



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

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DO DESENVOLVIMENTO E TRANSPIRAÇÃO DO  
ALGODOEIRO IRRIGADO NO CERRADO BAIANO POR MEIO DE ÍNDICE  
ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO**

**JOSÉ NORMAND VIEIRA FERNANDES**

**AREIA - PB**  
**JANEIRO DE 2018**



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

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DO DESENVOLVIMENTO E TRANSPIRAÇÃO DO  
ALGODOEIRO IRRIGADO NO CERRADO BAIANO POR MEIO DE ÍNDICE  
ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO**

**José Normand Vieira Fernandes**

**Orientando**

**Prof. Dra. Valéria Peixoto Borges**

**Orientadora**

**Areia PB**

**Janeiro de 2018**

**JOSÉ NORMAND VIEIRA FERNANDES**

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DO DESENVOLVIMENTO E TRANSPIRAÇÃO DO  
ALGODOEIRO IRRIGADO NO CERRADO BAIANO POR MEIO DE ÍNDICE  
ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO**

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

**ORIENTADORA: Prof. Dra. Valéria Peixoto Borges**

**AREIA – PB**

**JANEIRO DE 2018**

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da  
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

F363a Fernandes, José Normand Vieira.

Avaliação temporal do desenvolvimento e transpiração do algodoeiro irrigado no cerrado baiano por meio de índice espectral de vegetação. / José Normand Vieira Fernandes. - Areia: UFPB/CCA, 2018.  
xii, 29 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) –  
Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2018.

Bibliografia.

Orientadora: Valéria Peixoto Borges.

1. Algodão - agronomia. 2. Avaliação temporal - algodoeiro. 3. Índice espectral. I. Borges, Valéria Peixoto. (Orientadora). II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 633.51

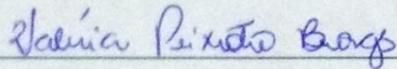
**JOSÉ NORMAND VIEIRA FERNANDES**

**AVALIAÇÃO TEMPORAL DO DESENVOLVIMENTO E TRANSPIRAÇÃO DO  
ALGODOEIRO IRRIGADO NO CERRADO BAIANO POR MEIO DE ÍNDICE  
ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO**

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

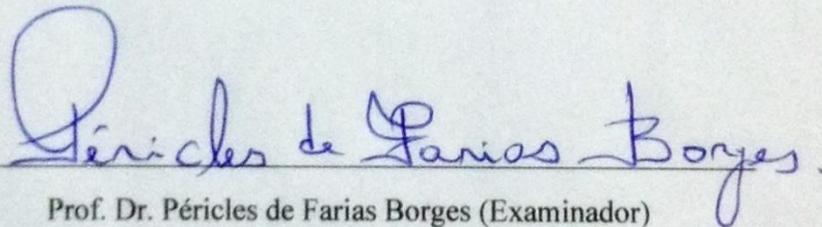
Aprovado em: 31/05/2018

**BANCA EXAMINADORA**



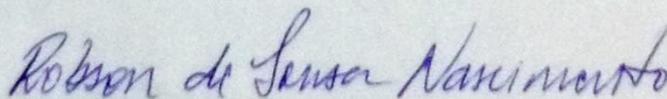
Profª. Dra. Valéria Peixoto Borges (Orientadora)

DSER/CCA/UFPB



Prof. Dr. Péricles de Farias Borges (Examinador)

DCFS/CCA/UFPB



Prof. Dr. Robson Sousa Nascimento (Examinador)

DSER/CCA/UFPB

A Deus.

Aos meus pais, Antônio Fernandes Lima Neto e Antônia Nilza Vieira Fernandes. Aos meus irmãos, Carlos Newdmar Vieira Fernandes, Ana Nathália Vieira Fernandes e Maria Narcília Vieira Fernandes. À minha sobrinha, Maria Clara Fernandes Batista. À minha cunhada, Chislene Nojosa Dias Fernandes.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso fosse possível, me concedendo saúde, força e disposição ao longo dessa caminhada e de toda minha vida. Sem Ele, nada disso seria possível.

Aos meus pais Neto e Nilza que sempre foram exemplo em minha vida, não medindo esforços para tornar possível minha jornada acadêmica.

Ao meu irmão Newdmar, às minhas irmãs Nathália e Narcília e à minha cunhada Chris que sempre foram fonte de inspiração e motivação, me ajudando a vencer as dificuldades encontradas.

Aos meus avôs Artur (*In memoriam*), Narcisa (*In memoriam*), Jorge (*In memoriam*) e Ana que sempre me apoiaram e contribuíram para minha formação.

Aos meus tios e tias, primos e primas, que acreditaram em mim e me incentivaram a continuar batalhando em busca dos meus objetivos.

À Universidade Federal da Paraíba, por fornecer ambiente criativo e amigável, além de apoio e alimentação durante todo o período da minha graduação.

Aos professor Péricles, que foi quem primeiro acreditou em mim e me norteou no início de minha vida acadêmica no CCA, sempre ao meu lado quando precisei.

Aos demais professores do Curso de Agronomia, pelos conhecimentos técnicos e de vida repassados nesse tempo.

Aos colegas de turma, os quais não poderiam ser melhores. Sempre juntos nessa caminhada dividindo momentos de aprendizado, alegria e descontração, tornando suportável a distância de casa e formando uma nova família que com certeza irei levar para a vida inteira (não citarei nomes para não cometer a injustiça de acabar esquecendo algum).

Aos colegas da residência universitária, que também foram e são como uma segunda família. Principalmente Vinícius (Baiano), João Paulo, Mateus Batista e Riélder Rolim que tive o prazer de dividir apartamento, assim como Halison (Golinha), Douglas Vieira, Alex Pacheco, Francisco Jeanes (Chico) e meu primo Caique Palácio que sempre estiveram por perto em todos os momentos do dia à dia.

Aos colegas do Castelinhos 02, Tássio Borja, Artur (Tutuzão), Leandro Almeida, Vereador Luiz Póstimo, pelos momentos de descontração e amizade. Da mesma forma aos demais colegas: Jânio Félix, Joseilson (Kika), Borba, Rodolfo Félix, Neto Roque, José Marcelino, Kennedy Ribeiro, Rodrigo (Tubarão), Sidney Saymon, Eduardo (Timbaúba) e

Raphael Gomes (Galeguinho de Patos).

Aos colegas de Jucás-CE, que sempre me estimularam e acreditaram no meu potencial.

Em especial à minha orientadora Dra. Valéria Peixoto Borges, por toda a atenção, paciência e dedicação na realização deste e de outros trabalhos, sempre me passando segurança e confiança, mostrando o caminho certo a ser trilhado. Constantemente presente e disposta a colaborar, com certeza foi de enorme contribuição para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os demais que prestaram contribuições para o sucesso na conclusão deste curso.

## SUMÁRIO

<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>ix</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Geral.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>16</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo: .....</b>	<b>17</b>
<b>4.2 Imagens de Satélite .....</b>	<b>19</b>
<b>4.3 Dados Meteorológicos.....</b>	<b>19</b>
<b>4.4 Processamento das imagens .....</b>	<b>20</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>21</b>
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>28</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>29</b>

## Lista de Figuras

- Figura 1.** Localização da cidade de Bom Jesus da Lapa, oeste do estado da Bahia. .... 18
- Figura 2.** Imagem da área de estudo em 26/04/07, obtida pelo sensor TM - Landsat 5. (A) Vista geral com localização da Fazenda Busato e (B) detalhe da fazenda com os pivôs. Fonte: Borges et al. (2010). .... 18
- Figura 3.** Mapas do NDVI para a área estudada em Bom Jesus da Lapa-BA. .... 23
- Figura 4.** Mapas de  $K_{cb}$  para a área de cultivo de algodão em Bom Jesus da Lapa-BA. .... 25
- Figura 5.** Variação do NDVI e do  $K_{cb}$  no pivô 17 em relação ao desenvolvimento da cultura e suas linhas de tendência polinomial. .... 26

## Lista de Tabelas

- Tabela 1.** Datas de obtenção das imagens TM – Landsat 5, de semeadura e de colheita (entre parênteses) do algodão no primeiro semestre de 2007, na Fazenda Busato, oeste da Bahia. Fonte: Borges et al. (2010). ..... 19
- Tabela 2.** Dados médios de temperatura do ar, velocidade do vento, radiação solar e Evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para a área estudada. .... 21
- Tabela 3.** Dados médios de Coeficiente Basal de Cultivo ( $K_{cb}$ ), Coeficiente de Evaporação ( $K_e$ ), Coeficiente de Cultivo ( $K_c$ ) e Evapotranspiração da Cultura ( $ET_c$ ) para o pivô 17. .... 27

FERNANDES, José Normand Vieira. **Avaliação temporal do desenvolvimento e transpiração do algodoeiro irrigado no cerrado baiano por meio de índice espectral de vegetação.** Areia – PB, 2018. 31p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) – Universidade Federal da Paraíba.

## RESUMO

No atual cenário do agronegócio nacional e mundial as tecnologias estão cada vez mais presentes nos campos de cultivo, inclusive de algodão, onde se busca melhores produtividade e qualidade dos insumos produzidos, da forma mais sustentável e econômica possível. Com esse intuito, na agricultura tem-se aplicado o uso do Sensoriamento Remoto. Com isso, objetivou-se neste trabalho estimar os valores de  $ET_c$  para a cultura do algodão irrigado com pivô central no município de Bom Jesus da Lapa - BA, através de índices espectrais de vegetação. As imagens utilizadas foram geradas pelo sensor TM do satélite Landsat 5 (TM-L5) e compreendem o período de janeiro a julho de 2007. Para caracterização das condições meteorológicas do período estudado e para obtenção da evapotranspiração de referência, foram utilizados dados oriundos de uma estação meteorológica automática instalada no local. Mapas de NDVI foram gerados para, em seguida, obter o coeficiente basal de cultivo –  $K_{cb}$ . Os valores encontrados de NDVI ao longo de todo o ciclo da cultura, foram entre 0,28 e 0,85, para as fases inicial e média, respectivamente, atingindo seu valor máximo em 12 de maio e a partir daí decrescendo até 0,39 na data da última imagem em 15 de julho. O  $K_{cb}$  evoluiu de forma similar, iniciando com 0,05 na data de 20/01 (DAS 9) e atingindo, na fase média, o valor máximo de 0,98 e 1,00 nas datas 26/04 e 12/05, respectivamente. Porém, com o início da fase final, os valores de  $K_{cb}$  vieram a declinar até o valor de 0,24 no dia 15/07 (DAS 178). Notou-se uma superestimação nos valores calculados de  $K_c$  quando comparados com os valores indicados pelo Manual da FAO devido aos elevados valores de  $K_e$  obtidos. O NDVI mostrou o desenvolvimento do algodoeiro conforme visto na literatura. O  $K_{cb}$  gerado pelo NDVI foi 10 % inferior aos valores indicados pela FAO. As técnicas utilizadas neste trabalho são eficientes apenas para determinação de coeficientes basais.

**Palavras chaves:** algodoeiro, NDVI,  $K_{cb}$ .

FERNANDES, José Normand Vieira. **Temporal evaluation of development and transpiration of irrigated cotton at baiano cerrado by means of spectral index of vegetation.** Areia – PB, 2018. 31p. Final Paper of Course Completion. (Graduation in Agronomy Engineering) –Federal University of Paraíba.

### **ABSTRACT**

In the current scenario of national world agribusiness the technologies are increasingly present in the fields of cultivation, including cotton, where search better productivities and quality of the inputs produced, in the way most sustainable and economic feasibility. Due that, remote sensing has been applied in agricultural research. This, the objective of the present work is estimate the values of  $ET_c$  for the irrigated cotton crop with central pivot in the municipality of Bom Jesus da Lapa - BA, through spectral indices of vegetation. The images used were generated by sensor TM from the satellite Landsat 5 (TM-L5) and comprise the period from January to July 2007. For characterization of meteorological conditions of the studied period and to obtain reference evapotranspiration, were used data from an automatic weather station installed on site. Then, the procedures were carried out with images. The values found for NDVI throughout the crop cycle, were between 0,28 and 0,85, in initial and middle phases, respectively, reaching its maximum value on May 12. After that, it begins to decrease until 0,39, occurred on July 15, wich is the last image in the presente study. The basal crop coefficients -  $K_{cb}$  reacted in a similar way, starting with 0,05 on the date of 01/20 (DAS 9) and reaching, in the middle phase, the maximum value of 0,98 and 1,00 on 04/26 and 05/12, respectively. However, with the start of the final phase, the values of  $K_{cb}$  they came to decline until it hit the value of 0.24 on 07/15 (DAS 178). It was noted an overestimation of the calculated values of  $K_c$  when compared to the values indicated in the FAO 56 handbook due to the high values of  $K_e$  obtained. The NDVI showed the development of cotton as seen in the literature. The  $K_{cb}$  generated by the NDVI was 10 % lower than the values indicated by FAO. The techniques used in this work are efficient only for determination of basal crop coefficients.

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

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo maior bioma brasileiro, sendo superado em área apenas pela Amazônia, o Cerrado ocupa cerca de 21 % do território nacional e é considerado a última fronteira agrícola do planeta. A precipitação média anual nessa região é de 1.500 mm, sendo esta dividida entre um período chuvoso que vai de outubro a março, responsável por mais de 90 % da precipitação anual, e um período de seca que vai de abril a setembro (BORLAUG, 2002).

A cultura do algodão é uma das mais importantes no mundo todo. Principal matéria prima para fabricação de tecidos e roupas, o algodão é valorizado e produzido no mundo todo. O Brasil vem ostentando nos últimos anos um lugar de destaque na produção e exportação do algodão. Segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2018), a área plantada no país na safra 2016/2017 foi de 939,1 mil ha, com uma produção estimada de 1.529,5 mil toneladas. Já na safra 2017/2018, a estimativa é que haja um aumento nesses valores alcançando 1.050,4 mil ha de área plantada e uma produção de 1.703,4 mil toneladas, representando um aumento de 11,9 % e 11,4 %, respectivamente.

Na Bahia, a estimativa de área para a safra 2017/18 é de 271,8 mil ha, com produtividade prevista de 1.583 Kg ha<sup>-1</sup> de algodão em pluma, produzidas nas regiões do extremo-oeste e centro-sul. No extremo-oeste, a área para o algodão de sequeiro está estimada a atingir 225 mil ha (CONAB, 2018).

No atual cenário do agronegócio nacional e mundial as tecnologias estão cada vez mais presentes nos campos de cultivo, inclusive de algodão, onde se busca melhores produtividade e qualidade dos insumos produzidos, da forma mais sustentável e econômica possível. Com esse intuito, na agricultura tem-se aplicado o uso do Sensoriamento Remoto que consiste no registro da informação de uma determinada região, sem contato físico, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagem (JENSEN, 2009).

Esses dados de sensoriamento remoto podem fornecer informações precisas da variabilidade do campo, em grandes áreas, por apresentarem potencial para o monitoramento de parâmetros biofísicos ligados à produtividade, ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (MOTOMIYA et al., 2012).

Existem várias técnicas de processamento de imagens que otimizam a exploração dos

dados de sensores remotos como aquelas, por exemplo, referentes aos índices de vegetações (IVs) (BORGES et al., 2010). Dentre os índices de vegetação, o mais aplicado é o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, cuja sigla em inglês é NDVI. O NDVI permite identificar áreas de ocupação e densidade de vegetação no solo e pode ser estimado através de imagens produzidas nas faixas do visível (vermelho) e do infravermelho próximo.

A conjunta perda de água para o meio através da evaporação no solo e da transpiração na parte aérea da planta é denominada Evapotranspiração (ET). Esse fenômeno é um dos componentes principais aplicados nos cálculos de estimativa de demanda hídrica nos cultivos, sendo necessário, portanto, que sua estimativa seja precisa (COSTA, 1999). A razão entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) é denominada coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Enquanto que o coeficiente de cultura basal ( $K_{cb}$ ) é a variação das necessidades de transpiração de acordo com o estágio fenológico da cultura (ALLEN et al., 1998).

As imagens orbitais provenientes dos mais diversos sensores remotos, por meio das diversas resoluções espectrais, temporais e espaciais, têm-se apresentado como relevantes fontes de informações com possibilidades de aplicações na caracterização das áreas de sistemas integrados, no monitoramento, no espaço e no tempo, das alterações no uso e na cobertura das terras e, especialmente, na correlação de parâmetros biofísicos, como índices de área foliar, biomassa e carbono. Permitindo, através da reflectância das culturas, obtermos uma estimativa indireta do  $K_{cb}$ , uma vez que tanto a reflectância espectral quanto o  $K_{cb}$  são sensíveis à fração de cobertura do solo e ao índice de área foliar (ANDRADE, 2014).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Estimar os valores de  $ET_c$  para a cultura do algodão irrigado com pivô central no município de Bom Jesus da Lapa - BA, através de índices espectrais de vegetação.

### **2.2 Específicos**

- Determinar o NDVI na cultura do algodão na safra de 2007, em Bom Jesus da Lapa - BA.
- Estimar os valores de  $K_{cb}$  e  $K_e$  para a obtenção do  $K_c$  da cultura.
- Avaliar a evolução da cobertura vegetal do algodoeiro a partir do NDVI.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é uma cultura que tem sido cultivado em todo o mundo. No Brasil, os estados produtores desta malvácea que se destacam são o Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais e Bahia. Estes estados têm colaborado para que o país ocupe o terceiro lugar no ranking de maiores exportadores de algodão no mundo (MAPA, 2017; CONAB, 2017).

Para apresentar crescimento e desenvolvimento, o algodoeiro precisa de água frequente e em quantidade adequada. A indisponibilidade de água ou seu mal fornecimento pode significar o comprometimento tanto do crescimento, quanto do desenvolvimento da planta, afetando por consequência a produtividade da cultura. (HUSSEIN et al., 2011; LUO et al., 2013).

Para determinação da ET vem sendo vastamente utilizada a metodologia proposta no boletim 56 da FAO (Food Agriculture Organization), devido a sua simplicidade de operação e eficiência de resultados, necessitando apenas dos valores de  $K_c$  da cultura e alguns dados meteorológicos do local (ALLEN et al., 1998; HUNSAKER et al., 2003).

Visando uma gestão sustentável da irrigação, deve-se determinar de forma precisa, a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). Porém, a dificuldade em estimar de forma confiável o coeficiente de cultura é o problema do método que se baseia em condições climáticas para prever o requerimento de irrigação (TROUT e JOHNSON, 2007; TOUREIRO et al., 2016).

Os coeficientes de cultivo são comumente estimados com base nos dias, desde o plantio ou, ocasionalmente, nos graus-dia (ALLEN et al., 1998). Para maior precisão, no lugar de um único  $K_c$ , o coeficiente dual de cultivo pode ser considerado, como descrito por Allen et al. (1998), em que um coeficiente basal ( $K_{cb}$ ), referente às características genéticas das culturas, indica a transpiração; e um coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ) que explica o grau em que o solo é coberto pela cultura, principalmente referindo-se à componente evaporativa de  $ET_c$ .

Quando o interesse é a determinação de um parâmetro em escala regional, ou com cobertura sobre uma grande área, a utilização de técnicas de sensoriamento remoto é imprescindível. Nesse sentido, a utilização de imagens de satélite apresenta-se como uma alternativa com grandes potenciais e já tem sido usada em escala operacional em alguns países (LEIVAS, 2007).

Os índices de vegetação gerados a partir de dados oriundos de sensores remotos

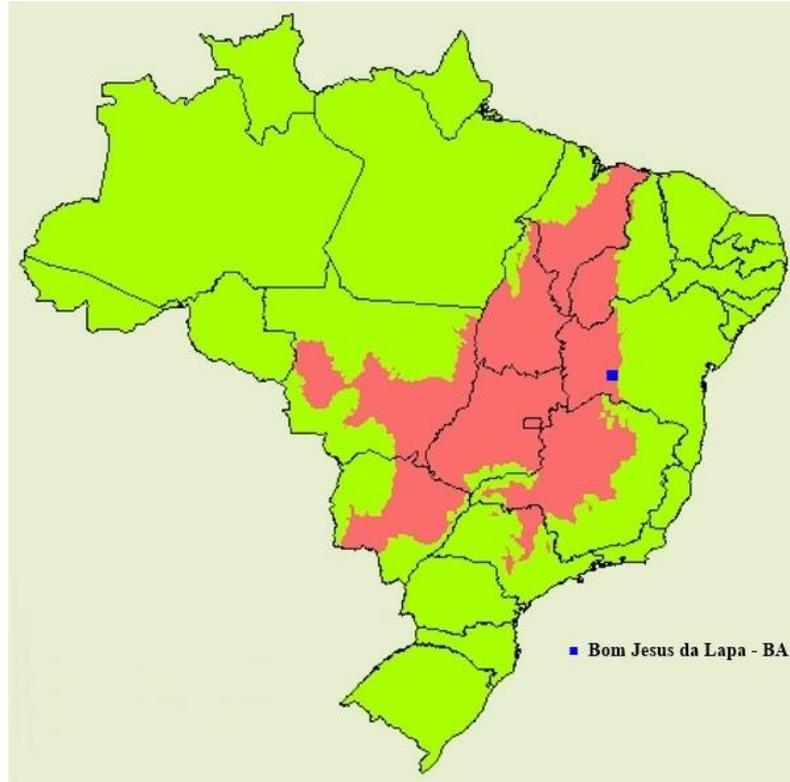
constituem uma importante ferramenta para o monitoramento de alterações naturais ou antrópicas no uso e na cobertura da terra (LIMA 2013). O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) é bastante aplicado na avaliação da cobertura vegetal e na determinação da produção e de coeficientes de cultivo. Derivado das reflectâncias nos canais do vermelho e infravermelho próximo, o NDVI apresenta uma relação direta com a transpiração das plantas, apresentando bons resultados na determinação do  $K_{cb}$  (SIMMONEAUX et al., 2008; JOHNSON e TROUT, 2012; ER-RAKI et al., 2013).

Estes métodos de determinação de  $K_c$ , além de serem de simples implementação e utilizarem poucos dados, possibilitam o monitoramento da variação do uso da água em diferentes estádios de uma cultura. Nesse sentido, tem-se determinado com base na relação entre o NDVI e  $K_c$ , a  $ET_c$  de várias culturas (HUNSAKER et al., 2003, 2007; LÓPEZ-URREA et al., 2009).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

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

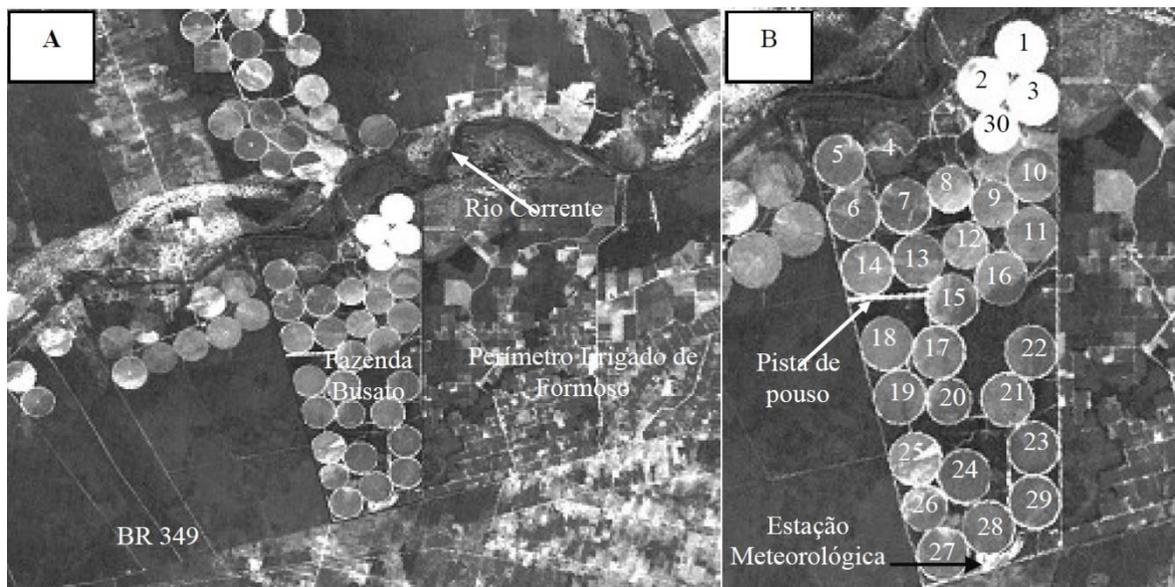
A área de estudo está localizada na Fazenda Busato, distante 35 km a oeste da cidade de Bom Jesus da Lapa (13°15'18'' S, 43°25'05'' W, 436 m), no estado da Bahia. O tipo climático, segundo Köppen é BSw<sup>h</sup>, caracterizado por seco a subúmido e semiárido (IBGE, 2018), com chuvas de verão e período seco bem definido no inverno, e ausência de excedente hídrico. As médias anuais de temperatura, precipitação e evapotranspiração potencial são, respectivamente, 25,3 °C, 831 mm e 1418 mm. Na região predominam Latossolos e Cambissolos, com vegetação de contato caatinga-floresta estacional (BORGES et al., 2010). O clima e a vegetação local se assemelham a caatinga por ser uma área de transição entre os dois biomas, estando a cidade disposta no início do território definida com o bioma cerrado.



**Figura 1.** Localização do município de Bom Jesus da Lapa, oeste do estado da Bahia.

O período estudado foram os meses de janeiro a julho de 2007. Havia nesse período 2500 ha<sup>-1</sup> de algodão das variedades Delta Penta e Delta Opal irrigados por sistema de pivô central. Predominando no restante do espaço da propriedade, vegetação natural de baixo porte.

No momento do estudo os pivôs de 5 a 29 eram cultivados com algodão, enquanto que os pivôs 1, 2, 3 e 30 estavam em pousio e o pivô 4 desativado, como mostrado a seguir na figura 2.



**Figura 2.** Imagem da área de estudo em 26/04/07, obtida pelo sensor TM - Landsat 5. (A) Vista geral com localização da Fazenda Busato e (B) detalhe da fazenda com os pivôs. Fonte: Borges et al. (2010).

A Tabela 1, elaborada por Borges et al. (2010), mostra as datas de plantio e colheita para cada pivô ativo no período de realização do estudo, bem como as datas das imagens obtidas para o estudo. Com isso, pode-se verificar que no pivô 17, plantado no dia 11/01 e colhido dia 19/07, a cultura está presente em todas as datas das imagens trabalhadas, permitindo acompanhar adequadamente a variação do NDVI de acordo com o desenvolvimento da cultura.

**Tabela 1.** Datas de obtenção das imagens TM – Landsat 5, de semeadura e de colheita (entre parênteses) do algodão no primeiro semestre de 2007, na Fazenda Busato, oeste da Bahia. Fonte: Borges et al. (2010).

Mês	Data da imagem	Pivô e data de semeadura	Pivô e data de colheita
Jan	20	23 (8)*; 28 (9); 15 e 17 (11); 12 (12); 10-N** (15); 24-O, 26 e 29 (16); 14 (17); 6 e 13 (18); 7, 8-S e 24-L (19); 5 (20); 20 e 21 (21); 19 (22); 18 (23); 27 (24); 16 (26); 9 e 10-S (27); 11 (28)	-
Fev	-	25 (27)	-
Mar	25	8-N (1); 22 (6)	-
Abr	26	-	-
Mai	12 e 28	-	-
Jun	-	-	-
Jul	15	-	13 (1); 7 (4); 12 (6); 14 (8); 15 (10); 16 (11); 10-S (13); 10-N (14); 17 e 18 (19); 19 (21); 20 e 21 (22); 6 (23); 11 (27); 23 (28)
Ago	-	-	8-S (4); 5 e 28-O (7); 9 (9); 24-O (11); 24-L (13); 29 (14); 28-L (16); 26 (18); 27 (23); 25 (26); 8-N (27); 22 (30)

\* dia do plantio ou colheita entre parênteses; \*\* setor do pivô (N = norte, S = sul, L = Leste, e O = oeste)

## 4.2 Imagens de Satélite

As imagens utilizadas foram geradas pelo sensor TM do satélite Landsat 5 (TM-L5), as quais foram adquiridas, gratuitamente, junto ao United States Geological Survey (USGS). A resolução espacial é de 30 m nas bandas 1 a 7, com exceção da banda 6 que é de 120 m. A resolução temporal (tempo de revisita) deste satélite é de 16 dias.

Para abranger toda área do município, foram utilizadas imagens da órbita 219 e linha 69 do sistema de referência Path and Row, da série Landsat (JENSEN, 2009). Sendo aproveitadas apenas as imagens em condições de céu claro, resultaram as seguintes datas: 20 de janeiro (Dia do Ano - DDA 20), 25 de março (DDA 84), 26 de abril (DDA 116), 12 de maio (DDA 132), 28 de maio (DDA 148) e 15 de julho (DDA 196).

## 4.3 Dados Meteorológicos

Os dados oriundos de uma estação meteorológica automática instalada na própria fazenda

e presente na cena Landsat em questão foram aplicados na caracterização das condições meteorológicas do período estudado e para obtenção da evapotranspiração de referência.

#### 4.4 Processamento das imagens

Em seguida foram realizados os procedimentos com as imagens. Todas as etapas representadas pelas equações 1 a 4 foram realizadas com programa computacional de processamento de imagens de satélite. Primeiramente realizou-se a conversão do arquivo da imagem de números digitais para reflectância no topo da atmosfera, a partir da equação 1.

$$\rho_{\lambda} = (M_{\rho} \cdot ND + A_{\rho}) / (\text{sen } \hat{e}) \quad (1)$$

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

O NDVI foi determinado a partir das imagens dos canais refletivos do vermelho e do infravermelho das imagens Landsat. Para tanto, foi aplicada a seguinte equação:

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (2)$$

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

A relação entre  $K_{cb}$  e NDVI foi dada por (SIMONNEAUX et al., 2008, BEZERRA et al., 2010):

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

Em que  $NDVI_{\min}$  é o valor do NDVI para o solo exposto, adotando-se o valor de 0,25.

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

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

Em que  $f_c$  é a fração de cobertura do solo, dada pela Eq. 5 (SIMONNEAUX, 2008, BEZERRA et al., 2010) e  $K_{e,\max}$  é o coeficiente de evaporação máximo, determinado pela Eq. 6.

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

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

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

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

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

A evapotranspiração de referência foi determinada pelo método Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

$$ET_o \text{ (PM)} = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (Rn-G) + \gamma \cdot \frac{900}{T_{med} + 273,16} \cdot U_{2m} \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (8)$$

Onde,

$ET_o$  (PM) - Evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith, mm dia<sup>-1</sup>.

$\Delta$  - declinação da curva de saturação do vapor da água, kPa °C<sup>-1</sup>.

Rn - saldo de radiação, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

G - fluxo de calor no solo, MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>.

$\gamma$  - constante psicométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

$U_{2m}$  - velocidade média do vento a 2 m acima da superfície do solo, m s<sup>-1</sup>.

$T_{med}$  - temperatura média do ar, °C.

$e_s$  - pressão de saturação de vapor, kPa.

$e_a$  - pressão atual de vapor, kPa.

Por fim, a evapotranspiração do algodoeiro (Eq. 9) foi determinada a partir do método FAO Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998).

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (9)$$

Em que  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 1998) e  $K_c = K_{cb} + K_e$ .

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 mostra a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) da localidade nas datas estudadas, bem como outros dados meteorológicos obtidos na estação automática. Os valores indicam uma redução da evapotranspiração com o passar dos meses decorrente da diminuição da radiação solar e da temperatura do ar nos meses de maio a julho.

**Tabela 2.** Dados médios diários de temperatura do ar e velocidade do vento, e total de radiação solar e evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para a área estudada, nas datas das imagens.

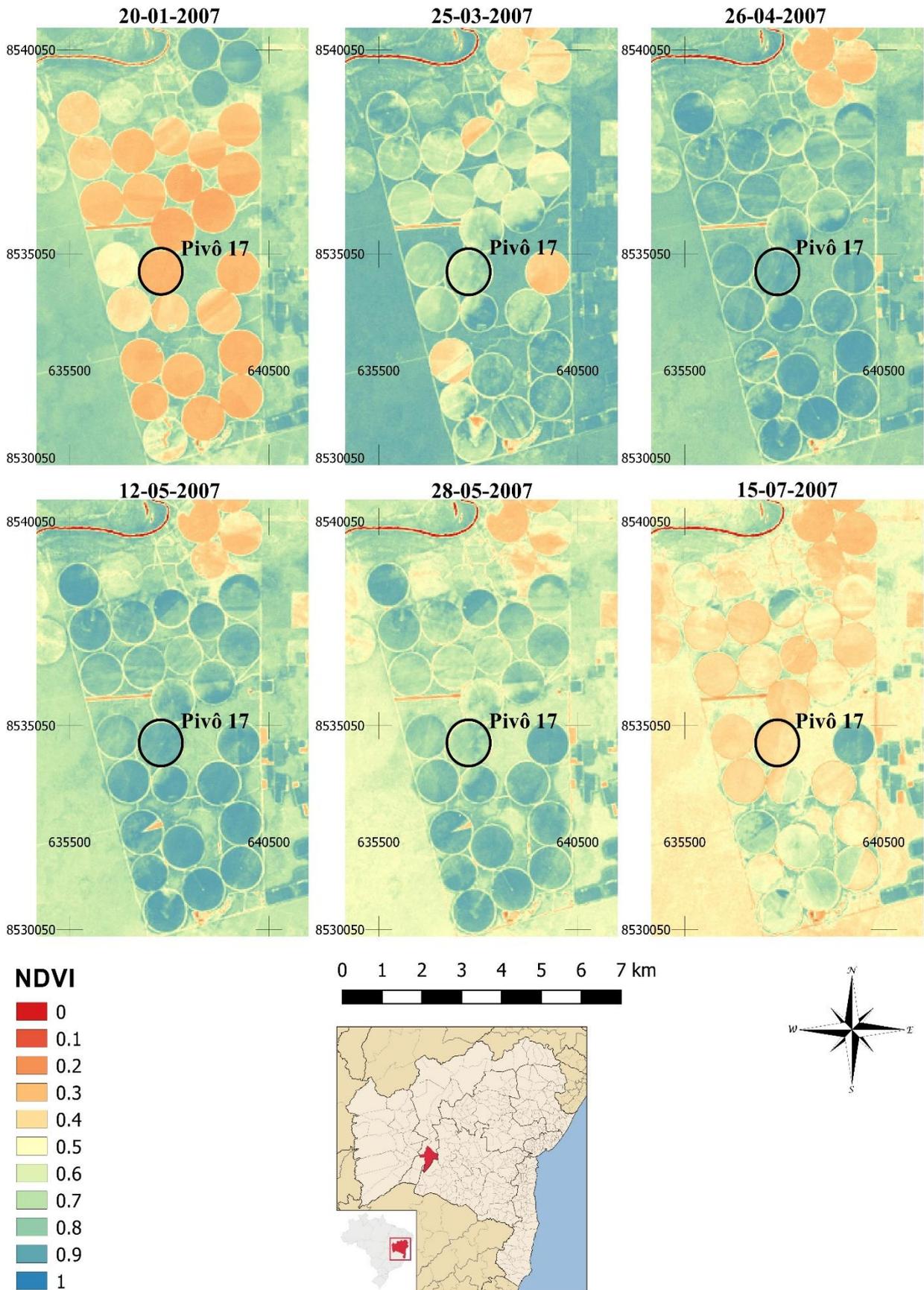
DATA	Temp. do ar (°C)	Vento (m s <sup>-1</sup> )	Rad. solar (MJ m <sup>-2</sup> )	$ET_o$ (mm)
20/jan	27,84	0,63	27,94	4,68
25/mar	26,44	1,53	22,68	3,96
26/abr	26,32	0,62	21,99	3,76
12/mai	23,05	1,34	20,63	3,19

28/mai	25,91	0,51	19,41	3,10
15/jul	21,84	0,83	19,33	2,67

A Figura 3 mostra a variação do NDVI de acordo com o desenvolvimento da cultura do algodão, onde os valores variam de 0 a 1 e são representados pela escala de cores, indo do vermelho (representa os valores próximos de zero) até o azul (representa os valores próximos a 1). É possível notar que os menores valores de NDVI se apresentam nas áreas que se encontravam em pousio ou em meio ao preparo pré-plantio na data da imagem, assim como no leito do rio e na pista de pouso. Isso se deve ao fato de haver pouca ou nenhuma vegetação nesses locais.

Por outro lado, observa-se uma densa camada verde-azulada no entorno das áreas utilizadas para cultivo que permanecem com valores entre 0,4 e 1,0 durante todo o período estudado. Essas são áreas de preservação e de vegetação natural que, por não sofrerem colheita ou derrubada, se mantêm com bom índice de área foliar, principalmente nos meses da estação chuvosa, vindo a apresentar menores valores de NDVI nos meses de menor precipitação (maio e julho).

## Mapas NDVI

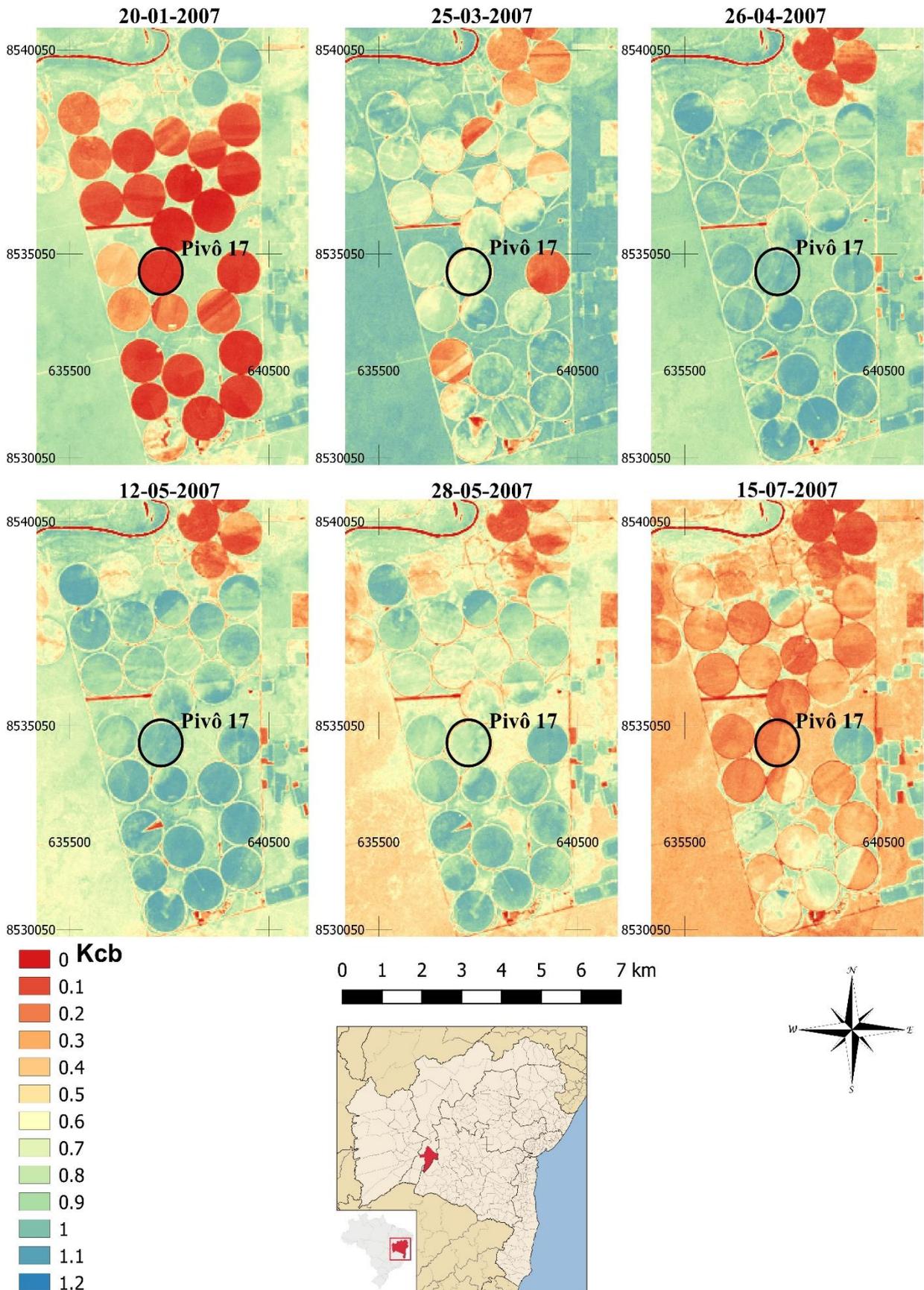


**Figura 3.** Mapas do NDVI para a área estudada em Bom Jesus da Lapa-BA.

Os mapas da Figura 4 mostram a evolução dos valores de  $K_{cb}$  para a área cultivada com algodão Delta Opal no espaço de tempo em estudo. Pode-se observar que na data da primeira imagem (20/01) os valores na área dos pivôs se aproximam, quase na sua totalidade, de 0 (zero), sendo assim, representados no mapa pela cor avermelhada. Isso deve-se ao fato de ainda não haver um preenchimento do espaço pela cultura, uma vez que o plantio nestes pivôs ocorreu no próprio mês de janeiro. No entanto, nas áreas adjacentes aos pivôs, há um predomínio do verde, apontando valores mais elevados de  $K_{cb}$ , que são resposta a existência da vegetação nativa que nesta data apresentam-se com bom preenchimento vegetativo devido as precipitações típicas deste período do ano.

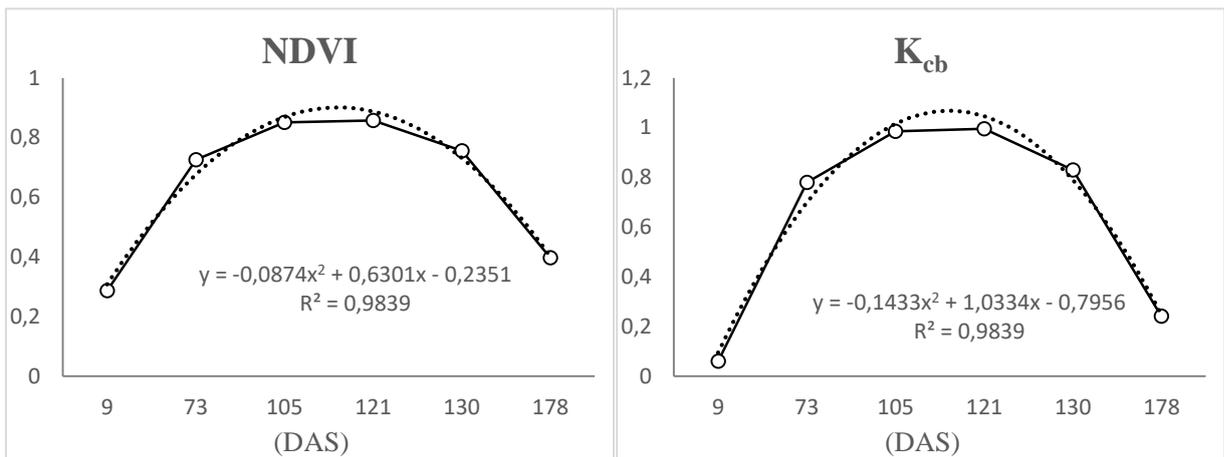
A partir da segunda imagem (25/03), já é possível ver uma evolução na área dos pivôs plantados em janeiro, identificada pela cor verde mais claro. Nas imagens do meses seguintes (26/04 e 12/05), a coloração verde aparece mais escura e aproximando-se do azul nos pivôs, demonstrando um aumento dos valores de  $K_{cb}$  nestas áreas. Porém, ainda em maio (28/05) a coloração verde vai sendo reduzida, e na data da última imagem (15/07), pode-se verificar o predomínio do laranja-avermelhado, na quase totalidade dos pivôs e das demais áreas da propriedade. Da mesma forma, no entorno, dos pivôs há uma drástica redução do  $K_{cb}$  provavelmente ocasionada pelo fim do período chuvoso e aumento das temperaturas que promovem um estresse na vegetação, levando as plantas a reduzirem sua área vegetativa como forma de defesa.

### Mapas Kcb



**Figura 4.** Mapas de K<sub>cb</sub> para a área de cultivo de algodão em Bom Jesus da Lapa-BA.

A Figura 5 apresenta os valores médios de NDVI e  $K_{cb}$  no pivô 17 em cada data. Os valores vão de 0,28 em janeiro, quando a cultura ainda estava na fase inicial, até atingir o máximo de 0,85 aos 105 Dias Após Semeadura (DAS) que representa a fase média da cultura, período em que a planta tem completado seu máximo desenvolvimento e por isso apresenta maior área vegetativa. Os valores se mantêm uniformes durante essa fase, entre o final de abril e primeira quinzena de maio, voltando a cair na fase final da cultura chegando a atingir 0,39 no mês de julho quando as plantas apresentam senescência das folhas diminuindo sua área foliar.



**Figura 5.** Variação do NDVI e do  $K_{cb}$  no pivô 17 em relação ao desenvolvimento da cultura e suas linhas de tendência polinomial.

Os dados se assemelham aos encontrados por Bezerra et al. (2012) que, estudando o desenvolvimento do algodoeiro, obteve valores médios de NDVI 0,18 para a fase inicial, 0,80 para fase média e 0,30 para a fase final. Motomiya et al. (2012), utilizando sensor óptico ativo em nível terrestre, encontrou o valor médio de NDVI em lavoura de algodão atacada por percevejo castanho de 0,73 para o estágio F1, valor similar ao da data 25/03 (0,72) que corresponde a mesma fase fenológica.

A variação do  $K_{cb}$  ao longo do tempo reagiu de forma progressiva conforme o desenvolvimento da cultura (Figura 5), iniciando com 0,05 na data de 20/01 (DAS 9) e atingindo, na fase média, o valor máximo de 0,98 e 1,00 nas datas 26/04 e 12/05, respectivamente. Porém, com o início da fase final, os valores de  $K_{cb}$  entraram em declínio atingindo o valor de 0,24 no dia 15/07 (DAS 178). Estes dados estão 10 % abaixo dos fornecidos pelo Manual da FAO 56, que estima 0,15 para a fase inicial, 1,10 – 1,15 para a fase média e 0,40 – 0,50 para a fase final da cultura do algodão. Isso pode ser atribuído às diferentes condições de cultivos e variedades utilizadas na área objeto de estudo deste trabalho em relação ao experimento conduzido pela FAO. A cultivar Delta Opal utilizada no pivô 17, é uma cultivar melhorada geneticamente e caracterizada por apresentar alta produtividade com porte menor

que as variedades mais antigas. Portanto, em locais cultivados com essa cultivar, a área de cobertura é menor que em plantios com variedades de maior porte. Tanto para NDVI quanto para o  $K_{cb}$ , a equação quadrática ajustou muito bem a variação dos dados, com uma função capaz de determinar o  $K_{cb}$  segundo os dias após semeadura com  $R^2 = 0,98$ .

Observando as imagens do pivô 17, é possível perceber tons diferentes de verde, o que indica uma área cultivada com plantas de porte ou condição nutricional ou hídrica desuniformes, o que contribui para os valores abaixo dos encontrados por Allen et al. (1998).

Fernandes et al. (2016), utilizando a mesma metodologia empregada neste trabalho, obteve resultados de  $K_{cb}$  levemente elevados aos valores recomendados pela FAO para as culturas do milho, eucalipto, soja e pastagem no cerrado piauiense.

A Tabela 3 apresenta os valores médios de  $K_{cb}$  e  $K_e$  obtidos através do processamento da imagens da área do pivô 17 feitas pelo satélite Landsat 5 (TM-L5), bem como, os dados calculados de  $K_c$  e  $ET_c$ . Os dados de  $K_{cb}$  e  $K_e$  variaram de forma inversa no decorrer tempo. Isso ocorre pelo fato de a variabilidade de ambos estarem diretamente ligada a cobertura do solo ( $F_c$ ) e a altura da planta. Com isso, o  $K_{cb}$  aumenta quando a planta apresentam maior altura média e o  $K_e$ , que representa a evaporação do solo exposto, diminui. Ocorrendo o inverso em situações de menor porte das plantas e, conseqüentemente, maior área de solo exposto (BEZERRA et al., 2010).

**Tabela 3.** Dados médios de Coeficiente Basal de Cultivo ( $K_{cb}$ ), Coeficiente de Evaporação ( $K_e$ ), Coeficiente de Cultivo ( $K_c$ ) e Evapotranspiração da Cultura ( $ET_c$ ) para o pivô 17.

DATA	$K_{cb}$	$K_e$	$K_c$	$ET_c$ (mm)
20/01/2007	0,0599	1,1196	1,1795	5,5199
25/03/2007	0,7794	0,5007	1,2801	5,0692
26/04/2007	0,9848	0,3439	1,3287	4,9958
12/05/2007	0,9955	0,3348	1,3303	4,2437
28/05/2007	0,8291	0,4761	1,3052	4,0460
15/07/2007	0,2415	0,9501	1,1917	3,1818

Nota-se uma superestimativa nos valores calculados de  $K_c$  quando comparados com os valores indicados pelo Manual da FAO, que são de 1,15 a 1,20 na fase média e 0,50 a 0,70 na fase final da cultura do algodão. Essa diferença é causada devido aos elevados valores obtidos de  $K_e$ . Os valores altos de  $K_e$  podem ter ocorrido em consequência da metodologia utilizada não levar em consideração características do solo, como a taxa de infiltração. Por se tratar de irrigação por pivô central, considera-se que a parte do exposta ( $1 - F_c$ ) é potencialmente

evaporativa, não havendo uma determinação de quando a evaporação da água na camada superficial cessa, em decorrência da infiltração no solo. A equação utilizada para obtenção do  $F_c$  também pode não ter sido adequada para a cultura do algodoeiro e por isso, necessita-se de mais estudos a fim de testar outros modelos.

## **6. CONCLUSÕES**

O NDVI mostrou o desenvolvimento do algodoeiro conforme visto na literatura;

O  $K_{cb}$  gerado pelo NDVI foi 10 % inferior aos valores indicados pela FAO;

Os valores de  $K_c$  foram mais altos que os indicados pela FAO, devido aos valores elevados de  $K_e$ , portanto não são indicados para serem utilizados na cultura do algodão irrigado por pivô central.

As técnicas utilizadas neste trabalho são eficientes apenas para determinação de coeficientes basais para o algodoeiro.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **FAO Irrigation and Drainage Paper Nº 56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computation crop water requirements)**, Roma: FAO, 1998.

ANDRADE, R. G.; RODRIGUES, C. A. G.; LEIVAS, J. F.; TEIXEIRA, A. H. C. PECUÁRIA. In: TÔSTO, S. G.; RODRIGUES, C. A. G.; BOLFE, E. L.; BATISTELLA, M. (Org.). **Geotecnologias e Geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas)**. 1ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014, v. 1, p. 149-169.

BEZERRA, B. G.; DA SILVA, B. B.; BEZERRA, J. R. C.; BRANDÃO, Z. N. **Evapotranspiração real obtida através da relação entre o coeficiente dual de cultura da FAO-56 e o NDVI**. Revista Brasileira de Meteorologia, v.25, n.3, 404 - 414, 2010.

BEZERRA, M. V. C.; DA SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G.; BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S. **Evapotranspiração e coeficiente de cultura do algodoeiro irrigado a partir de imagens de sensores orbitais**. Revista Ciência Agronômica, v. 43, n. 1, p. 64-71, jan-mar, 2012.

BORGES, V. P.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, B. B. **Mapeamento e quantificação de parâmetros biofísicos e radiação líquida em área de algodoeiro irrigado**. Ciência e Agrotecnologia, v. 34, n. 02, p. 485-493, 2010.

BORLAUG, N. E. **Feeding a world of 10 billion people: the miracle ahead**. In: R. Bailey (ed.). Global warming and other eco-myths. Competitive Enterprise Institute, pp. 29-60, Roseville, EUA. 2002.

CONAB. **Acomp. safra bras. grãos**, v. 4 Safra 2016/17 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-160. Janeiro, 2017.

CONAB. **Acomp. safra bras. grãos**, v. 5 Safra 2017/18 - Quarto levantamento, Brasília, p. 1-132. Janeiro, 2018.

COSTA, M.C. **Efeito de diferentes lâminas de água com dois níveis de salinidade na cultura do meloeiro.** Botucatu, 1999. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

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

FERNANDES, J. N. V.; MARQUES, D. V.; NASCIMENTO, R. S.; BORGES, V. P. **Determinação de coeficientes de cultivo de culturas agrícolas em Uruçuí – PI com índice espectral de vegetação.** Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido, I., 2016. Anais...Campina Grande. 2016. v. 1

HUNSAKER, D. J. PRINTER JR., P. J.; BARNES, E. M.; KIMBALL, B. A. **Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index.** Irrigation Science, v. 22, n. 02, p. 95-104, 2003.

HUNSAKER, D. J.; BARNES, E. M.; CLARKE, T. R.; FITZGERALD, G. J.; PRINTER JR., P. J. **Cotton irrigation scheduling using remotely sensed and FAO-56 basal crop coefficients.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 84, n. 4, p. 1395-1407, 2007.

HUSSEIN, F.; JANAT, M.; YAKOUB, A. **Assessment of yield and water use efficiency of drip-irrigated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) as affected by deficit irrigation.** Turkish Journal of Agricultural and Forestry, v.35, p.611-621, 2011.

IBGE, 2018. Bom Jesus da Lapa – histórico do município. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/painel/historico.php?codmun=290390>>. Acessado em fevereiro de 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres.** Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. 598 p. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspective.

JOHNSON, L. F.; TROUT, T. J. Satellite NDVI Assisted Monitoring of Vegetable Crop Evapotranspiration in California's San Joaquin Valley . **Remote Sensing**, v.4, p.439-455, 2012.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D. C.; BERLATO, M. **Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER**. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, XIII., 2007. Anais...Florianópolis. 2007. p. 255-262.

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)**. *Amби-Agua*, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

LÓPEZ-URREA, R. et al. **Water use of spring wheat to rise water productivity**. *Agricultural Water Management*, v. 96, n. 09, p. 1305-1310, 2009.

LUO, H.; ZHANG, H.; HAN, H.; HU, Y.; ZHANG, Y.; ZHANG, W. **Effects on water storage in deeper soil layers on growth yield, and water productivity of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) In arid areas of northwestern china**. *Irrigation and Drainage*, v.63, n.1, p.59-70, 2013.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Culturas: Algodão**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/algodao>>. Acesso em: 28 de outubro de 2017.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; MOTOMIYA, W. R.; BAIO, F. H. R. **Mapeamento Do Índice De Vegetação Da Diferença Normalizada Em Lavoura De Algodão**. *Goiânia*, v. 42, n. 1, p. 112-118, jan./mar. 2012. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/pat/article/view/14251>.

SIMONNEAUX, V. et al.. The use of high-resolution image time series for crop classification and evapotranspiration estimate over an irrigated are in central Morocco. **International Journal of Remote Sensing**, v.29, p.95-116, 2008.

TOUREIRO, C.; SERRALHEIRO, R.; SHAHIDIAN, S.; SOUSA, A. **Irrigation management with remote sensing: Evaluating irrigation requirement for maize under Mediterranean climate condition.** Agricultural Water Management. n. 184, p. 211-220, 2016.

TROUT, T. J.; JOHNSON, L. F. **Estimating crop water use from remotely sensed NDVI, crop models, and reference ET.** In: Proc. Fourth Int. Conf. Irrig. Drain. USCID, Denver, CO, p. 275–285, 2007.