funções de ajuste para estimativa do IAF em relação aos índices de vegetação foram analisadas por meio dos seguintes parâmetros estatísticos: a Raiz do Erro Quadrático Médio “REQM” (Equação 12), o coeficiente linear de Person “r” (Equação 13) e o coeficiente de Willmott “d” (Equação 14).

O RMSE indica o quanto a modelo falha em estimar a variabilidade das medidas em torno da média e mede a variação dos valores estimados no entorno dos valores medidos (WILLMOTT & MATSUURA, 2005). O menor limite de RMSE é 0, o que significa que há plena adesão entre as estimativas do modelo e as medidas. O ideal seria que os valores do EMP e do RMSE fossem próximo de zero (WILLMOTT & MATSUURA, 2005).

$$REQM = \left(\frac{\sum_i^N (x' - x)^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

O coeficiente linear de Person “r” indica a intensidade da associação linear existente entre as variáveis (medidas e estimadas).

$$r = \frac{n \sum (x_i - x'_i) - (\sum x_i)(\sum x'_i)}{\sqrt{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \sqrt{n \sum x_i'^2 - (\sum x_i')^2}} \quad (13)$$

em que (x) corresponde ao valor observado, (x') ao valor estimado pela função de ajuste ou modelo e (n) o número de amostra.

O coeficiente de Willmottt “d” indica o afastamento dos valores estimados em relação aos medidos. Essa aproximação é dada por um índice de desempenho “c”

designado de concordância (Equação 14) a que pode ser amplamente aplicado à comparação entre modelos (WILLMOTT et al., 1985).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (14)$$

em que P_i são os valores estimados pelas funções de ajuste ou modelo, O_i são os valores medidos em campo e O é a média dos valores observados.

O índice de confiança (c) reúne as indicações dos coeficientes “ r ” e “ d ” (Equação 15) sendo o valor zero de c para confiança nula e 1 confiança perfeita (CAMARGO & CAMARGO, 2000).

$$c = rd \quad (15)$$

O critério adotado para interpretar o desempenho dos valores estimado pelo modelos usando o índice c , está representado na tabela 4 (CAMARGO & SENTELHAS, 1997).

Tabela 4: Critérios de interpretação do desempenho dos valores estimados pelo índice de confiança.

| | |
|------------------|------------|
| Valor de (c) | Desempenho |
| > 0,85 | Ótimo |
| 0,76 a 0,85 | Muito Bom |
| 0,66 a 0,75 | Bom |
| 0,61 a 0,65 | Mediano |
| 0,51 a 0,60 | Sofrível |
| 0,41 a 0,50 | Mau |
| ≤ 0,40 | Péssimo |

Para os dados mensal, estacional e anual mensurados nas 11 coberturas do solo, o intervalo de confiança de $\pm 95\%$ foram calculados utilizando bootstrapping de 1000 iterações de reamostragem aleatória (EFRON & TIBSHIRANI, 1994).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 VARIAÇÃO METEOROLÓGICA

A precipitação anual (Ppt) foi 17,9 % e 16,6 % maior do que a Normal Climatológica em 2015 e 2016, respectivamente (**Tabela 5**). Porém, não houve diferença significativa de precipitação anual entre os anos estudados. A estação chuvosa foi responsável por aproximadamente 91,4% do total de precipitação. A precipitação na estação seca de 2015 foi 41,7% menor do que em 2016.

A precipitação acumulada na estação chuvosa foi de 36,2% e 28,1% maior que a normal climatológica em 2015 e 2016, respectivamente. Na estação seca de 2015, a precipitação foi 40% menor que a normal climatológica (**Tabela 5**). É provável que a ocorrência do El nino possa ter interferido na distribuição das chuvas na Baixada Cuiabana, alterando os valores normais na estação seca desse ano. Segundo dados divulgados pela Golden Gate Weather Services, o El nino de 2015 foi classificado como muito forte (MENDONÇA & OLIVEIRA, 2011) alterando a distribuição de chuvas e aumentando os valores de temperatura do ar no Brasil.

A precipitação na estação seca do ano de 2016 representou 67,4 % da normal climatológica e foi maior em comparação a estação seca de 2015. A diminuição da intensidade do El nino pode ter contribuído para o aumento da precipitação na Baixada Cuiabana, no entanto ainda não é provado que esse evento exerça influencia na Baixada Cuiabana.

Tabela 5: Variação interanual e sazonal da precipitação (Ppt, mm), Radiação solar global (R_g , Wm^{-2}), Temperatura do ar (T_{ar} , °C) Déficit de pressão de vapor (DPV) na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

| Variáveis | 2015 | | | 2016 | | |
|---|--------------|-----------|----------------|-------------|-----------|-----------|
| | Anual | Chuvosa | Seca | Anual | Chuvosa | Seca |
| Ppt | 1430.10 | 1340.00 | 90.10 | 1414.40 | 1259.90 | 154.50 |
| R_g | 185.0±4.8 | 191.4±6.7 | 175.4±7.2 | 178.4±5.4 | 187.6±6.5 | 165.7±8.6 |
| T_{ar} | 27.2±0.2 | 27.7±0.2 | 26.8±0.5 | 26.1±0.3 | 27.3±0.2 | 24.4±0.5 |
| DPV | 1.02±0.07 | 0.92±0.07 | 1.39±0.13 | 0.95±0.05 | 0.82±0.05 | 1.12±0.10 |
| Normal Climatológica (1981-2010) | Anual | | Chuvosa | Seca | | |
| | 1212,6 | | 983,4 | 229,2 | | |

O padrão sazonal encontrado neste estudo é semelhante ao encontrado por DINIZ et al. (2008), BIUDES et al. (2009, 2012), DANELICHEN et al. (2014) e MACHADO et al. (2015) na região de estudo. A variação sazonal da precipitação é controlada principalmente por sistemas atmosféricos de grande porte e de mesoescala (BIUDES et al., 2015), porém os sistemas atmosféricos podem ser influenciados por fenômenos anômalos como o El nino e La nina (**Figura 3A**).

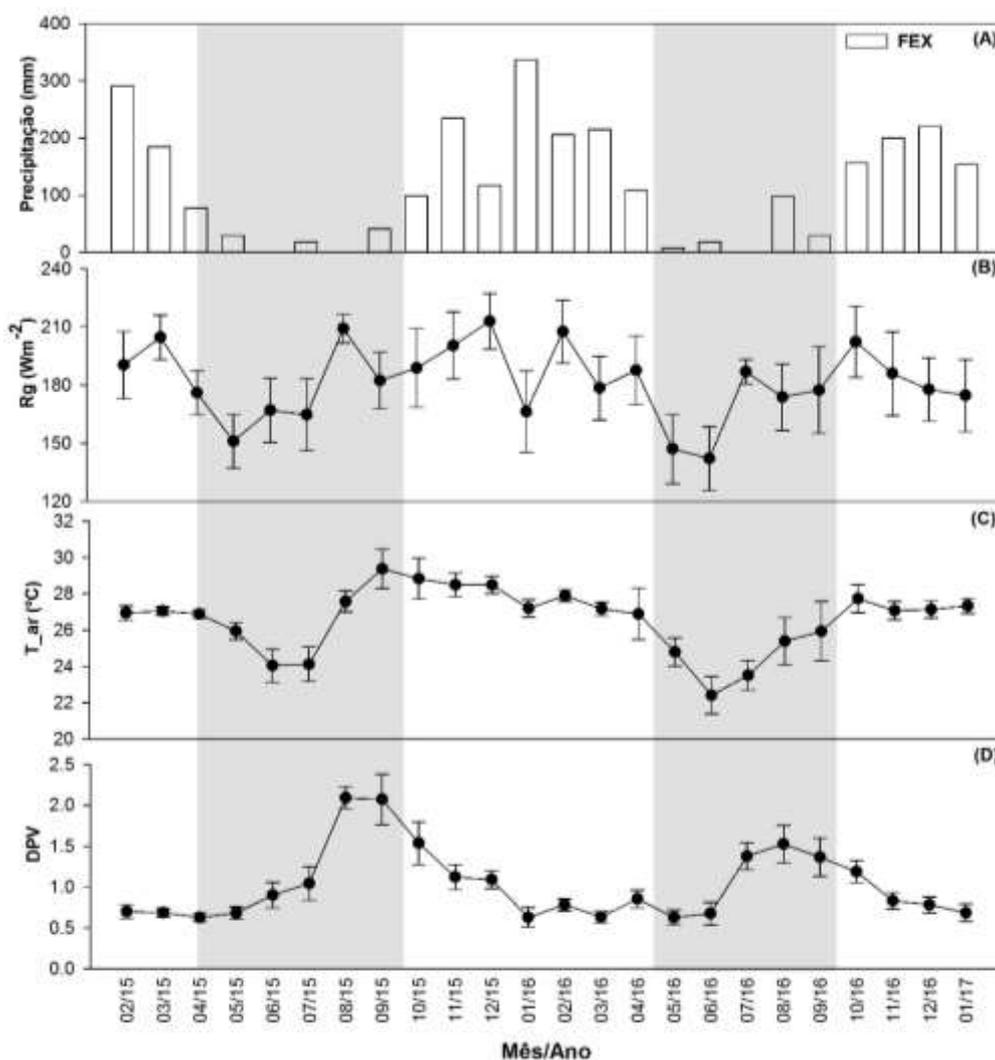


Figura 3: Variação mensal da precipitação (A), radiação solar global – Rg (B), temperatura do ar – Tar (C), déficit de pressão de vapor d’água – DPV (D) e conteúdo de água no Solo na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. Área sombreada representa a estação seca.

A precipitação e a temperatura do ar (T_{ar}) na região Centro-Oeste estão sob influência climática de sistemas atmosféricos tropical e subtropical (ALVES, 2009). Durante a estação chuvosa, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) associada a uma saída convergente de umidade da Amazônia que passa pelo Centro-Oeste em direção ao Sudeste do Brasil, é responsável por eventos extremos de chuva entre os meses de dezembro a fevereiro (**Figura 3A**). Por outro lado, a ausência da ZCAS pode causar supressão da chuva e longos períodos de seca (CARVALHO & JONES, 2009), ocorrendo os menores picos de precipitação entre os meses de junho a agosto (**Figura 3A**).

A estação seca ocorre devido ao fenômeno de convecção em que a precipitação é suprimidas devido à saída anticiclônica a partir de um sistema de alta pressão de nível superior denominado de “Alta da Bolívia” (HARDY et al. 1998). O El Niño apenas intensificam o padrão nas estações seca e chuvosa, podendo ser intensa ou não a distribuição de chuvas nas regiões.

A variação interanual da radiação solar global (R_g) foi semelhante entre os anos 2015 e 2016 (**Tabela 5**). Os maiores valores de R_g ocorreram na estação chuvosa e os menores na seca (**Figura 3B**). Na estação chuvosa do ano de 2015, R_g foi 10% maior que na estação seca. No ano de 2016, o valor de R_g na estação chuvosa foi 12% maior que na estação seca (**Tabela 5**). A radiação solar global (R_g) foi menor na estação seca, embora tenha diminuído no mês de janeiro de 2016 (**Figura 3B**) em que ocorreu maior pico de precipitação (**Figura 3A**). CAMPELO JÚNIOR (1998) encontrou valores menores de R_g na estação seca e maiores na estação chuvosa, o que corrobora com o padrão encontrado neste estudo.

A estação chuvosa foi responsável por aproximadamente 91,4% do total de precipitação. A precipitação na estação seca de 2015 foi 41,7% menor do que em 2016. O padrão sazonal encontrado neste estudo é semelhante ao encontrado por DINIZ et al. (2008), BIUDES et al. (2009, 2012), DANELICHEN et al. (2014) e MACHADO et al. (2015) na região de estudo.

Um elemento que pode influenciar R_g é a nebulosidade que varia entre 90% e 99% na estação chuvosa em baixas latitudes (HILKER et al., 2012), o que afeta a quantidade de radiação solar que chega na superfície terrestre (LI et al., 2005). Por outro lado, aerossóis oriundos da queima de biomassa podem também reduzir a

quantidade de radiação solar que chega a superfície (LI et al., 2005). Dessa forma, o aumento nos valores de R_g a partir do mês de agosto, provavelmente, foi provocado pelo efeito combinado do fator astronômico e a ocorrência de precipitação no fim da estação seca, as quais diminuem os aerossóis da atmosfera permitindo a entrada de radiação direta à superfície (**Figura 3A, B**).

A variação média interanual da temperatura do ar (T_{ar}) foi menor que 1°C , o que representa uma diferença menor que 6% entre os anos de 2015 e 2016 (**Tabela 5**). Os valores de T_{ar} na estação seca de 2015 foram maiores em relação a estação seca de 2016. O maior valor de T_{ar} ocorreu no mês de setembro de 2015 e o menor em junho de 2016 (**Figura 3C**).

É provável que o fenômeno do El Niño de 2015 possa ter influenciado o padrão de T_{ar} , pois o maior pico de temperatura ocorreu no início da primavera, e os mínimos de T_{ar} de 2015 foram maiores em relação a 2016. Os mínimos de temperaturas ocorreram na estação seca devido a fatores astronômicos e entradas de frente frias na baixada cuiabana. No entanto, o padrão de variação de T_{ar} foram semelhantes aos verificados nos trabalhos de BIUDES et al. (2012), FAUSTO et al. (2014), BIUDES et al. (2015), ANGELINI et al. (2016).

A variação sazonal do DPV seguiu o padrão inverso da tendência sazonal da Ppt. Os maiores valores do DPV ocorreram nos meses de agosto e setembro (**Tabela 5**). Essas tendências sazonais foram compatíveis com uma variedade de áreas nativas tropicais na bacia Amazônica (DA ROCHA et al., 2004; DA ROCHA et al., 2009; BIUDES et al., 2015), no Cerrado (DA ROCHA et al., 2009; FAUSTO et al., 2014, 2016; BIUDES et al., 2015), e no Pantanal (BIUDES et al., 2009, 2012, 2014, 2015).

A maior saturação interanual do DPV ocorreu no ano de 2015, 6,8% maior que no ano de 2016. A estação seca representou os maiores valores de DPV em relação a estação chuvosa nos anos (**Tabela 5**). A tendência inversa, indica que o DVP possui uma correlação negativa com a Ppt (BIUDES et al., 2015) em que solo mais úmido aumenta a evaporação e conseqüentemente altera o déficit de saturação de pressão parcial de vapor d'água no ar (VIEIRA, 2009; ALVARENGA, et al., 2014).

As correlações fortes indicam que as variáveis em estudo possuem relação direta entre si. As correlações de Spearman foram positivas entre as variáveis meteorológicas, no entanto, a Ppt ($p < 0.05$) correlacionou melhor com a T_{ar} ($p <$

0.001), e Rg com T_{ar} e DPV ($p < 0.001$). A baixa correlação de Ppt com Rg e DPV é devido essas variáveis possuírem padrão de variação distintos (**Tabela 6**).

Tabela 6: Correlação da precipitação (Ppt), radiação solar global (Rg), temperatura do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), na Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

| Var. | Ppt | Rg | Tar |
|------------|---------|---------|---------|
| Rg | 0.58** | | |
| Tar | 0.75*** | 0.95*** | |
| DPV | 0.47** | 0.94*** | 0.84*** |

4.2 CONTEUDO DE ÁGUA NO SOLO (CAS)

O conteúdo de água no solo (CAS) interanuais foram semelhantes em 09 coberturas do solo amostradas (**Tabela 7**). MG e PH foram as áreas que apresentaram os maiores valores de CAS em relação as outras coberturas do solo (**Tabela 7**). Provavelmente, o tipo de solo e a arquitetura o dossel denso e o sistema radicular profundo podem ter contribuído para que MG apresentasse valores superiores de CAS, enquanto que, em PH o tipo de solo que é imperfeitamente drenado e de origem sedimentar siltico e argilosos.

Tabela 7: Variação interanual e sazonal do Conteúdo de água no solo (CAS) nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

| Var. | 2015 | | | 2016 | | |
|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | Anual | Chuvosa | Seca | Anual | Chuvosa | Seca |
| CAS _{AB} | 0.29±0.02 | 0.34±0.02 | 0.24±0.03 | 0.29±0.02 | 0.34±0.02 | 0.22±0.02 |
| CAS _{BN} | 0.21±0.02 | 0.27±0.02 | 0.14±0.02 | 0.20±0.01 | 0.25±0.01 | 0.13±0.02 |
| CAS _{CJ} | 0.26±0.02 | 0.31±0.02 | 0.20±0.03 | 0.26±0.01 | 0.30±0.01 | 0.20±0.02 |
| CAS _{CQ} | 0.21±0.02 | 0.27±0.02 | 0.12±0.02 | 0.23±0.02 | 0.29±0.01 | 0.15±0.02 |
| CAS _{MG} | 0.46±0.03 | 0.53±0.02 | 0.36±0.04 | 0.47±0.03 | 0.53±0.02 | 0.37±0.04 |
| CAS _{TC} | 0.23±0.02 | 0.30±0.02 | 0.13±0.02 | 0.23±0.02 | 0.29±0.01 | 0.14±0.02 |
| CAS _{CD} | 0.23±0.02 | 0.31±0.02 | 0.13±0.02 | 0.25±0.02 | 0.32±0.02 | 0.15±0.02 |
| CAS _{CS} | 0.23±0.02 | 0.29±0.02 | 0.14±0.02 | 0.23±0.02 | 0.29±0.01 | 0.15±0.02 |
| CAS _{PH} | 0.34±0.03 | 0.41±0.04 | 0.26±0.04 | 0.38±0.03 | 0.43±0.03 | 0.29±0.05 |
| CAS _{PM} | 0.20±0.02 | 0.26±0.02 | 0.12±0.02 | 0.21±0.02 | 0.28±0.02 | 0.11±0.02 |
| CAS _{PT} | 0.21±0.02 | 0.27±0.02 | 0.14±0.02 | 0.22±0.02 | 0.28±0.02 | 0.13±0.02 |

Os menores valores de CAS ocorreram na estação seca enquanto que os maiores na estação chuvosa (**Tabela 7, figura 4**). No entanto, ocorreram diferenças no

padrão da CAS entre as coberturas do solo, provavelmente a diminuição/aumento do IAF a partir do início da estação seca e chuvosa, respectivamente, influenciaram a umidade do solo em cada cobertura.

Nas áreas de frutíferas (AB, BN, CJ e CQ), os valores anuais do CAS foram semelhantes entre os anos (**Tabela 7**). Por outro lado, as diferenças nos valores e CAS ocorreram na estação seca, em que AB e CJ tiveram os maiores valores (**Tabela 7**). Em AB, MG e CJ a permanência do dossel durante os 4 primeiros meses da estação seca, contribuiu para manter valores altos do CAS no início da estação seca que gradativamente foi reduzido entre os meses de julho a setembro (**Figura 4**).

Provavelmente, o sistema radicular profundo e a perca gradativa das folhas contribuiu para esses resultados. Nas áreas de florestas nativas (CD e CS) e de TC, os valores anuais do CAS foram semelhantes (**Tabela 7**). Embora, não tenha ocorrido diferença significativa dos valores de CAS entre as estações seca e chuvosa dos anos, a estação chuvosa apresentou os maiores valores.

Em áreas de pastagens (PM e PT), os valores anuais do CAS foram semelhantes entre os anos de estudo. Não houve diferença entre a estação chuvosa e seca dos anos, mas os maiores valores ocorreram nas estações chuvosas nessas coberturas.

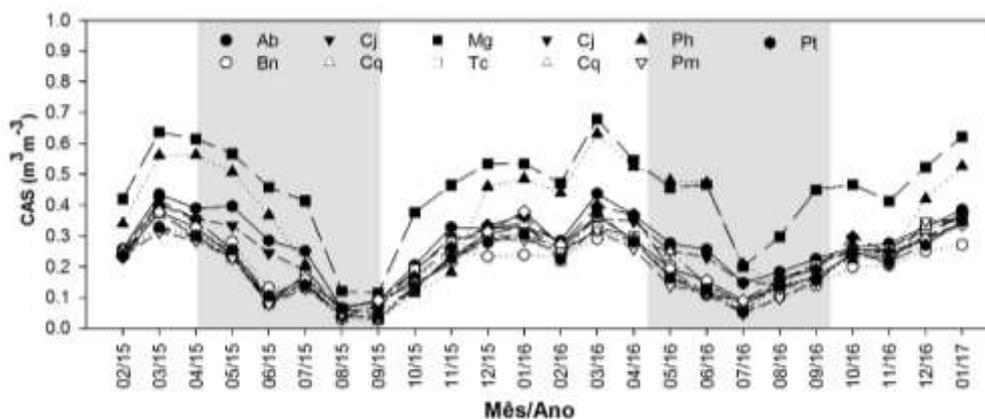


Figura 4: Variação mensal do Conteúdo de água no solo – CAS nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca.

4.3 ÍNDICE DE AREA FOLIAR (IAF)

As variações interanuais e sazonais do IAF apresentaram valores diferentes nas 11 coberturas do solo. Os maiores valores de IAF ocorreram na estação chuvosa e os menores na estação seca. MG apresentou o maior valor de IAF e PH o menor (**Tabela 8, figura 5**).

Em MG, a sazonalidade foi menos intensa em relação as outras coberturas do solo. Não houve diferença significativa do IAF medido nas coberturas entre os anos estudados. No entanto, os valores de IAF da estação chuvosa de 2016 foram superiores aos valores de IAF da estação chuvosa de 2015 (**Tabela 8**). Provavelmente, pelo maior índice pluviométrico ocorrido nesse período. Os valores de IAF na estação seca, não apresentaram variações significativas entre os anos amostrados.

Tabela 8: Variação interanual e sazonal do Índice de área foliar (IAF, m^2m^{-2}) nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso.

| Var. | 2015 | | | 2016 | | |
|-------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Anual | Chuvosa | Seca | Anual | Chuvosa | Seca |
| IAF_{AB} | 4.77 ± 0.14 | 5.07 ± 0.20 | 4.38 ± 0.17 | 5.04 ± 0.20 | 5.55 ± 0.20 | 4.28 ± 0.24 |
| IAF_{BN} | 2.65 ± 0.14 | 2.67 ± 0.20 | 2.63 ± 0.20 | 2.80 ± 0.20 | 3.06 ± 0.21 | 2.42 ± 0.32 |
| IAF_{CJ} | 4.66 ± 0.11 | 4.81 ± 0.15 | 4.47 ± 0.17 | 4.97 ± 0.14 | 5.33 ± 0.14 | 4.42 ± 0.18 |
| IAF_{CQ} | 4.78 ± 0.24 | 5.63 ± 0.16 | 3.69 ± 0.43 | 5.67 ± 0.25 | 6.42 ± 0.19 | 4.42 ± 0.40 |
| IAF_{MG} | 8.40 ± 0.05 | 8.51 ± 0.06 | 8.25 ± 0.10 | 8.64 ± 0.09 | 8.67 ± 0.08 | 8.59 ± 0.20 |
| IAF_{TC} | 3.62 ± 0.29 | 4.93 ± 0.23 | 1.91 ± 0.36 | 4.51 ± 0.40 | 6.02 ± 0.17 | 2.25 ± 0.54 |
| IAF_{CD} | 4.78 ± 0.24 | 5.63 ± 0.16 | 3.69 ± 0.43 | 5.67 ± 0.25 | 6.42 ± 0.19 | 4.56 ± 0.40 |
| IAF_{CS} | 3.51 ± 0.18 | 4.08 ± 0.15 | 2.77 ± 0.29 | 3.92 ± 0.21 | 4.58 ± 0.17 | 2.95 ± 0.35 |
| IAF_{PH} | 1.20 ± 0.05 | 1.29 ± 0.08 | 1.09 ± 0.06 | 1.29 ± 0.12 | 1.23 ± 0.18 | 1.38 ± 0.13 |
| IAF_{PM} | 1.77 ± 0.08 | 1.85 ± 0.09 | 1.66 ± 0.14 | 1.85 ± 0.12 | 1.99 ± 0.15 | 1.63 ± 0.19 |
| IAF_{PT} | 1.78 ± 0.08 | 1.87 ± 0.09 | 1.66 ± 0.15 | 1.72 ± 0.12 | 1.89 ± 0.14 | 1.48 ± 0.18 |

A perda de folhas em áreas de cultura, de vegetação nativa e pastagem foi maior entre julho e setembro (**Figura 5**). Nas áreas de pastagem, a diminuição do dossel também foi influenciada pelo seu uso para a alimentação bovina realizada por meio de rodízio em piquetes. Em TC, a perda de folhas foi de 100% no mês de agosto, com IAF menor que $0.2 m^2m^{-2}$. Porém, a TC apresentou menor tempo de reconstrução do dossel, porque 50 dias após o fim da estação seca foi possível medir IAF acima de $4,5 m^2m^{-2}$ (**Figura 5**).

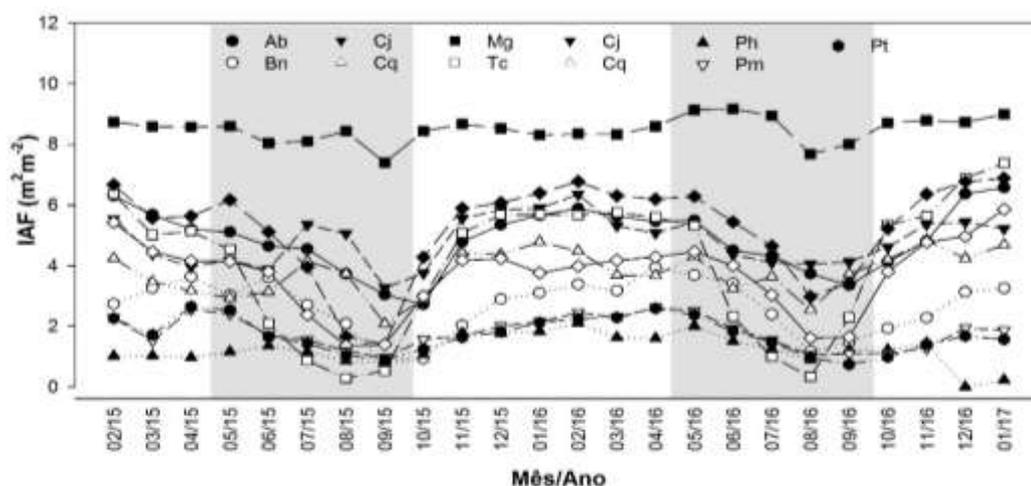


Figura 5: Variação mensal do índice de área foliar – IAF nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca.

Elementos como a arquitetura do dossel, o espaçamento entre as árvores, tipo de solo, disposição das folhas e o sistema radicular influenciam os valores de IAF (RIVERA et al., 2002). As variações interanuais do IAF apresentaram padrão sazonal semelhante a Ppt e ao CAS. O aumento (diminuição) do CAS representou aumento (diminuição) nos valores de IAF nas 11 coberturas amostradas (**Figura 5**). Os menores valores de CAS ocorreram entre os meses de agosto e setembro em todas as coberturas do solo e, conseqüentemente, os menores valores de IAF.

As correlações apresentadas na tabela 9 e 10 foram importantes para determinar os parâmetros utilizados para elaborar o modelo de estimativa do IAF e do CAS. Os valores do CAS correlacionaram negativamente com as variáveis meteorológicas (R_g , T_{ar} e DPV) e com a refletância da banda 7 do Landsat8. E positivamente com a Ppt, o IAF e o NDVI (**Tabela 9**).

Tabela 9: Correlação do CAS com a precipitação (Ppt), radiação solar global (R_g), temperatura do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), IAF, NDVI, e a refletância da banda 2 do Landsat 8 nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX)

da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. (*) p-valor < 0.05; (**) p-valor < 0.01; (***) p-valor < 0.001.

| Var. | Ppt | Rg | Tar | DPV | IAF | NDVI | Ref. 2 |
|-------------------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|
| CAS _{AB} | 0.75*** | -0.78*** | -0.65*** | -0.85*** | 0.72*** | 0.81*** | -0.88*** |
| CAS _{BN} | 0.72*** | -0.78*** | -0.63*** | -0.86*** | 0.67*** | 0.89*** | -0.89*** |
| CAS _{CJ} | 0.57** | -0.74*** | -0.61*** | -0.82*** | 0.56** | 0.60* | -0.68*** |
| CAS _{CQ} | 0.70*** | -0.67*** | -0.51** | -0.75*** | 0.53** | 0.59*** | -0.78*** |
| CAS _{MG} | 0.53* | -0.75*** | -0.62*** | -0.82*** | 0.37 | 0.64*** | -0.34 |
| CAS _{TC} | 0.54* | -0.65*** | -0.49** | -0.73*** | 0.64** | 0.67** | -0.74*** |
| CAS _{CD} | 0.64** | -0.67*** | -0.51** | -0.75*** | 0.56** | 0.65** | -0.64** |
| CAS _{CS} | 0.57** | -0.67*** | -0.51** | -0.75*** | 0.60** | 0.59** | -0.73*** |
| CAS _{PH} | 0.50* | -0.79*** | -0.67*** | -0.87*** | 0.69* | 0.76** | -0.76** |
| CAS _{PM} | 0.57** | -0.68*** | -0.52** | -0.75*** | 0.46 | 0.55* | -0.34 |
| CAS _{PT} | 0.58* | -0.66*** | -0.49** | -0.73*** | 0.47* | 0.57* | -0.38 |

O IAF mensurado nas 11 coberturas amostradas se correlacionou positivamente com as variáveis meteorológicas (Ppt, Rg, Tar), com os índices de vegetação (NDVI e SAVI) e negativamente com a refletância da banda 2 do Landsat 8 (Tabela 10).

Tabela 10: Correlação do IAF com a precipitação (Ppt), radiação solar global (Rg), temperatura do ar (T_{ar}), déficit de pressão de vapor (DPV), NDVI, SAVI e a refletância da banda 7 do Landsat 8 nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. (*) p-valor < 0.05; (**) p-valor < 0.01; (***) p-valor < 0.001

| Var. | Ppt | Rg | Tar | DPV | NDVI | SAVI | Refl.7 |
|-------------------|---------|---------|---------|-------|---------|---------|----------|
| IAF _{AB} | 0.70*** | 0.54** | 0.62*** | 0.34 | 0.76*** | 0.81*** | -0.80*** |
| IAF _{BN} | 0.55** | 0.46* | 0.51* | 0.36 | 0.81*** | 0.81*** | -0.83*** |
| IAF _{CJ} | 0.79*** | 0.66*** | 0.71*** | 0.44* | 0.64*** | 0.73*** | -0.68*** |
| IAF _{CQ} | 0.76*** | 0.67*** | 0.71*** | 0.45* | 0.78*** | 0.77*** | -0.67*** |
| IAF _{MG} | 0.57** | 0.52** | 0.55** | 0.37 | 0.32 | 0.37 | -0.47* |
| IAF _{TC} | 0.72*** | 0.53** | 0.62*** | 0.21 | 0.79*** | 0.76*** | -0.87*** |
| IAF _{CD} | 0.71*** | 0.53** | 0.61*** | 0.33 | 0.87*** | 0.89*** | -0.76*** |
| IAF _{CS} | 0.70*** | 0.53** | 0.61*** | 0.34 | 0.86*** | 0.85*** | -0.87*** |
| IAF _{PH} | 0.22 | 0.30 | 0.24 | 0.34 | 0.85*** | 0.88*** | -0.76*** |
| IAF _{PM} | 0.57** | 0.47* | 0.52** | 0.37 | 0.93*** | 0.92*** | -0.87*** |
| IAF _{PT} | 0.50* | 0.38 | 0.43* | 0.29 | 0.92*** | 0.90*** | -0.92*** |

Na estação seca, as vegetações reduzem abruptamente sua área verde em função da forte sensibilidade estomática ao gradiente de pressão de vapor de água entre a superfície transpirante, nesse período ocorre a maior produção de material morto da

vegetação, o que influencia diretamente no aumento da biomassa total (ADUAN, 1998; BARUCH & FERNANDÉZ, 1993).

Por outro lado, o material vivo possuiu um ciclo sazonal bem definido, pois ele sugere uma variação direta com as mudanças do clima e variação da quantidade de água no solo (DANELICHEN et al., 2014). A mistura de material vegetal vivo e morto pode contribuir para uma menor correlação entre as medidas de IAF e CAS com o NDVI e SAVI, com as refletâncias e as variáveis meteorológicas.

4.4 MODELO DA ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

O estudo propõe um modelo para estimativa do IAF usando sensoriamento remoto com base no NDVI, no SAVI e na refletância da banda 7 do Landsat 8. A elaboração empírica do modelo considerou a variação de NDVI e SAVI que ocorre na superfície vegetada ao longo do ano (Equação 16). No entanto, o padrão logarítmico do modelo de ALLEN et al. (2002) e de NORMAN et al. (2003) foi mantido nesta proposta por considerar que o IAF estimado nas coberturas satura a partir de um determinado tempo.

$$IAF = - \frac{LN(1-NDVI)}{(1-SAVI)+r7} \quad (16)$$

A soma da banda 7 no denominador aumentou a correlação ($p < 0.001$) entre o IAF estimado e o medido nas diferentes coberturas. Observa-se na tabela 11 que os valores de $r7$ varia de 0,046 a 0,253 nas coberturas amostradas, configurando um acréscimo a perda vegetativa do dossel, visto que $r7$ é maior na estação seca e menor na chuvosa. Verifica-se que $r7$ não apresentou variação significativa em MG, pois nessa cobertura houve pouca variação no dossel em relação as outras coberturas (**Tabela 11**).

Tabela 11: Valores máximos e mínimos do NDVI, SAVI e da refletância 7 nas 11 coberturas amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso, nos anos de 2015 e 2016.

| Local | NDVI | | SAVI | | Refletância 7 | |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo | Mínimo |
| AB ₁₅ | 0.85 | 0.58 | 0.76 | 0.50 | 0.169 | 0.069 |
| AB ₁₆ | 0.86 | 0.61 | 0.76 | 0.51 | 0.120 | 0.060 |
| BN ₁₅ | 0.78 | 0.36 | 0.70 | 0.32 | 0.226 | 0.079 |
| BN ₁₆ | 0.84 | 0.52 | 0.73 | 0.43 | 0.150 | 0.070 |
| CJ ₁₅ | 0.85 | 0.68 | 0.76 | 0.61 | 0.124 | 0.066 |
| CJ ₁₆ | 0.85 | 0.76 | 0.76 | 0.67 | 0.080 | 0.060 |
| CQ ₁₅ | 0.80 | 0.49 | 0.71 | 0.43 | 0.176 | 0.061 |
| CQ ₁₆ | 0.82 | 0.53 | 0.72 | 0.45 | 0.110 | 0.060 |
| MG₁₅ | 0.89 | 0.79 | 0.79 | 0.71 | 0.077 | 0.045 |
| MG₁₆ | 0.89 | 0.84 | 0.80 | 0.74 | 0.070 | 0.050 |
| TC ₁₅ | 0.85 | 0.26 | 0.78 | 0.23 | 0.253 | 0.076 |
| TC ₁₆ | 0.86 | 0.22 | 0.77 | 0.18 | 0.230 | 0.060 |
| CD ₁₅ | 0.85 | 0.68 | 0.76 | 0.61 | 0.124 | 0.066 |
| CD ₁₆ | 0.86 | 0.74 | 0.76 | 0.64 | 0.090 | 0.060 |
| CS ₁₅ | 0.84 | 0.47 | 0.75 | 0.42 | 0.188 | 0.064 |
| CS ₁₆ | 0.85 | 0.54 | 0.74 | 0.44 | 0.150 | 0.060 |
| PH ₁₅ | 0.68 | 0.39 | 0.59 | 0.34 | 0.202 | 0.074 |
| PH ₁₆ | 0.65 | 0.45 | 0.55 | 0.38 | 0.170 | 0.070 |
| PM ₁₅ | 0.69 | 0.41 | 0.57 | 0.36 | 0.186 | 0.100 |
| PM ₁₆ | 0.74 | 0.42 | 0.61 | 0.35 | 0.200 | 0.080 |
| PT ₁₅ | 0.63 | 0.41 | 0.53 | 0.35 | 0.181 | 0.095 |
| PT ₁₆ | 0.73 | 0.63 | 0.60 | 0.31 | 0.220 | 0.070 |

Os valores máximos de NDVI e SAVI foram encontrados na estação chuvosa enquanto os mínimos na estação seca. Porém o inverso foi verificado para r7 do com maiores valores na estação seca e menores na chuvosa. Em MG; o NDVI, o SAVI e r7 apresentaram as menores variações entre os anos, enquanto que nas outras coberturas, essas variações foram maiores e mais perceptiva. Em TC o NDVI variou mais que 50% devido a perda total de folhas da teca na estação seca (**Tabela 11**).

Os valores de r7 podem ser substituídos pelos valores de 0,046 para as imagens da estação chuvosa e 0,253 para as imagens da estação seca. Essa recomendação pode ser útil aos trabalhos que utilizam outro sensor orbital, mas para o Landsat 8 recomendamos o uso de r7 conforme apresentado no modelo da equação 16.

Tabela 12: Validação dos Modelos de estimativa do IAF pela equação de Allen et al. (2007) e o modelo proposto nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. r = correlação de Pearson r^2 = coeficiente de determinação. d = coeficiente de Wilmont. c = índice de confiança. REQM = Raiz do erro quadrático médio.

| Local | Modelo | r | R ² | d | c | REQM |
|-------|---------------|----------------|----------------|-------------|-------------|--------------|
| AB | Allen | 0.89*** | 0.78 | 0.92 | 0.82 | 1.042 |
| | Norman | 0.86*** | 0.75 | 0.82 | 0.83 | 1.630 |
| | Fausto | 0.89*** | 0.93 | 0.93 | 0.84 | 0.887 |
| BN | Allen | 0.82*** | 0.67 | 0.79 | 0.66 | 1.408 |
| | Norman | 0.83*** | 0.69 | 0.87 | 0.73 | 0.917 |
| | Fausto | 0.86*** | 0.79 | 0.91 | 0.79 | 0.717 |
| CJ | Allen | 0.44 | 0.20 | 0.51 | 0.22 | 1.390 |
| | Norman | 0.70*** | 0.48 | 0.45 | 0.31 | 2.195 |
| | Fausto | 0.70*** | 0.50 | 0.80 | 0.56 | 0.813 |
| CQ | Allen | 0.49* | 0.23 | 0.58 | 0.29 | 1.670 |
| | Norman | 0.60* | 0.36 | 0.62 | 0.37 | 1.736 |
| | Fausto | 0.65** | 0.94 | 0.76 | 0.50 | 1.091 |
| MG | Allen | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.775 |
| | Norman | 0.74*** | 0.54 | 0.09 | 0.07 | 3.487 |
| | Fausto | 0.74*** | 0.55 | 0.54 | 0.40 | 1.390 |
| TC | Allen | 0.96*** | 0.92 | 0.97 | 0.93 | 0.878 |
| | Norman | 0.96*** | 0.93 | 0.91 | 0.88 | 1.264 |
| | Fausto | 0.96*** | 0.96 | 0.98 | 0.94 | 0.876 |
| CD | Allen | 0.72*** | 0.52 | 0.81 | 0.59 | 1.095 |
| | Norman | 0.86*** | 0.74 | 0.58 | 0.50 | 2.306 |
| | Fausto | 0.90*** | 0.94 | 0.94 | 0.84 | 0.627 |
| CS | Allen | 0.87*** | 0.76 | 0.88 | 0.78 | 1.130 |
| | Norman | 0.92*** | 0.85 | 0.91 | 0.84 | 0.954 |
| | Fausto | 0.94*** | 0.89 | 0.95 | 0.89 | 0.661 |
| PH | Allen | 0.81*** | 0.66 | 0.88 | 0.71 | 0.361 |
| | Norman | 0.79*** | 0.62 | 0.65 | 0.52 | 0.878 |
| | Fausto | 0.80*** | 0.96 | 0.86 | 0.70 | 0.292 |
| PM | Allen | 0.93*** | 0.87 | 0.88 | 0.82 | 0.410 |
| | Norman | 0.94*** | 0.88 | 0.91 | 0.86 | 0.362 |
| | Fausto | 0.95*** | 0.95 | 0.95 | 0.91 | 0.300 |
| PT | Allen | 0.95*** | 0.89 | 0.87 | 0.83 | 0.448 |
| | Norman | 0.97*** | 0.93 | 0.93 | 0.90 | 0.351 |
| | Fausto | 0.97*** | 0.93 | 0.96 | 0.93 | 0.275 |

O modelo proposto neste estudo obteve os melhores resultados em relação ao de ALLEN et al. (2002) e NORMAN et al. (2003) principalmente nas coberturas com maior densidade de biomassa (IAF > 6,0). Os parâmetros estatísticos foram melhores em relação aos modelos de estimativas apresentados. Obteve-se maior índice de

confiança, menor RMSE e os coeficientes de correlações foram melhores em relação as estimativas realizadas pelos modelos de Allen e Norman (Tabela 12).

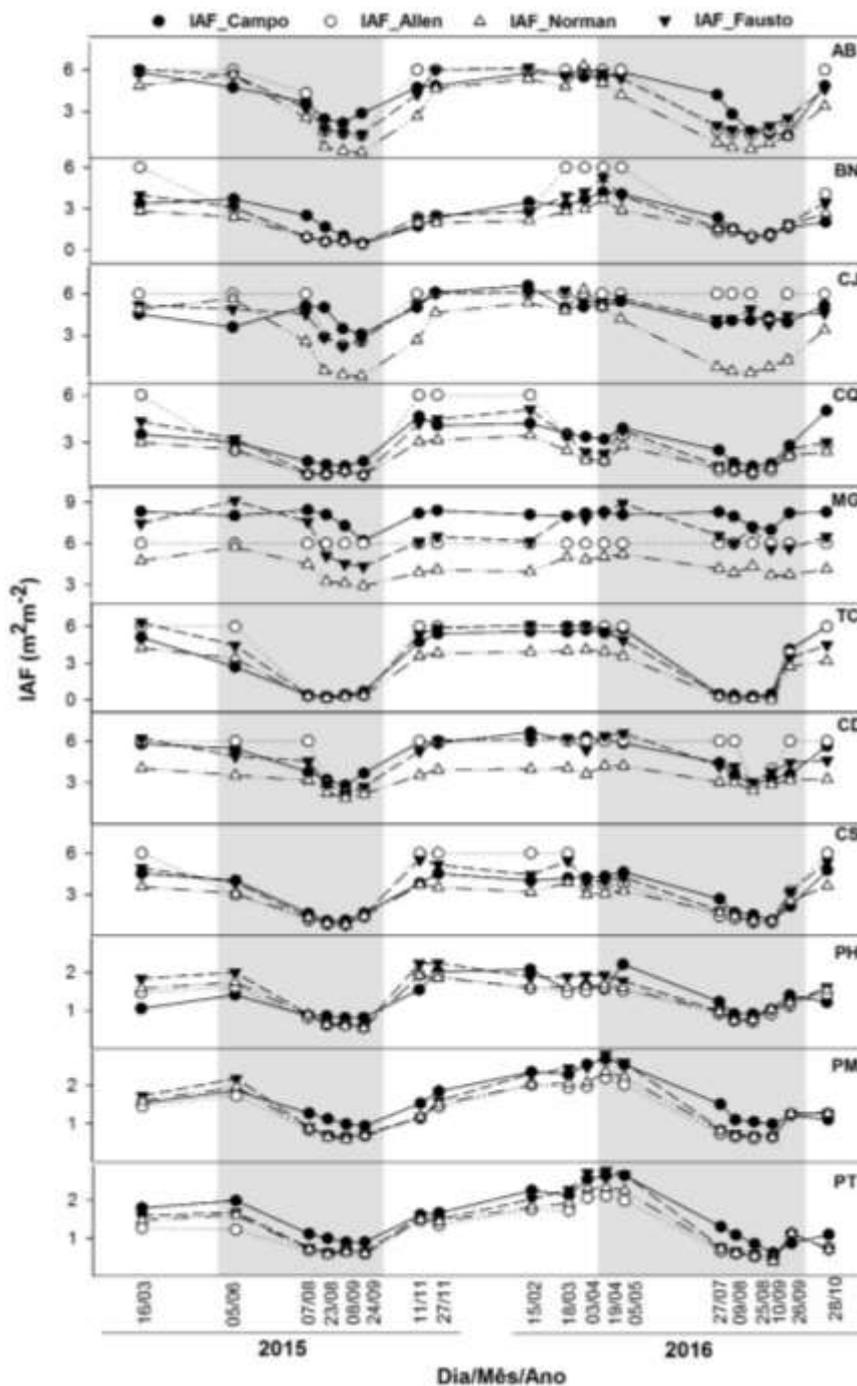


Figura 6: Comparação entres os modelos de estimativa de IAF com os dados de campos nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca.

Os valores de IAF estimados pelos modelos seguiram o mesmo padrão sazonal do IAF mensurado pelo Ceptômetro nas 11 coberturas avaliadas, com diminuição na estação seca e aumento na estação chuvosa (**Figura 6**). A diminuição/aumento do IAF está relacionada ao crescimento da vegetação em consequência da maior disponibilidade de água (DANELICHEN et al., 2014), além da estrutura do dossel (JUPP et al., 2008).

Os altos valores de IAF significam aumento no crescimento vegetativo que resulta em alta produtividade de biomassa (VERMA et al., 1993; LIU et al., 2006). Portanto o modelo de estimativa apresentou boas correlações com os dados medidos possibilitando seu uso para estimativa de IAF em diferentes coberturas na superfície do solo.

A discrepância entre os valores estimados pelo modelo de Allen e de Norman em relação ao medido nas coberturas foram maiores na estação chuvosa, período em que a superfície apresentou a maior disponibilidade de água no solo (> CAS) e maior vigor no dossel (> IAF). Já o modelo proposto obteve valores de IAF semelhantes aos medidos nas coberturas, tanto na estação seca como na chuvosa. Os valores de IAF estimado pelo modelo de ALLEN et al. (2002) e de Norman et al. (2003) foram melhores nas coberturas em que a arquitetura do dossel eram mais baixas (pastagens) (**Figura 6**).

A estimativa do IAF em MG foi melhor representada pelos valores estimados pelo modelo proposto nesse estudo, pois os valores de SAVI em MG foram superiores a 0,69 implicando em um IAF sempre igual a $6.0 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$ pelo modelo de ALLEN et al. (2002). O modelo de NORMAN et al. (2003) também não obteve sucesso nas estimativas em MG e representou valores diferentes aos valores medidos. O modelo de ALLEN et al. (2002) subestimou os valores de IAF em BN, CQ, CS e CD (**Figura 6**).

Os modelos usados nesse estudo estimaram o IAF semelhante aos dados de campo nas pastagens (**Figura 6**). Na estação chuvosa, como não há restrição hídrica, permite que as pastagens mantenham sua atividade fotossintética (aumento de produção de folhas), enquanto que na estação seca, as pastagens entram em senescência, alterando suas características estruturais (diminuição de folhas), modificando a assinatura espectral e visual.

Essas alterações na estrutura das pastagens podem ser perceptíveis pelas imagens de satélite, o que possibilitou a relação significativa com o IAF medido e estimado pelo modelo de ALLEN et al. (2002) e NORMAN et al (2003) e o proposto nesse estudo.

A variabilidade espacial e temporal do IAF para as estações (seca e chuvosa) na área de estudo demonstra a dinâmica sazonal apresentando uma variação de um valor mínimo de 0,0 a um valor máximo de 9,0 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ pelo modelo proposto (**Figura 7**). As imagens estão divididas em período seco e chuvoso, dos respectivos anos. Em MG (5) os valores de IAF foram superiores a 6.1 $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ em ambos os períodos (**Figura 7**).

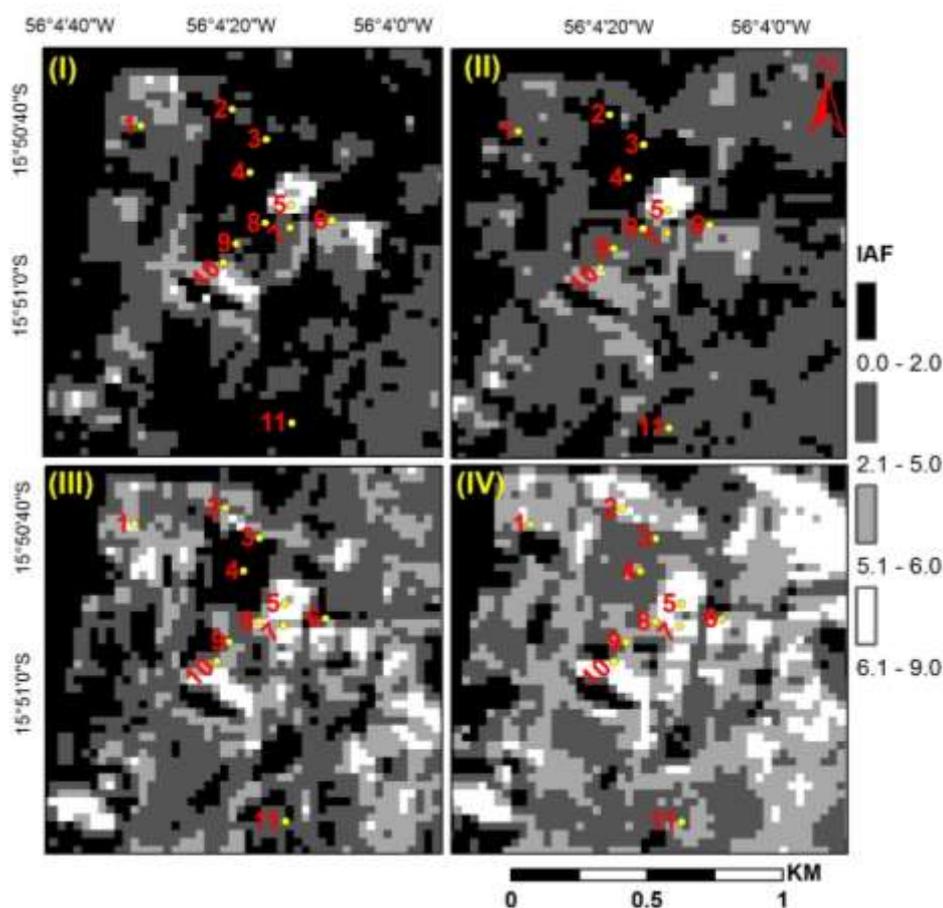


Figura 7: Espacialização da estimativa do IAF usando o modelo proposto nesse estudo para a Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. As cartas temáticas do dia 24/09/2015 (I) e 10/09/2016 (II) representam a estação seca e, 16/03/2015 (III) e 18/03/2016 (IV) representa a estação chuvosa.

Os menores valores de IAF podem ser visualizados na Figura 7 (tonalidade cinza escuro) encontrados na estação seca e em áreas com menor biomassa, e os maiores valores na estação chuvosa (tonalidade mais clara) na estação chuvosa e em áreas com maior biomassa. Em MG a tonalidade clara predomina tanto nas imagens da estação seca como na estação chuvosa (**Figura 7**).

4.5 MODELO DA ESTIMATIVA DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO

O estudo da disponibilidade de água no solo pode ser realizado por várias metodologias. Algumas dessas causam perturbação do solo, por exemplo o refletômetro no domínio da frequência, o reflectômetro no domínio do tempo e a sonda de nêutrons (HILLEL, 2011). No entanto, a aplicação dessas metodologias em grandes áreas requer grande quantidade de equipamentos e recursos humanos, o que impossibilita a implementação em alguns casos (GEVAERD et al., 2006), e a maioria desses equipamentos são caros e a falta de recurso financeiro impossibilita o estudo.

Na literatura científica não encontramos um modelo de estimativa para o conteúdo de água no solo por sensoriamento remoto usando Landsat 8. Geralmente, vários estudos têm relacionados o conteúdo de água no solo com os índices de vegetação e água (WANG et al., 2007; MOTA et al., 2010; LOPES et al., 2014; DANELICHEN et al., 2016), pois a umidade do solo é um fator que influencia diretamente no crescimento da vegetação.

Os valores de CAS nas 11 coberturas amostradas foram correlacionadas com as refletâncias do Landsat 8 e o índice de vegetação NDVI e SAVI. O estudo propõe um modelo para estimativa do CAS entre a refletância da banda 2 do Landsat 8 e o NDVI. A elaboração empírica do modelo proposto considerou a variação de NDVI que ocorre na superfície ao longo do ano (**Equação 17**). O fator 0.93 foi utilizado para ajustar os dados estimados aos medidos em campo.

$$CAS = \frac{LN\left(\frac{1-r_2}{0.93}\right)}{1-NDVI} \quad (17)$$

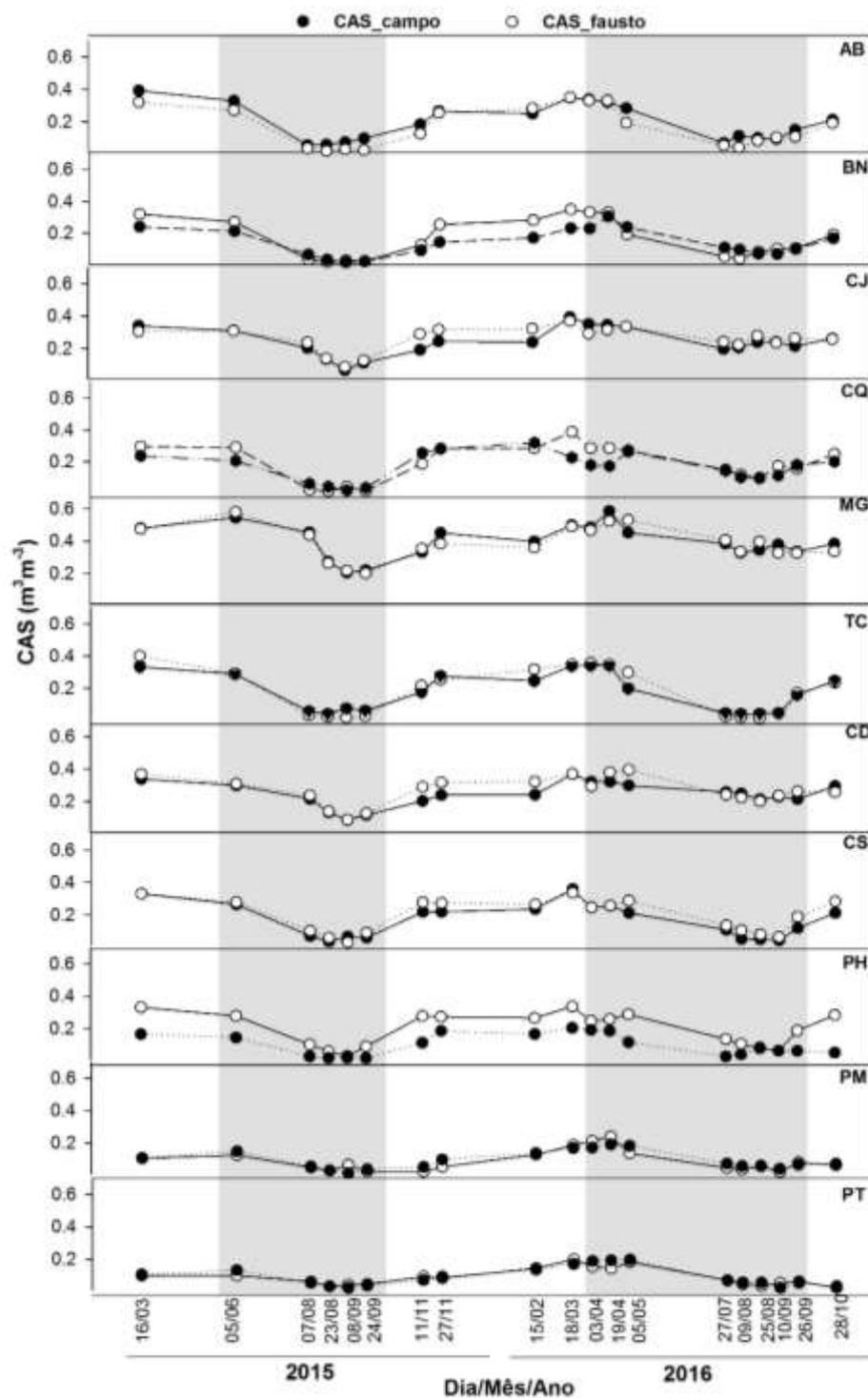


Figura 8: Comparação entre o modelo de estimativa de CAS com os dados de campos nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. A área sombreada representa a estação seca.

O modelo apresentado na equação 17 estimou os valores da CAS nas 11 coberturas do solo na FEX. Os maiores valores de CAS foram encontrados na estação chuvosa e os menores na estação seca. Os maiores valores de CAS foram estimados em MG e os menores na pastagem Tanzânia (**Figura 8**).

A variabilidade espacial e temporal do CAS para as estações (seca e chuvosa) na área de estudo demonstra a dinâmica sazonal apresentando uma variação de um valor mínimo de 0,0 a um valor máximo de $0.59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ pelo modelo proposto (**Figura 9**). As imagens estão divididas em período seco e chuvoso, dos respectivos anos. Em MG (5) os valores de CAS foram superiores a $0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na estação chuvosa (**Figura 9**).

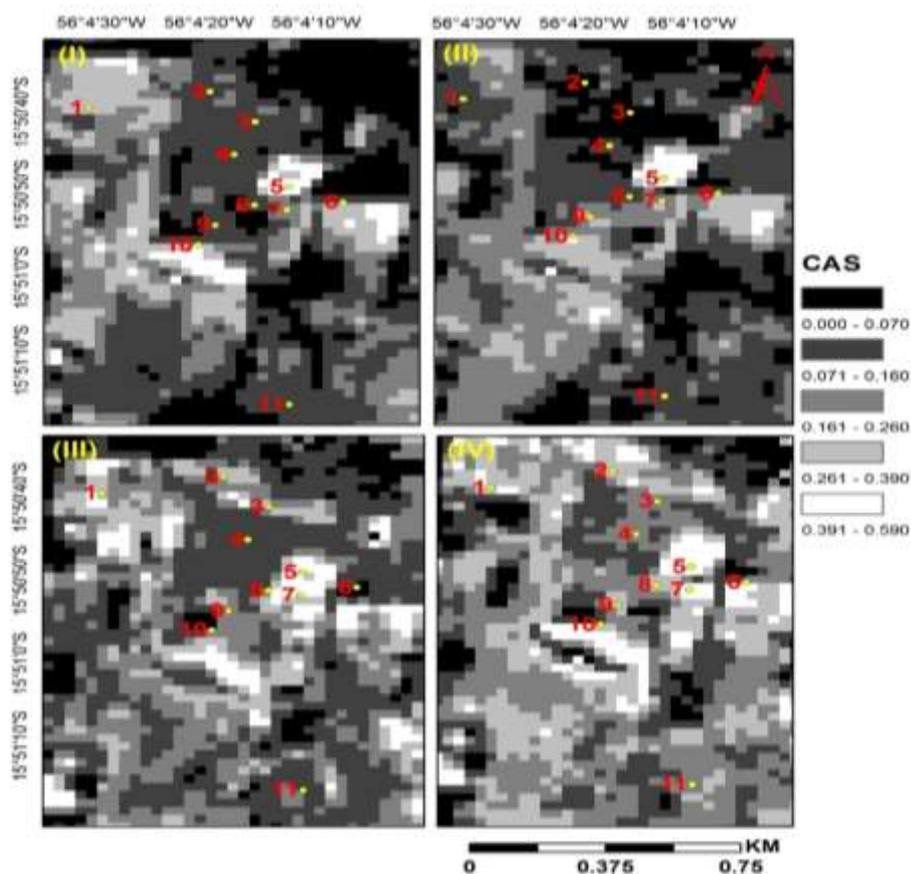


Figura 9: Espacialização da estimativa do CAS usando o modelo proposto nesse estudo nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso. As cartas temáticas são do dia 24/09/2015- **(I)** e 10/09/2016- **(II)** imagens representa a estação seca e 16/03/2015- **(III)** e 18/04/2016- **(IV)** as imagens que representa a estação chuvosa.

O modelo proposto nesse estudo para estimar o CAS, obteve-se índice de confiança acima de 0.80, menor RMSE, as correlações e o coeficiente de determinação foram maiores que 0.70 (**Tabela 13**).

Tabela 13: Validação do Modelo de estimativa do CAS proposto por fausto nas 11 coberturas de solo amostradas na Fazenda Experimental (FEX) da UFMT, Baixada Cuiabana, Mato Grosso, em que r é a correlação de Pearson, r^2 - coeficiente de determinação, d - coeficiente de wilmont, c - índice de confiança e REQM - Raiz do erro quadrático médio. (*) p-valor < 0.05; (**) p-valor < 0.01; (***) p-valor < 0.001.

| Local | r | R² | d | c | REQM |
|--------------|----------|----------------------|----------|----------|-------------|
| AB | 0.94*** | 0.89 | 0.95 | 0.89 | 0.049 |
| BN | 0.91*** | 0.83 | 0.89 | 0.82 | 0.061 |
| CJ | 0.88*** | 0.78 | 0.92 | 0.81 | 0.043 |
| CQ | 0.85*** | 0.73 | 0.88 | 0.76 | 0.063 |
| MG | 0.93*** | 0.87 | 0.96 | 0.90 | 0.037 |
| TC | 0.97*** | 0.94 | 0.97 | 0.95 | 0.040 |
| CD | 0.88*** | 0.77 | 0.90 | 0.80 | 0.046 |
| CS | 0.96*** | 0.91 | 0.96 | 0.96 | 0.041 |
| PH | 0.94*** | 0.88 | 0.92 | 0.87 | 0.030 |
| PM | 0.91*** | 0.82 | 0.94 | 0.86 | 0.028 |
| PT | 0.94*** | 0.88 | 0.96 | 0.90 | 0.021 |

5. CONCLUSÃO

A variação sazonal e anual das variáveis meteorológicas apresentaram padrão semelhante a outros estudos realizados na Baixada Cuiabana. Provavelmente o fenômeno do El Niño interferiu nos valores das variáveis meteorológica no ano de 2015 produzindo valores diferentes do padrão normal.

A variação sazonal dos índices de vegetação (NDVI e SAVI) e das refletâncias (r_2 e r_7) foram importantes para a definição dos modelos proposto nesse estudo, pois as alterações ocorridas na superfície acompanharam as mudanças observadas nas 11 coberturas amostradas na FEX.

A variação espaço-temporal do IAF e do CAS apresentaram parâmetros estatísticos ótimos e os valores encontrados foram melhores comparados a outros modelos de estimativas.

Os modelos propostos nesse estudo para estimar o IAF e o CAS podem ser aplicados na Baixada Cuiabana, visto que os dados de campos validaram as estimativas desses modelos, possibilitando a aplicabilidade do modelo em coberturas naturais ou agrônômica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, M. & BASTIAANSEN, W.G.M. Retrieving soil moisture storage in the unsaturated zone using satellite imagery and bi-annual phreatic surface fluctuations. *Irrig. Drain. Syst.*, 17:141-161, 2003.

ALLEN, A. C.; VALLS, J. F. M. Recursos Forrageiros Nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília, **EMBRAPA-CENARGEN** 339p. 1987.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. **Rome: FAO**, 1998, 297p. FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56.

ALLEN, R.; BASTIAANSEN, W.; WATERS, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Surface energy balance algorithms for land (SEBAL), **Idaho Implementation Advanced training and user's manual**, version 1.0, 2002.

AMORIM, A.V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; DE LACERDA, C. F. “Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado.” **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v.15, n.10, p.1014–1020, 2011. Doi: 10.1590/ S1415-43662011001000001.

ANGELINI, L. P.; SILVA E SILVA, P. C.; FAUSTO, M. A.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M.S. “Balanço de Energia nas Condições de Mudanças de Uso do Solo na Região Sul do Estado de Mato Grosso” **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, 353-363, 2017. Doi.org/10.1590/0102-77863230003.

ANGELOCCI, L. R.; VALANCOGNE, C. Leaf area and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, v.67, p.299-307, 1993.

ARIAS, D; CALVO-ALVARADO, J; DOHRENBUSCH, A. Calibration of LAI-2000 to estimate leaf area index (LAI) and assessment of its relationship with stand productivity in six native and introduced tree species in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.247, p.185-193, 2007.

ÁVILA, L.F.; MELLO, C.R.; MELLO, J.M. & SILVA, A.M. Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, 35:1801-1810, 2011.

BARBOSA, J. P. R. A. D.; MARTINS, G. A.; FERREIRA, R. T.; PENNACCHI, J. P.; SOUZA, V. F.; SOARES, A. M. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, v. 7, n. 3, p. 267-274, 2012. Doi.org/10.25186/cs.v7i3.368

BARROS, L. de M. Botânica, origem e distribuição geográfica. In: ARAJO, J.P.P.; SILVA, V.V. (Org). **Cajucultura: modernas técnicas de produção**. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT, p. 55-71, 1995.

BASTIAANSEEN, W.G.; MENENTI, M.; FEDDES, R.A.; HOLTSLAG, A.A.M. A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) 1.formulation. **Journal of Hydrology** v. 212-213, p. 198-212, 1998

BERMEJO, I.; CANELLAS, L.; MIGUEL, A.S. “Growth and yield models for teak plantations in Costa Rica. **Forest Ecology and management**, v. 189, p. 97-110, 2004.

BEZERRA, B. G.; DOS SANTOS, C. A. C.; DA SILVA, B. B.; MARIN, A. M. P.; BEZERRA, M. V. C.; BEZERRA, J. R. C.; RAO, T. V. R. “Estimation of soil moisture in the root-zone from remote sensing data” **Revista Brasileira Ciência do Solo**, vol.37 no.3, Viçosa, 2013. doi.org/10.1590/S0100-06832013000300005.

BIGNAMI, C.; ROSSINI, F. Image analysis of leaf area index and plant size of young hazelnut plants. **Journal of Horticultural Science**, v.71, p.113-121, 1996.

BIUDES, M.S. Balanço de Energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do pantanal. 2008. 142 f. Tese (Doutorado em agricultura tropical) Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

BIUDES, M.S.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; NOGUEIRA, J.S.; SANCHES, L. Estimativa do balanço de energia em Cambarazal e pastagem no norte do Pantanal pelo método da razão de Bowen. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 135-143, 2009.

BIUDES, M.S.; NOGUEIRA, J.S.; DALMAGRO, H.J.; MACHADO, N.G.; DANELICHEN, V.H.M. et al. Mudança no microclima provocada pela conversão de uma floresta de cambará em pastagem no Norte do Pantanal. **Revista de Ciências Agro-Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 61-68, 2012

BIUDES, M.S; MACHADO, N.G. DANELICHEN, V.H.M. SOUZA, M.C. VOURLITIS, G.L. et al. Ground and remote sensing-based measurements of leaf área index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 6, p. 1181- 1193, 2014.

BIUDES, M.S; VOURLITIS, G.L; MACHADO, N.G; ARRUDA, P.H.Z; NEVES, G.A.R. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 202, n. 15, p. 112-124, 2015.

BORGES, A. L.; OLIVEIRA, A. M. G. “Nutrição, calagem e adubação”. In: CORDEIRO, Z. J. M. Banana: **Produção: aspectos técnicos**. Brasília: Embrapa comunicação para Transferência de Tecnologia, (frutas do Brasil), 2000.

BRANDÃO, Z. N; BEZERRA, M. V. C; DA SILVA, B. B. Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Barbalha. **Anais**. Florianópolis: Inpe, 2007. p. 78 - 81.

BRANDÃO. A. A.; NOGUEIRA. J. S. Leaf area index of a tropical semi-deciduous forest of the southern Amazon Basin. **International Journal of Biometeorology**, v.55, p.109–118, 2010.

BRANTLEY, S. T.; ZINNERT, J. C.; YOUNG, D. R. Application of hyperspectral vegetation indices to detect variations in high leaf area index temperate shrub thicket canopies. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p.514-523, 2011.

BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, v.54, n.392, p.2403- 2417, 2003.

CABRAL, M.R.O.; GASH, J.H.; ROCHA, H.R.; MARSDEN, C.; LIGO, M.A.V.; FREITAS, H.C.; TATSCH, J.D. & GOMES, E. Fluxes of CO₂ above a plantation of eucalyptus in southeast Brazil. **Agric. For. Meteorol**, 151:49-59, 2011.

CAMARGO, A.P.; SENTELHAS, P.C.; Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.

CAMARGO, A.P; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p.125-137, 2000.

CAMOLESI, M. R.; NEVES, C.S.V.J; MARTINS, A.N; SUGUINO, E. “Fenologia a e produtividade de cultivares de bananeiras em Assis, São Paulo”. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. Recife, v.7, n.4, p.580-585, 2012. DOI: 10.5039 /agraria.v7i4a1747.

CAMPELO JÚNIOR, J.H. Relações sazonais entre a Radiação Solar Global e Insolação no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.6. n. 2 p. 193-199, 1998.

CARNEIRO, P. T.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; SOARES, F. A. L. “Germinação e crescimento inicial de genótipos de cajueiro anão-precoce em condições de salinidade”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.199-206, 2002. Doi.org/10.1590/S1415-43662002000200003.

CHIARANDA, R.; RIZZI, N.E.; COLPINI, R.; SOARES, T.S.; SILVA, V.S.M. Análise da precipitação e da vazão da bacia do Rio Cuiabá. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 7, n. 1, p. 117-122, 2012.

CHOUDHURY, B.J.; AHMED N.U.; IDSO S.B.; REGINATO R.J.; DAUGHTRY C.S.T. Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations. **Remote Sensing of Environment**, v.50, p.1-17, 1994.

COELHO FILHO, M. A.; ANGELOCCI, L. R.; CAMPECHE, L. F. S. M.; ROJAS, J. S. D.; Folegatti, M. V. Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar

jovem de lima ácida 'Tahiti' (Citrus latifolia Tan.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.12, p. 265-274,2004.

COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E. F.; CRUZ, L. L. Uso da transpiração máxima de mamoeiro para o manejo de irrigação por gotejamento em regiões úmidas e sub-úmidas. Cruz das Almas: **Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical**, 2007. 43p.

COELHO FILHO, M.A.; VILLA-NOVA, N.A.; ANGELOCCI, L. R.; MARIN, F. M.; RIGHI, C. A. "Método para estimativa do IAF de árvores isoladas ou de plantações com dossel fechado" **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16, n.5, p.529–538, 2012.

COOK, B.I.; BONAN, G.B. & LEVIS, S. Soil moisture feedbacks to precipitation in Southern Africa. **J. Climate**, 19:4198-4206, 2006.

COSTA, N. de L.; MAGALHÃES, J. A.; TOWNSEND, C. R.; PAULINO, V. T. "Fisiologia e manejo de plantas" Porto Velho-RO, **EMPRAPA**, (Circular técnica n 85), 2004.

CROW, W.T.; KUSTAS, W. & PRUEGER, J.H. Monitoring root-zone soil moisture through the assimilation of a thermal remote sensing-based soil moisture proxy into a water balance model. **Remote Sens. Environ.**, 112:1268- 1281, 2008.

DA ROCHA H.R.; GOULDEN M.L; MILLER S.D; MENTON M.C; PINTO L.D.V.O; FREITAS H.C; FIGUERA A.M.S. Seasonality of water and heat fluxes over a tropical forest in eastern Amazonia. **Ecology Applied** 14:22-32. doi: 10.1890/02-6001, 2004.

DA SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Balanço de Radiação no Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens Orbitais, **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n. 3, p. 143-152, 2011.

DA SILVA, B.B.; WILCOX, B.P.; da SILVA, V.P.R.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; OLIVEIRA, L.M.M.; Changes to the energy budget and evapotranspiration following conversion of tropical Savannas to agricultural lands in São Paulo State, Brazil. **Ecohydrology**, v. 9, n. 7, p. 1272-1283, 2011

DANELICHEN, V. H. de M.; BIUDES, M. S.; SOUZA, M.C.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J de S. "Relations of vegetation and water indices to volumetric soil water content in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil" **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 18 p. 4261-4275, 2016. Doi: 10.1080/01431161.2016.12

DE ALMEIDA, A.Q.; RIBEIRO, A.; DELGADO, R. C.; RODY, Y. P.; DE OLIVEIRA, A. S.; LEITE, F. P. "Índice de Área Foliar de Eucalyptus Estimado por Índices de Vegetação Utilizando Imagens TM - Landsat 5" **Revista Floresta e Ambiente**, p. 368-376, 2015. Doi.org/10.1590/2179-8087.103414.

DE NUNES, R.F; SAMPAIO, J. M. M.; RODRIGUES, J. A. S. “*Comportamento da mangueira (Mangifera indica L.)* sob irrigação na região do Vale do São Francisco. Petrolina-PE: **EMBRAPA**, (Circular Técnica n° 3), 2001.

DEMAREZ, V.; DUTHOIT, S.; BERET, F.; WEISS, M.; DEDIEU, G. Estimation of leaf area and clumping indexes of crops with hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.148, p.644-655, 2008.

DINIZ, G. L.; FONSECA, M.; CAMPELO JUNIOR, J. H.; análise harmônica do regime de precipitação em duas localidades da baixada Cuiabana. **Biomatemática**, v. 18, p. 37 - 48, 2008.

DONADIO, L. C. Abacate para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília, DF: **DENACOOB**, 1992. 109 p. (DENACOOB. FRUPEX, n. 2).

DOS SANTOS, C.A.; do NASCIMENTO, R.L.; RAO, T.V.R. Net radiation estimation under pasture and forest in Rondônia, Brazil, with TM Landsat 5 images. **Atmosfera**, v. 24, n. 4, p. 435-446, 2011

DRESCHER, R. “Crescimento e produção de *Tectona grandis* L. f., em povoamentos jovens de duas regiões do Estado de Mato Grosso-Brazil. 2004. 133f. **Tese** (doutorado em ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

ELMORE, A. J.; MUSTARD, J. F.; MANNING, S. J.; LOBELL, D. B. Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index. **Remote Sensing Of Environment**, New York, v. 73, n. 1, p.87-102, 21 jan. 2000. Doi: 10.1.1.456.5606.

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. “Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão”. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

ESTEVES, B.S.; SOUSA, E.F; LOUSADA, L.L.; MENDONÇA, J. C; MUNIZ, R.A; SILVA, R.M. Variações do albedo, NDVI e SAVI durante um ciclo da cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. Recife, v.7, n.4, p.663-670, 2012.

FASSNACHT, K. S.; GOWER, S. T.; NORMAN, J. M.; MCMURTRIE, R. E. A comparison of optical and direct-methods for estimating foliage surface-area index in forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.71, p.183-207, 1994.

FAUSTO, M. A.; ANGELINI, L. P.; MARQUES, H. O.; SILVA FILHO, A.; MACHADO, N. G.; BIUDES, M. S. “Impacto da alteração do uso do solo no saldo de radiação no Cerrado do sul de Mato Grosso. ” **Revista Ambiente e Água** v. 11 n. 2, Taubaté, 2016. Doi: 10.4136/ambi-agua.1843.

FAUSTO, M.A.; MACHADO, N.G.; NOGUEIRA J.S.; BIUDES, M.S. Net radiation estimated by remote sensing in Cerrado areas in the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 8, n. 1 p. 1-17, 2014.

FIGUEIREDO, E. O. “Avaliação de modelos pelo método da curva média para construção de curvas de índice de sitio para *Tectona grandis* L.F. Rio Branco, AC. EMPRAPA Acre, **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, n. 42, p. 49, 2005.

FLORENZANO, T. G; Iniciação ao Sensoriamento Remoto. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FONTES, R.H.; FERREIRA, J. M. S.; SIQUEIRA, L. A. “Sistema de Produção para a Cultura do Coqueiro” Aracaju-AL, **EMPRAPA** (Circular Técnica n 01), 2002.

FORMAGGIO, A. R.; EIPHANIO, J. C. N. Estudos Radiométricos das culturas de trigo e de feijão em três tipos de solos. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., 1988. **Anais...** Natal: INPE, 1988.

FUENTES, S.; PALMER, A. R.; TAYLOR, D.; ZEPPEL, M.; WHITLEY, R.; An automated procedure for estimating the leaf area index (LAI) of woodland ecosystems using digital imagery, MATLAB programming and its application to an examination of the relationship between remotely sensed and field measurements of LAI. **Functional Plant Biology**, v. 35, p.1070-1079, 2008.

GALVÍNCIO, J.D; DE MOURA, M.S.B; DA SILVA, T.G.F; DA SILVA, B.B, NAUE, C.R. LAI Improved to Dry Forest in Semiarid of the Brazil, International **Journal of Remote Sensing Applications**, v.3 p, 193 a 202. 2013.

GEVAERD, R.; FREITAS, R.S.; LONGO, M.; MOREIRA, D. S.; DIAS, M. A. F S.; P. L. DIAS, P. L. S. “Operating Estimate Soil Moisture for Initiation of Numerical Weather Prediction Models of the Atmosphere. And Soil Moisture Impact and Cumulus Parameterization in the Simulation of a Dry Line.” **Revista Brasileira de Meteorologia** n. 21, p.74-88, 2006.

HÉBRARD, O.; VOLTZ, M.; ANDRIEUX, P. & MOUSSA, R. Spatio-temporal distribution of soil surface moisture in a heterogeneously farmed Mediterranean catchment. **J. Hydrol**, 329:110-121, 2006.

HERINGER, E.P.; BARROSO, G.M.; RIZZO, J.A.; RIZZINI, C.T. A flora do Cerrado. In: **4 Simpósio sobre o Cerrado**. Brasília, DF. Bases para utilização agropecuária. Anais. São Paulo: EDUSP/Belo Horizonte: Itatiaia, p.211-232, 1977.

HILKER T, LYAPUSTIN A.I, TUCKER C.J, SELLERS P.J, HALL F.G, WANG Y. Remote sensing of tropical ecosystems: Atmospheric correction and cloud masking matter. **Remote Sensing of Environment** 127: 370-384. doi: 10.1016/j.rse.2012.08.035

HILLEL, D. “Environmental Soil Physics” p. 770, London, UK: Academic Press, 2011.

HOLLINGER, D. Y. Leaf and simulated whole-canopy photosynthesis in two co-occurring tree species **Ecology**, v.73, p.1-14, 1992.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, New York, v.25, p.295-309, 1988.

HUXMAN, T. E.; SMITH, M. D.; FAY, P. A; KNAPP, A. K.; SHAW, R.; LOIK, M. E.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T.; ZAK, J. C.; WELTZIN, J. F.; POCKMAN, W. T.; SALA, O. E.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; KOCH, G. W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E. E.; WILLIAMS, D. G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**, v. 429, n. 6992, p. 651-654, 2004.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). INMET-Clima. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/html/clima.php>>. Acesso em abril de 2018.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2ed. São José dos Campos: **Parêntese**, 2009, 604 p.

KJELLSTRÖM, E.; BÄRRING, L.; JACOB, D.; JONES, R.; LENDERINK, G. & SCHÄR, C. Modelling daily temperature extremes: recent climate and future changes over Europe. **Climatic Change**, 81:249-265, 2007.

KONG, X.; DORLING, S. & SMITH, R. Soil moisture modelling and validation at an agricultural site in Norfolk using the Met Office surface exchange scheme (MOSES). **Meteorol. Appl.**, 18:18-27, 2011.

LAM, A.; KARSENBERG, D.; van den HURT, B.J.J.M. & BIERKENS, M.F.P. Spatial and temporal connections in groundwater contribution to evaporation. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 15:2621-2630, 2011.

LANG, A. R. G.; YENQIN, X.; NORMAN, J. M. Crop structure and the penetration of direct sunlight. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.35, p.83-101, 1985.

LARA, M. A. S.; PEDREIRA, C. G. S. Estimativa da assimilação potencial de carbono em dosséis de espécies de braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, p.743-750, 2011.

LEBLANC, S. G.; CHEN, J. M.; FERNANDES, R.; DEERING, D. W.; CONLEY, A. Methodology comparison for canopy Structure parameters extraction for hemispherical photographs in boreal forests. **Agricultural. Forest Meteorology**, v.129, p.187-207, 2005.

LEONG, W.; LEMEUR, R.; YOON, P. K. Characterization of leaf área index and canopy light penetration of Heveabraziliensis by hemispherical photography. **Journal of the Rubber Research Institute of Malaya**, v.30, p.80-90, 1982.

LIMA, Carlos Eduardo Santos de et al. Análise multitemporal da cobertura vegetal do município de Garanhuns - PE, através dos dados de NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, Garanhuns. **Anais**. João Pessoa: Inpe, 2015. p. 163 - 170.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. “Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)” **Revista Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013. [Doi.org/10.4136/ambiagua.959](https://doi.org/10.4136/ambiagua.959)).

LINHARES, C. A.; PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Relação entre volume de madeira e Índice de Área Foliar em um povoamento de *Pinus* spp.: Estudo de caso. **Revista Árvore**, v.24, p.47-54, 2000.

LIU, S.D. A; ROBERTS, O. A; CHADWICK, C. J; STILL. Spectral Responses to Plant Available Soil Moisture in a Californian Grassland. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** v.19 p. 31–44. Doi: 10.1016/j.jag.2012.04.008.

LIU, W. T. H. Aplicações de Sensoriamento Remoto. Campo Grande: Ed. **UNIDERP**, p. 881, 2006.

LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. DE O.; DA SILVA, F. H. B.; SOBRAL, M. DO C.; FILHO, J. DE A.; CANDEIAS, A. L. B. “Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação”. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 9, p. 973-980, 2011.

MACFARLANE, C.; COOTE, M.; WHITE, D. A.; ADAMS, M. A. Pothograph exposure affects indirect estimation of leaf área in plantations of *Eucalyptus globulus* Labill. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.100, p.155-168, 2000.

MACFARLANE, C.; HOFFMAN, M.; EAMUS, D.; KERP, N.; HIGGINSON, S.; MCMURTRIE, R.; ADAMS, M. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.143, p.176-188, 2007.

MACHADO, N.G; SANCHES, L.B; SILVA, J.W.Z; NOVAIS, A. M; AQUINO, BIUDES, M.B; PINTO-JUNIOR, O.B. Soil Nutrients and Vegetation Structure in a Neotropical Seasonal Wetland. **Applied Ecology and Environmental Research** v.13 p: 289–305, 2015. Doi: 10.15666/aeer/1302_289305.

MAJASALMI, T; RAUTIAINEN, M.; STENBERG, P.; RITA, H. Optimizing the sampling scheme for LAI-2000 measurements in a boreal forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.154- 155, p.38-43, 2012.

MATTIA, F.; SATALINO, G.; PAUWELS, V.R.N. & LOEW, A. Soil moisture retrieval through a merging of multitemporal L-band SAR data and hydrologic modelling. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13:343-356, 2009.

MELLO, C.R.; ÁVILA, L.F.; NORTON, L.D.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M. & BESKOW, S. Spatial distribution of top soil water content in an experimental catchment of Southeast Brazil. **Sci. Agric.**, 68:265-393, 2011.

MENESES, P.R. Sensores Imageadores Multiespectrais na Faixa Óptica. In: Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto, 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em julho de 2014.

MENESES, P.R; ALMEIDA, T. Introdução ao Processamento de imagens de sensoriamento Remoto. Brasília, 2012.

MONTE, M. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; LEITE, H. G. L.; Stocks, J. J. Métodos indiretos de estimação da cobertura de dossel em povoamentos de clone de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, p.769-775, 2007.

MOORE, I.D.; BURCH, G.J. & MACKENZIE, D.H. Topographic effects on the distribution of surface water and the location of ephemeral gullies. **Trans. ASAE**, 31:1098-1107, 1998.

MORAN, M.S.; HYMER, D.C.; QI, J. & KERR, Y. Comparison of ERS-2 SAR and Landsat TM imagery for Monitoring agricultural crop and soil conditions. **Remote Sens. Environ.** 79:243-252, 2002.

MOTA, V.J.G; REIS. S.T; SALES, E.C.J; JUNIOR, V.R.R; OLIVEIRA, F.G; WALKER, S.F; MARTINS, C.E; CÓSER, A. C. "Irrigation Levels and Nitrogen Levels in Elephant Grass Pasture in the Dry Season in Northern Minas Gerais. " **Revista Brasileira de Zoologia** v. 39: 1191–1199. Doi: 10.1590/S1516-35982010000600005.

NORMAN, J. M.; CAMPBELL, G. S. Canopy structure. In: Pearcy, R. W.; Ehleringer, J.; Mooney, H. A.; Rundel, P. W. (eds). Plant physiological ecology: Field methods and instrumentation. London: **Chapman and Hall**, 1989. p.301-326.

NORMAN, J.M; ANDERSON, M.C; KUSTAS, W.P.; FRENCH, A.N.; MECIKALSKI, J; TORN, R; DIAK, G. R; ACHMUGGE, T.J. Remote Sensing of Evapotranspiration for Precision-Farming Applications. In: **International Geoscience & Remote Sensing Symposium**. Toulouse, 2003.

OLIVEIRA, T. K.; LESSA, L. S.; SILVA, S. O.; OLIVEIRA, J. P. Características agronômicas de genótipos de bananeira em três ciclos de produção, em Rio Branco-AC. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.1003-1010, 2008. Doi.org/10.1590/S0100-204X2008000800008

PAUWELS, V.R.N.; BALENZANO, A.; SATALINO, G.; SKRIVER, H.; VERHOEST, N.E.C. & MATTIA, F. Optimization of soil hydraulic model parameters using Synthetic Aperture Radar data: An integrated multidisciplinary approach. **IEEE T. Geosci. Remote Sens.**,47: 455-467, 2009.

- PERRIER, X.; LANGHEB, E.; DONOHUEC, M.; LENTFERD, C. Multidisciplinary perspectives on banana (*Musa spp.*) domestication. PNAS Early Edition, **Panamá**, v. 108, n. 28, p.11311-11318, 2011.
- PIERDICCA, N.; PULVIRENTI, L. & BIGNAMI, C. Soil moisture over vegated terrains using multitemporal remote sensing data. **Remote Sens. Environ.** 114: 440-448, 2010.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2010.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, YOSIO, E.; Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: **Parêntese**, 2010.
- RAMOS, Ricardo Rivelino Dantas et al. Aplicação do Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Avaliação de Áreas Degradadas e Potenciais para Unidades de Conservação. In: Simpósio brasileiro de ciências geodésicas e tecnologias da geoinformação, 3, 2010, Caatinga. **Anais**. Recife: 2010. p. 001 - 006.
- RENVOIZE, S. A.; CLAYTON, W. D.; KABUYE, C. H. S.; “Morphology, taxonomy and natural distribution of *Brachiaria (trin)* Griseb. In Miles, J. W., Mass, B. L.; Valle, C. B. ed *Brachiaria: Biology, agronomy and improvement*. Cali: CIAT: Campo Grande: **EMPRAPA CNPGC**, cap. 1, p. 1-15, 1966.
- RIBEIRO, J. F; DIAS, T. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação, **Ministério do Meio Ambiente** - Brasília, MMA. 2007.
- RIBEIRO, J. F; DIAS, T. Biodiversidade do Cerrado e Pantanal: áreas e ações prioritárias para conservação, **Ministério do Meio Ambiente** - Brasília, MMA. 2007.
- RIBEIRO, J.F., WALTER, B.M. T. Fitofisionomia do bioma Cerrado. In: Sano, S.M., Almeida, S.P. de. Cerrado: Ambiente e flora. Planaltina: **EMBRAPA/CPAC**. p.87-166, 1998.
- RICH, P. M. Characterizing plant canopies with hemispherical photography. **Remote Sensing Reviews**, v.5, p.13-18, 1990.
- RIGHI, C. A.; BERNARDES, M. S. The potential for increasing rubber production by matching tapping intensity to leaf area index. **Agroforestry Systems**, v.72, p.1-13, 2008.
- RIGHI, C. A.; LUNS, A. M. P.; BERNARDES, M. S.; PEREIRA, C. R.; TERAMOTO, E. R.; FAVARIN, J. L. Coffee water use in agroforestry system with rubber trees. **Revista Árvore**, v.32, p.781-792, 2008.
- RODRIGUES, T.R; PAULO, S.R; NOVAIS, J.W.Z, CURADO, L.F.A; NOGUEIRA, J. S; OLIVEIRA, R. G., LOBO, F. A; VOURLITIS, G. L. Temporal Patterns of Energy Balance for a Brazilian Tropical Savanna under Contrasting Seasonal Conditions. **International Journal of Atmospheric Sciences**, v.9, p. 1-9, 2013. Doi.org/10.1155/2013/326010.

ROQUE, R. de L.; DO AMORIM, T. B.; FERREIRA, C. F.; LEDO, C. A. da S.; AMORIM, E.P. “Desempenho agrônômico de genótipos de bananeira no recôncavo da Bahia” **Revista Brasileira Fruticulturas**, Jaboticabal, v.36 n°3 Jaboticabal, 2014. Doi.org/10.1590/0100-2945-361/13

ROSENDO, J. S.; ROSA, R. A utilização de sensores com resolução moderada (MODIS) no estudo da vegetação na Bacia do Rio Araguari – MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlandia v.33, n.17, p. 91-104. 2005.

SARAIVA, L. de A.; CASTELAN, F. P.; SHITAKUBO, R.; HASSIMOTO, N. M. A.; PURGATO, E.; CHILLET, M.; CORDENUNSI, B. R. Black leaf streak disease affects starch metabolism in banana fruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, n. 61, p. 5582–5589, 2013. DOI: 10.1021/jf400481c.

SBRISSIA, A. F.; SILVA, S. C. Comparação de três métodos para estimativa do índice de área foliar em pastos de capim marandu sob lotação contínua. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.212-220, 2008.

SCHLERF, M.; ATZBERGER, C.; HILL, J. Remote sensing of forest biophysical variables using HyMap imaging spectrometer data. **Remote Sensing of Environment**, v.95, p.177-194, 2005.

SENERIVIRATNE, S.I.; LÜTHI, D.; LITSCHI, M. & SCHÄR, C. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. **Nature**, 443:205-209, 2006.

SILVA, B. B.; SILVA, S. T. A.; GOMES, H. B. Balanço de Radiação no Perimetro Irrigado São Gonçalo – PB mediante imagens Orbitais, **Revista Caatinga**, Mossoró, v.24, n. 3, p. 143-152, 2011.

SILVA, T. G. F. DA; MOURA, M. S. B. DE; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; SOUZA, L. S. B. DE; BRANDÃO, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.139-147, 2011.

SMETHURST, P. J.; BAILLIE, C.; CHERRY, M.; HOLZ, G. Fertilizer effects on LAI and growth of four Eucalyptus nitens plantations. **Forest Ecology and Management**. v. 176, p. 531-42, 2003.

STENBERG, P. Correcting LAI-2000 estimates for the clumping of needles in shoots of conifers. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.79, p.1-8, 1996.

SU, Z.; YACOB, A.; WEN, J.; ROERINK, G.; HE, Y.; GAO, B.; BOOGAARD, H. & van DIEPEN, C. Assessing relative soil moisture with remote sensing data: Theory, experimental validation, and application to drought monitoring over the North China Plain. **Phys. Chem. Earth**, 28:89-101, 2003.

VALLE, C. B.; EUCLIDES, V.P.B., MACEDO, M. C. M. “ Características das plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: Simpósio Sobre manejo de Pastagens. 17. Piracicaba, 2000. **Anais**: Piracicaba: FEALQ, 2000, p. 65-108.

VISCHEL, T.; PEGRAM, G.G.S.; SINCLAIR, S.; WANER, W. & BARTSCH, A. Comparison of soil moisture fields estimated by catchment modeling and remote sensing: A case study in South Africa. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 12:751-767, 2008.

VIVONI, E.R.; ENTEKHABI, D.; BRAS, R.L. & IVANOV, V.Y. Controls on runoff generation and scale-dependence in a distributed hydrologic model. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 11:1683-1701, 2007.

WANG H.; LI X.; LONG H.; XU, X.; BAO, Y. “Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote-sensing data: A case study in China’s Yongding River basing. **Catena**, v. 82, p. 135-145, 2010. DOI: 10.1016/j.catena.2010.05.008.

WANG, L.; QU, J.J.; ZHANG, S.; HAO, X. & DASGUPTA, S. Soil moisture estimataion using MODIS and Ground measurements in eastern China. **Intern. J. Remote Sens.**, 28:1413-1418, 2007.

WATSON, D. J. Comparative physiological studies on growth of field crops: I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. **Annals of Botany**. London, v. 11, n. 44, p. 41-76, 1947.

WELLES, J. M. Some indirect methods of estimating canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, v.5, p.31-43, 1990.

WELLES, J. M.; COHEN, S. Canopy structure measurement by gap fraction analysis using commercial instrumentation. **Journal of Experimental Botany**, v.47, p.1335-1342, 1996.

WELLES, J. M; NORMAN, J. M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v.83, p.818-825, 1991.

WESTERN, A.W.; ZHOU, S.L.; GRAYSON, R.B.; MCMAHON, T.A.; BLÖSCHL, G. & WILSON, D.J. Spatial correlation of soil moisture in small catchments and its relationship to dominant spatial hydrological processes. *J. Hydrol.* 286:113-114, 2004.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O’DONNELL, J.; ROWE, C.M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v.90, n.C5, p.8995- 9005, 1985.

WILLMOTT, C.J.; MATSSURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v.30, p.79-92, 2005.

XAVIER, A. C. Estimativa da dinâmica do índice de área foliar em uma microbacia hidrográfica por meio de técnicas de sensoriamento remoto. 2002. 111 p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

XAVIER, A. C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. de. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **Revista Árvore**, v.26, p.421-427, 2002.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Leaf area index of ground covers in a subtropical watershed. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 3, p. 425-431, 2003.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A. Leaf area index of ground covers in a subtropical watershed. **Scientia Agricola**, v.60, p.425-431, 2003.

ZANCHI, F.B; WATERLOO, M.J; AGUIAR, L.J.G; RANDOW, C.V; KRUIJT, B; CARDOSO, F.L; MANZI, A. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil, **Acta Amazônica**, v.39 n.2, p. 335-348, 2009.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J.R.; Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.133, p.166-181, 2005.