

# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto

Leonardo Tullio  
(Organizador)



**Atena**  
Editora

Ano 2018

**LEONARDO TULLIO**

(Organizador)

# **Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto**

Atena Editora  
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Diagramação e Edição de Arte:** Geraldo Alves e Natália Sandrini

**Revisão:** Os autores

#### **Conselho Editorial**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto [recurso eletrônico]  
/ Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena  
Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento  
remoto; v. 1)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-54-3

DOI 10.22533/at.ed.543180210

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**

O conteúdo do livro e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2018

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

A obra “Aplicações e princípios de Sensoriamento Remoto” aborda em seu primeiro Volume uma apresentação de 21 capítulos, no qual os autores tratam as mais recentes e inovadoras pesquisas voltadas para a área de Sensoriamento Remoto em suas diversas aplicações no meio urbano e rural.

O uso de imagens de satélite através do Sensoriamento Remoto está cada vez mais sendo utilizada para o planejamento e tomada de decisão rápida, visto que, a era tecnológica permite rapidez e confiança nos resultados. Contudo, sua utilização está na dependência de fatores de interação entre ambiente e sensor, que afetam nos produtos finais. Assim, sua qualidade depende de quatro tipos de resolução: temporal; espacial; espectral e radiométrica, que se referem a condição do satélite, isso deve ser levado em consideração no tipo de análise e o que pretende -se analisar.

Em contrapartida, a aquisição de imagens a nível terrestre já é possível com a utilização dos VANTES (Veículo Aéreo não Tripulado), porém fatores afetam seu movimento e resultam em imagens com pouca qualidade, estando diretamente na dependência do tipo de sensores acoplados. A análise por modelos e técnicas computacionais permite melhores e mais confiáveis resultados, que podem expressar a real condição. Porém, índices para comparação de variáveis ainda são desconhecidos e necessitam de trabalhos mais específicos para a geração de mapas interativos e virtuais.

Assim, o Sensoriamento Remoto é atualmente a área que mais cresce, visto a possibilidade da interação e tomada de decisão por meio de imagens e programas computacionais, tornando uma grande ferramenta em diversas áreas de atuação.

Por fim, espero que esta obra atenda a demanda por conhecimento técnico de qualidade e que novas pesquisas utilize-a de norte para traçar novos rumos para o Sensoriamento Remoto Aplicado.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....   | <b>1</b>  |
| A DINÂMICA DE FOCOS DE CALOR NO ESTADO DO ACRE ENTRE OS ANOS DE 2004 E 2010   |           |
| <i>Juliana de Oliveira Tostes</i>   |           |
| <i>Márcio Rocha Francelino</i>  |           |
| <i>José Francisco de Oliveira Júnior</i>  |           |
| <i>Gustavo Bastos Lyra</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....   | <b>13</b> |
| ADEQUAÇÃO DE BANCO DE DADOS E UTILIZAÇÃO DE ATRIBUTO DE HIERARQUIA NA GERAÇÃO DE ROTAS ÓTIMAS PARA O ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO FLORESTAL                   |           |
| <i>Júlia Vaz Tostes Miluzzi de Oliveira</i>   |           |
| <i>Pedro Sepulveda Neto</i>   |           |
| <i>Charles Marques de Souza</i>   |           |
| <i>Fausto Weimar Acerbi Junior</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....   | <b>25</b> |
| ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MÉTODOS DE GERAÇÃO DE MDT APLICADO AO PARQUE AMBIENTAL VITÓRIO PIASSA - PR   |           |
| <i>Gabriel Roldo Gomes</i>  |           |
| <i>João Henrique Ferrarini</i>  |           |
| <i>Marcelle Luisa Calegari</i>  |           |
| <i>Danielli Batistella</i>  |           |
| <i>Priscila da Silva Victorino</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 4</b> .....   | <b>34</b> |
| ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO E SUAS IMPLICAÇÕES COM O ZONEAMENTO DO SOLO URBANO NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBUÍ, SÃO JOSÉ DOS CAMPOS - SP. |           |
| <i>Paulo Roberto Belisário</i>  |           |
| <i>Maiara Resende Ribeiro</i>   |           |
| <i>Mario Valério Filho</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 5</b> .....   | <b>44</b> |
| ANÁLISE DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA (RMG), NO PERÍODO DE 1986 A 2016   |           |
| <i>Joelson de Souza Passos</i>  |           |
| <i>Jepherson Correia Sales</i>  |           |
| <i>Gabriella Santos Arruda de Lima</i>  |           |
| <b>CAPÍTULO 6</b> .....   | <b>57</b> |
| ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA ÁREA URBANA DE UM TRECHO DO RECIFE E REGIÃO METROPOLITANA ATRAVÉS DE ORTOFOTOCARTAS ANTIGAS E IMAGEM DO GOOGLE EARTH         |           |
| <i>Leonardo Carlos Barbosa</i>  |           |
| <i>Luiz Carlos Barbosa da Silva</i>   |           |
| <i>Laízy de Santana Azevedo</i>   |           |
| <b>CAPÍTULO 7</b> .....   | <b>66</b> |
| ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DE PARTE DE BAIRRO NOVO – OLINDA ENTRE 1986 A 2014 UTILIZANDO ORTOFOTOCARTA E ORTOFOTOS   |           |
| <i>Júlio César Albuquerque Simões Belo</i>  |           |
| <i>Mirelly de Oliveira Farias</i>   |           |
| <i>Carlos Alberto Borba Schuler</i>   |           |

**CAPÍTULO 8 ..... 75**

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA DE DUNAS AO LONGO DO MUNICÍPIO DE SÃO JOSÉ DO NORTE RS VIA DADOS TM LANDSAT 5

*Jean Marcel de Almeida Espinoza*  
*Deivid Cristian Leal Alves*  
*João Augusto de Carvalho Ferreira*  
*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*André Bilibio Westphalen*  
*Miguel da Guia Albuquerque*

**CAPÍTULO 9 ..... 83**

ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 (OLI)

*Rodrigo Moura Pereira*  
*Dayanna Teodoro Quirino*  
*Derblai Casaroli*  
*Lucas Melo Vellame*  
*Delvio Sandri*

**CAPÍTULO 10 ..... 98**

ESTUDO DO DESFLORESTAMENTO E QUALIDADE AMBIENTAL A PARTIR DO USO DE TECNOLOGIAS EM SENSORIAMENTO REMOTO

*Roberta Monique da Silva Santos*  
*Stiffanny Alexa Saraiva Bezerra*  
*Álefe Lopes Viana*  
*Nelson Felipe de Albuquerque Lins Neto*  
*José Roselito Carmelo da Silva*

**CAPÍTULO 11 ..... 115**

EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO SISTEMA ESTUARINO DA BAÍA DE VITÓRIA - SEBV E IMPLICAÇÕES PARA O GRADIENTE FLÚVIO-ESTUARINO.

*Fernando Jakes Teubner Junior*  
*Gilberto Fonseca Barroso*

**CAPÍTULO 12 ..... 131**

ÊXODO RURAL E ESTADO DA VEGETAÇÃO NATIVA: DESENVOLVIMENTO DE UM INDICADOR SOCIOECONÔMICO E VALIDAÇÃO COM IMAGENS DE SATÉLITE NO MUNICÍPIO DE CANGUÇU - RS, BRASIL

*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*Júlia Borges Telmo*  
*Lucas Munhoz Caseiro*  
*Jean Marcel de Almeida Espinosa*  
*João Augusto de Carvalho Ferreira*

**CAPÍTULO 13 ..... 142**

FRAGILIDADE AMBIENTAL DE UMA MICROBACIA, VISANDO O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

*Sérgio Campos*  
*Marcelo Campos*  
*Thyellenn Lopes de Souza*  
*Mateus Campos Leme*  
*Mikael Timóteo Rodrigues*

**CAPÍTULO 14 ..... 152**

IMAGEM DE REFLECTÂNCIA DE SUPERFÍCIE USGS COMO REFERÊNCIA PARA COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE CORREÇÃO ATMOSFÉRICA

*Patricia Michele Pereira Trindade*  
*Dejanina Luderitz Saldanha*

|   |            |
|---|------------|
| <i>Waterloo Pereira Filho</i>   |            |
| <b>CAPÍTULO 15</b> .....  | <b>163</b> |
| INFERÊNCIA DA PROFUNDIDADE DA ZONA EUFÓTICA E DO COEFICIENTE VERTICAL DE ATENUAÇÃO DE LUZ NA ÁGUA DA REPRESA MAUÁ, RIO TIBAGI/PR, A PARTIR DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS LANDSAT-8/OLI |            |
| <i>Adriana Castreghini de Freitas Pereira</i>   |            |
| <i>Paulo Henrique Marques de Castro</i>   |            |
| <b>CAPÍTULO 16</b> .....  | <b>174</b> |
| MODELAGEM DE CORREDORES ÓTIMOS PARA INSTALAÇÃO DE EMPREENDIMENTOS FERROVIÁRIOS COM O SOFTWARE LIVRE DINÂMICA EGO A PARTIR DE PRODUTOS GRATUITOS DE SENSORIAMENTO REMOTO             |            |
| <i>Felipe Ramos Nabuco de Araújo</i>  |            |
| <i>Jefferson William Lopes Almeida</i>  |            |
| <i>Ítalo Sousa de Sena</i>  |            |
| <i>Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega</i>   |            |
| <b>CAPÍTULO 17</b> .....  | <b>187</b> |
| PLANEJAMENTO DE UNIDADES DE GESTÃO DIFERENCIADA EM PROJETO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA  |            |
| <i>Daniel de Almeida Papa</i>   |            |
| <i>Evandro Orfanó Figueiredo</i>  |            |
| <i>Alexandre Pansini Camargo</i>  |            |
| <i>Luiz Carlos Estraviz Rodriguez</i>   |            |
| <b>CAPÍTULO 18</b> .....  | <b>199</b> |
| RELAÇÃO ENTRE RESPOSTA ESPECTRAL, BIOMASSA E ESTOQUE DE CARBONO EM OCORRÊNCIAS DE CERRADO NA PORÇÃO MINEIRA DA BACIA DO RIO PARDO: ESTUDO PRELIMINAR                                |            |
| <i>Ronaldo Medeiros dos Santos</i>  |            |
| <i>Vinícius Orlandi Barbosa Lima</i>  |            |
| <i>Marcelo Rossi Vicente</i>  |            |
| <i>Talita Moreira Câmara</i>  |            |
| <i>Cecília Cristina Almeida Mendes</i>  |            |
| <i>Diana Marques Silva</i>  |            |
| <i>Gesiane Simara Barbosa</i>   |            |
| <b>CAPÍTULO 19</b> .....  | <b>209</b> |
| SENSORIAMENTO REMOTO NA CULTURA DO ALGODÃO  |            |
| <i>Ziany Neiva Brandão</i>  |            |
| <i>João Henrique Zonta</i>  |            |
| <i>Luciano Shozo Shiratsuchi</i>  |            |
| <b>CAPÍTULO 20</b> .....  | <b>225</b> |
| TEMPERATURA DE BRILHO POR MEIO DE IMAGENS LANDSAT-8 NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL TIETÊ NO ESTADO DE SÃO PAULO  |            |
| <i>Adriana Fantinati Conceição</i>  |            |
| <i>Denivaldo Ferreira de Souza</i>  |            |
| <i>Pedro Enrico Salamim Fonseca Spanghero</i>   |            |
| <i>Lindon Fonseca Matias</i>  |            |
| <b>CAPÍTULO 21</b> .....  | <b>235</b> |
| UTILIZAÇÃO DE IMAGENS CCD-CBERS-2B NA ANÁLISE DOS ALINHAMENTOS GEOLÓGICOS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA BORBOREMA NO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE                                       |            |
| <i>Paulo Sérgio de Rezende Nascimento</i>   |            |
| <b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....  | <b>248</b> |

## ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR DA CANA-DE-AÇÚCAR A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE LANDSAT-8 (OLI)

### Rodrigo Moura Pereira

Universidade de Brasília – UnB, campus Darcy  
Ribeiro  
Brasília – DF

### Dayanna Teodoro Quirino

Universidade Federal de Goiás – UFG, escola de  
Agronomia  
Goiânia – GO

### Derblai Casaroli

Universidade Federal de Goiás – UFG, Escola de  
Agronomia  
Goiânia – GO

### Lucas Melo Vellame

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia –  
UFRB, Departamento de Engenharia Agrícola

### Delvio Sandri

Universidade de Brasília – UnB, campus Darcy  
Ribeiro  
Brasília – DF

**RESUMO:** As grandes extensões de terras cultivadas e o entendimento da interação da radiação solar com os dosséis vegetativos, têm viabilizado a utilização dos dados de sensores remotos orbitais no monitoramento da cana-de-açúcar. Entretanto, os efeitos atenuantes atmosféricos interferem nos dados de refletância obtidos pelo sensoriamento remoto óptico. Assim, propõe-se calibrar um modelo de estimativa do Índice de Área Foliar

(IAF) da cana-de-açúcar em função do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) submetido à correção atmosférica. Foi estimado o IAF em um talhão de 1,08 ha cultivado com cana-de-açúcar, no município de Santo Antônio de Goiás – GO, ao final da fase de crescimento de colmos e a fase de maturação, na safra 2013/14, além do cálculo do NDVI da mesma área cultivada obtidos do sensor OLI/Landsat-8. Assim, analisou-se o comportamento temporal dos dados em dez datas de passagem do satélite entre os meses de janeiro/14 e agosto/14. Os dados do sensor foram corrigidos pelo algoritmo FLAASH, no intuito de minimizar os efeitos da atenuação atmosférica sobre a imagem. O modelo gerado pelo NDVI corrigido apresentou os melhores resultados ( $R^2 = 0,84$ ;  $d = 0,95$  MAE = 0,44 e RMSE = 0,55) em relação aos modelos comparados e sua aplicação na estimativa do IAF resultou em IAF máximo de 4,8 na fase de crescimento vegetativo e 2,3 na fase de maturação. Contudo, recomenda-se a aplicação da correção atmosférica, para a estimativa do IAF da cana-de-açúcar, pois assim se aproxima o IAF estimado por imagem do estimado por medidas diretas na planta.

**PALAVRAS-CHAVE:** Crescimento vegetal; *Saccharum* spp.; Processamento de imagem

**ABSTRACT:** Because of the large areas of productive farmland, satellite data have been

increasingly used in crop monitoring. However, the constituents of the atmosphere affect the reflectance values obtained by imaging sensors, as well to minimize these effects, it is proposed improvements to estimate the Leaf Area Index (LAI) of sugarcane due to the vegetation index (NDVI) with atmospheric correction. Field data of LAI were collected in sugarcane plots in the San Antonio region of Goiás - GO in first cut stage, in the crop year 2013/14 and NDVI data was obtained from the Landsat sensor 8 OLI (Operational Land Imager). These data were correlated in time in ten dates of satellite passage. The sensor reflectance data were subjected to correction by FLAASH algorithm (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercube) in order to minimize the effects of atmospheric attenuation in the image. Later, there was a comparison between models that correlate the NDVI and the LAI derived from this work and others have reported in the literature. The model generated by the NDVI with atmospheric correction showed the best results ( $R^2 = 0.84$ ,  $d = 0.95$  MAE = 0.44 and RMSE = 0.55) and its application in estimating the LAI during the plant cane cycle obtained maximum LAI of 4.8 in the vegetative growth phase and 2.3 at the end of the maturation phase. However, it is recommended the use of satellite images from Landsat 8 with atmospheric correction, to estimate the LAI of sugarcane.

**KEYWORDS:** Vegetal growth, *Saccharum* spp., Image analysis

## 1 | INTRODUÇÃO

No ano safra 2014/15 o Brasil plantou nove milhões de ha de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), sendo que o Estado de Goiás possuía a terceira maior área plantada no país, estimada em 896 mil ha para a safra 2014/15 (CONAB, 2014; IBGE, 2016). A cana-de-açúcar é uma das principais culturas agrícolas cultivadas no Brasil, sendo utilizada prioritariamente para a produção de açúcar e etanol para combustão em veículos.

No entanto, a produtividade da cana-de-açúcar é influenciada por diversos fatores, dentre eles a disponibilidade de nutrientes no solo e de água notadamente reduzida nos períodos de baixos índices pluviométricos, que em Goiás ocorre de maio a setembro, necessitando reposição de água via irrigação para atender a demanda evapotranspirométrica da cultura. Porém, esta reposição é influenciada por diversos fatores, especialmente do meio (solo, cobertura do solo, etc.), do clima (velocidade do vento, temperatura, radiação, etc.), e da própria vegetação (arquitetura da planta, albedo, IAF, dentre outros) (Allen et al., 1998).

O estudo da área foliar da cana-de-açúcar permite correlacioná-la com suas taxas de crescimento, uma vez que na folha ocorre a produção da maior parte dos carboidratos essenciais. As folhas são responsáveis diretas pela absorção da energia solar e transformação em energia química, a partir da fotossíntese. A fração de luz interceptada é determinada pelo índice de área foliar (IAF=área foliar/área solo) (Watson, 1947), que varia significativamente em cada estágio do desenvolvimento da

cana-de-açúcar (Almeida et al., 2008), sobretudo, em função do acúmulo de graus-dia (Teruel et al., 1997). Ainda, existe uma variação espacial nos ambientes de produção (Scarpari & Beauclair 2008).

Levando em consideração a importância da área foliar no monitoramento de culturas agrícolas, como a cana-de-açúcar, e suas vastas extensões de terras cultivadas, imagens orbitais têm tido destaque nesta linha de estudos, sobretudo, a partir dos índices de vegetação. Entretanto, existe uma carência de informações na correlação entre os estádios de desenvolvimento e os índices de vegetação, para que se determinem manejos adequados e específicos em cada momento ao longo do ciclo da cultura, bem como, realizar uma estimativa da produtividade, a qual é função do incremento de matéria seca vegetal, que pode ser detectada pela densidade de vegetação, cobertura vegetal, biomassa e índice de área foliar (Liu, 2007).

As imagens dos sensores Landsat mostraram-se eficientes no monitoramento da cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil (Rudorff et al., 2010; Schultz et al., 2015). Isto se deu, principalmente pela cultura ser semi-perene e recobrir extensas áreas, muitas vezes contíguas, o que permite uma menor mistura dos dados espectrais por outros alvos ou feições terrestres em pixels de 30 m de resolução espacial (Giongo et al., 2010).

No entanto, algumas limitações têm sido relatadas nas pesquisas que envolvem dados orbitais, principalmente em termos das relações entre as imagens e os dados da cultura coletados em campo, durante os diferentes estádios de seu desenvolvimento (Simões et al., 2005). Algumas pesquisas indicam que existem diferentes padrões de crescimento vegetal em função dos produtos das técnicas de sensoriamento remoto (Turner et al., 1999; Colombo et al., 2003). Um destes produtos é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), determinado pela razão entre a diferença e a soma das refletâncias nas bandas do visível (VIS) e infravermelho próximo (NIR) (Wiegand et al., 1991). O NDVI associa a porção da radiação eletromagnética relacionada à quantidade de biomassa (NIR) e aquela à atividade dos pigmentos fotossintéticos (VIS) das plantas (Jackson & Huete, 1991).

Por outro lado, a atmosfera interage com a radiação eletromagnética interferindo na identificação dos alvos terrestres captados pelas imagens de sensores remotos. O espalhamento atmosférico provoca a atenuação do sinal captado pelo sensor a bordo do satélite e está presente em todos os comprimentos de onda do espectro eletromagnético, o que pode sugerir uma correção de dados oriundos de imagens orbitais (Latorre et al., 2002). Os efeitos positivos da aplicação de correção atmosférica em imagens orbitais são amplamente discutidos em aplicações que envolvem desde classificação de imagens a séries temporais e detecção de mudanças (Liang, 2002).

Assim, os objetivos desse trabalho foram: i) calibração de um modelo para medir a variação temporal do IAF da cana-de-açúcar a partir do NDVI obtido de imagens do satélite Landsat-8 (OLI) submetido à correção atmosférica; ii) analisar a variação temporal do IAF e de dados fenométricos da cultura da cana-de-açúcar obtidos em

campo; iii) comparar os resultados obtidos pelo melhor modelo obtido neste estudo aos descritos por Picoli (2009) e por Xavier e Vetorazzi (2004), que relacionam o IAF com o NDVI derivado de imagens orbitais.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi implantado em área localizada no município de Santo Antônio de Goiás – GO. Segundo Köppen, o clima da região é Aw, tropical de savana, megatérmico. A média de temperatura do ar anual é de 23,0 °C, sendo a mínima registrada no mês de junho (14,4 °C) e a máxima em setembro (31,7 °C). O regime pluvial é bem definido, com um período chuvoso (outubro-abril) e outro seco (maio setembro), sendo a pluviosidade média anual igual a 1.498 mm (Silva et al., 2012).

A área pesquisada possui 1,08 ha de cana-de-açúcar (Figura 1), e correspondeu a quatro janelas de três pixels da imagem, seguindo as recomendações descritas em Xavier & Vetorazzi (2004). A variedade de cana-de-açúcar cultivada na área foi a CTC-04, considerada de maturação média a tardia, e tolerante à seca (CTC, 2013). O preparo do solo foi realizado com a aplicação de calcário (4 t ha<sup>-1</sup>) e gesso (2 t ha<sup>-1</sup>). O sistema de plantio adotado foi o semi-mecanizado com mudas pré-brotadas, a adubação de cobertura foi realizada em maio/2013 aos 30 dias após o plantio (DAP) e as aplicações de herbicidas realizadas aos 36 e 207 DAP.

Os índices biométricos foram avaliados em três perfilhos, por janela de três pixels, obtidos no período de janeiro a agosto de 2014 - 281 a 506 dias após o plantio (DAP), correspondendo ao final da fase de crescimento de colmos e a fase de maturação, sendo eles: i) Altura de colmo (ALT), conforme descrito em Silva et al., (2012); ii) Número de perfilhos por m<sup>2</sup>, seguindo a metodologia de Nassif (2012); iii) Número de folhas verdes (NFV): contabilizaram-se o número de folhas verdes totalmente expandidas e capazes de realizar fotossíntese; iv) Área foliar por perfilho, estimada pela equação proposta por Hermann & Câmara (1999); v) Índice de área foliar (IAF, m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) (Nassif et al., 2012).

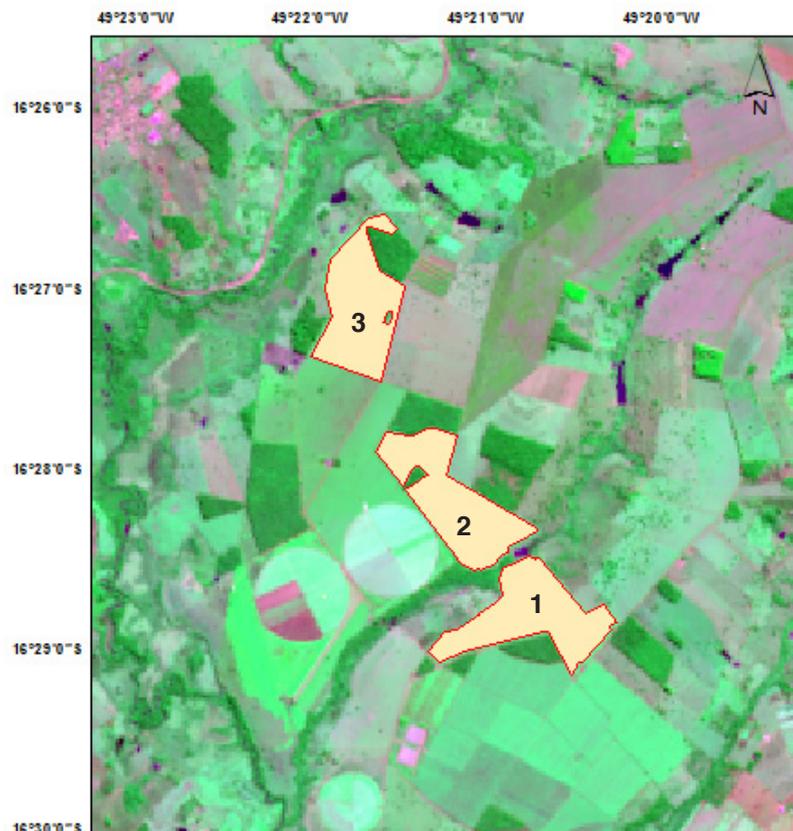


Figura 1. Localização de talhões cultivados com cana-de-açúcar na região de Santo Antônio de Goiás – GO, onde o talhão 1 representa o local de aplicação da janela de pixels e coleta dos dados fenométricos da cana-de-açúcar.

Os graus dias (GD, °C dia-1), para a cana-de-açúcar, foram estimados a partir da metodologia proposta por Villa Nova et al. (1972), utilizando a temperatura basal de 18 °C (Bachi & Souza 1978). Seguindo a metodologia de Teruel et al. (1997), os valores de GD foram padronizados para cada dia, a partir da relação entre o fotoperíodo e o período de 12 horas.

A base de dados espectrais foi obtida a partir de imagens Landsat 8/OLI, do banco de dados do sistema *Earth explorer* ([earthexplorer.usgs.gov](http://earthexplorer.usgs.gov)), com a seleção de cenas entre as datas de plantio (abril/2013) e colheita (agosto/2014) da cana-de-açúcar. Estas imagens consistem em arquivos digitais no formato raster (.tiff) quantificados em valores de número digital ou nível de cinza (DN) com intervalo de aquisição de 16 dias e resolução espacial de 30 m. Os dados em DN, foram então, convertidos em refletância no topo da atmosfera (TOA) a partir da utilização de coeficientes de redimensionamento radiométricos fornecidos no arquivo de metadados disponibilizado juntamente com as imagens (USGS, 2013).

O pré-processamento de imagens consistiu na inspeção visual para avaliação da qualidade das imagens com relação a critérios pré-estabelecidos, tais como: a ocorrência de pixels escuros, incidência de nuvens e a perfeita identificação do talhão cultivado com cana-de-açúcar. As correlações entre os dados biométricos e espectrais

foram realizadas em dez datas coincidentes com a passagem do satélite, entre 281 e 506 DAP. Após o ajuste, aplicou-se o modelo com melhor desempenho, em todas as imagens desde a época de plantio (26 DAP) até a colheita (506 DAP), no intuito de observar o comportamento do modelo no acompanhamento do IAF ao longo de um ciclo de produção de cana-planta de ano e meio.

As imagens, de órbita/ponto 222/71 foram datadas de: 01/05/2013 (26 DAP), 17/05/2013 (42 DAP), 18/06/2013 (74 DAP), 04/07/2013 (90 DAP), 05/08/2013 (122 DAP), 21/08/2013 (138 DAP), 06/09/2013 (154 DAP), 24/10/2013 (202 DAP), 28/01/2014 (298 DAP), 02/04/2014 (362 DAP), 04/05/2014 (394 DAP), 20/05/2014 (410 DAP), 05/06/2014 (426 DAP), 21/06/2014 (442 DAP), 07/07/2014 (458 DAP), 23/07/2014 (474 DAP), 08/08/2014 (490 DAP) e 24/08/2014 (506 DAP).

A refletância no topo da atmosfera (TOA) foi estimada, a partir da calibração radiométrica das bandas do vermelho e infravermelho próximo, que possibilitou converter os valores de DN da imagem em radiância (USGS, 2013).

A correção atmosférica nas imagens de TOA foi realizada no intuito de se obter as imagens denominadas como refletância de superfície (RS). Nessa etapa utilizou-se o modelo de transferência radiativa MODTRAN, compilado ao algoritmo FLAASH (Berk et al., 2002). Os parâmetros fixos utilizados no algoritmo foram as coordenadas centrais da área de estudo (16° 28' 54,30" S; 49° 20' 57,36" O), altitude do sensor 705 km, elevação média da região 769 m, tamanho do pixel 30 m, modelo atmosférico *Mid-Latitude Summer* e modelo de aerossol rural. A estimativa do conteúdo de vapor de água na atmosfera ( $w$ , g cm<sup>-2</sup>) e a pressão de saturação do vapor d'água (kPa) foram obtidas segundo Leckner (Iqbal, 1983) e Tetens (Pereira et al., 2002).

A partir das imagens de TOA e RS obtiveram-se os valores de NDVIAP (índice de vegetação por diferença normalizada, sem correção atmosférica) e NDVICOR (índice de vegetação por diferença normalizada, com correção atmosférica). Os dados de refletância das faixas do vermelho (0,64 – 0,67µm) e infra-vermelho próximo (0,85-0,88 µm) foram extraídos das janelas de pixels, e, assim, estimou-se o NDVI pela Equação 1.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{pnir} - \text{pred}}{\text{pnir} + \text{pred}} \quad (1)$$

onde: pnir = a refletância na banda do infravermelho próximo e pred = a refletância na banda do vermelho. Outros dois métodos foram utilizados para estimar o IAF em função do NDVI: i) Método descrito por Picoli (2009) com a utilização do fator de correção de cobertura do solo ( $F_c$ ) de Choudhury et al., (1994) e ii) Método descrito por Xavier e Vetorazzi (2004).

Para avaliar os métodos aplicados para a obtenção do IAF da cana-de-açúcar, no que tange à sua precisão e exatidão, utilizaram-se os índices estatísticos: i) índice de concordância de Wilmott (1985) ( $d$ ); ii) erro máximo ( $E_{\text{max}}$ ); iii) erro absoluto médio ( $E_{\text{AM}}$ ); iv) raiz quadrada do erro médio (RMSE) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ),

conforme descritos no trabalho de Camargo & Sentelhas (1997).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de crescimento da cana-de-açúcar se relacionou com o acúmulo de graus-dias (GDA), identificando a resposta da cultura às unidades térmicas necessárias para o seu desenvolvimento (Figuras 2a, 2b e 2c). O aumento do IAF foi acentuado até 362 DAP ou 1184 GDA na cana-planta, quando o IAF atingiu o pico de 5,4 (Figura 2a). A partir de 1184 GDA foi observado um declínio do IAF com valor médio de  $1,56 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , aos 506 DAP e 1566 GDA. O período de maior declínio do IAF foi observado entre 410 e 426 DAP, a uma taxa de  $-0,07 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . O período de redução do IAF compreendeu o período de baixa precipitação, diminuição da incidência solar, ocorrência de baixas temperaturas e fase da maturação da cana-de-açúcar. O ideal é que o índice de área foliar máximo ocorra sob condições climáticas satisfatórias à fotossíntese, uma planta em condições desfavoráveis pode ter seu crescimento reduzido em até 80% (Farias et al., 2007).

Quanto à altura de plantas, observaram-se taxas de crescimento até os 442 DAP e 1424 GDA com 3,86 m de altura média de plantas (Figura 2b), com a maior taxa média de crescimento ( $0,02 \text{ m dia}^{-1}$ ) registrada no período compreendido entre 298 DAP (início das medições) e 336 DAP. Após este período, já na fase de maturação, observaram-se taxas nulas de crescimento a partir de 442 DAP. Nesse período a cana-de-açúcar apresenta estabilização da altura de plantas (ALT), em cana-planta, período no qual o crescimento da cultura é bastante lento devido ao direcionamento de fotoassimilados para o acúmulo de sacarose, em detrimento da alongação do colmo (Keating et al., 1999). O número de folhas verdes (NFV) apresentou valores máximos e mínimos de 11 e 2 folhas por colmo durante o período de avaliação, além disso, foi observado um NFV médio igual a 10 durante o período de expansão foliar. A média de NFV durante a fase de taxas negativas que indicaram redução foliar foi de 6,7, com o menor valor médio de 3,5 na última avaliação aos 506 DAP com 1566 GDA (Figura 1c).

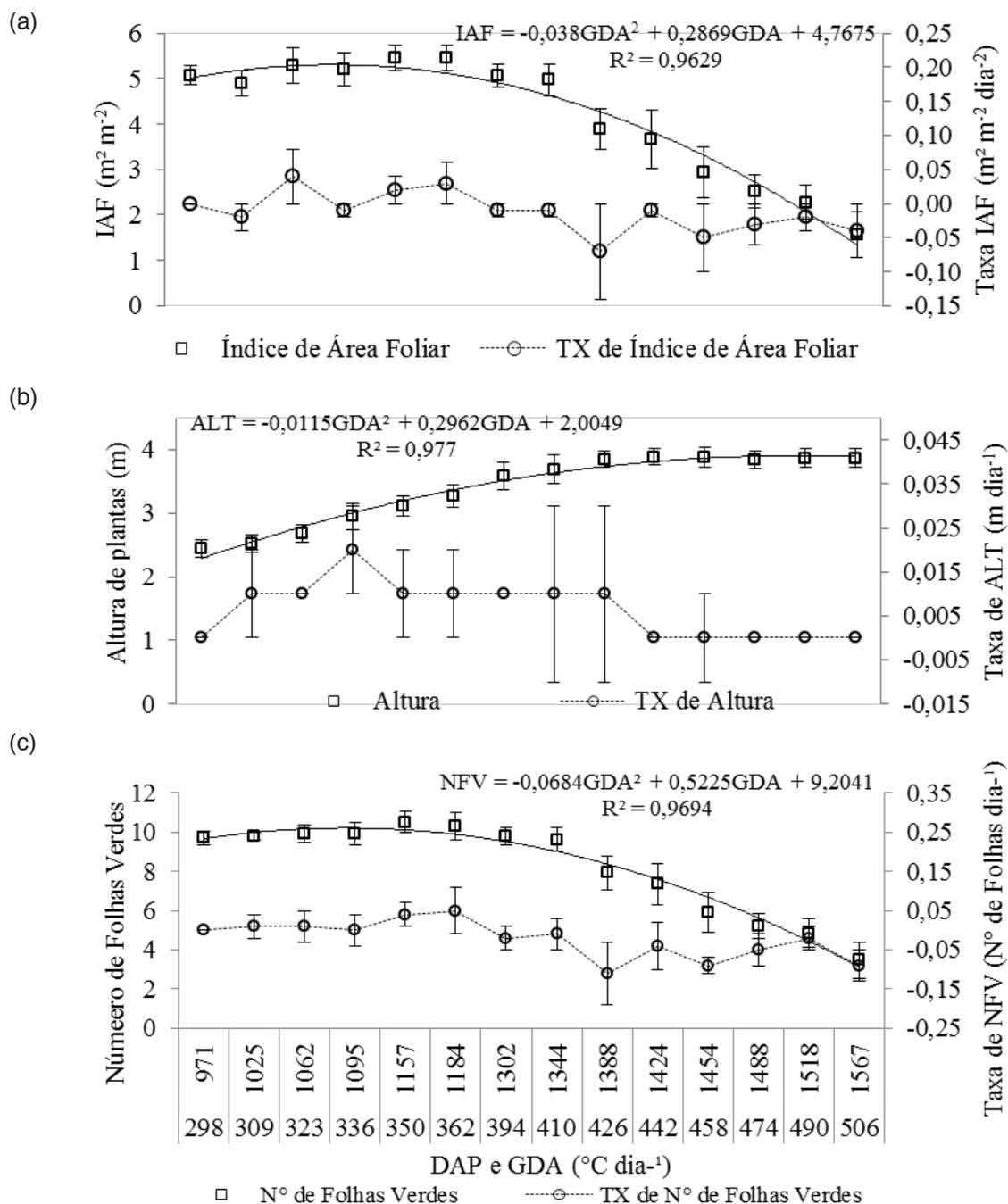


Figura 2. Variação temporal e respectivas taxas com desvio padrão para mais e para menos dos valores observados de índice de área foliar (a), altura de plantas (b) e número de folhas verdes (c) da cana-de-açúcar em função dos graus dias acumulados (GDA) entre os 298 e 506 dias após o plantio (DAP).

Os valores de  $NDVI_{AP}$  variaram entre 0,39 e 0,79 (Figura 3a) e os de  $NDVI_{COR}$  entre 0,45 e 1 (Figura 3b) de 298 a 506 DAP correspondendo ao final da fase de crescimento de colmos e maturação, respectivamente. Ao comparar o  $NDVI_{AP}$  com o  $NDVI_{COR}$ , se observa que os valores sem correção são menores que com correção. Os menores valores de  $NDVI_{AP}$  ocorreram devido à atenuação atmosférica, ocasionada pelos aerossóis, vapor d'água e do ozônio, que alteram os valores reais que deveriam ser registrados pelo sensor. Do ponto de vista da cultura, o período representou a fase de maturação da cana-de-açúcar que resulta em uma esperada redução na

reflectância na faixa do infravermelho com consequente redução nos valores de NDVI (Wiegand et al., 1991).

A partir da análise dos desvios foi possível detectar diferenças entre o  $NDVI_{AP}$  e  $NDVI_{COR}$  (Figura 3c), em que os valores de  $NDVI_{COR}$  foram superiores ao  $NDVI_{AP}$  em todos os tempos de avaliação, com erros relativos entre 11% e 43% (Figura 3d). Turner et al. (1999) afirmam que tal ganho é esperado, uma vez que a geometria entre o sol, superfície e sensor é diferente entre as imagens, devido à variação das propriedades ópticas da atmosfera que podem gerar ruídos nas relações espectrais. Verificou-se ainda que os menores erros relativos foram obtidos no período mais próximo da colheita da cana-de-açúcar, onde, no campo, observou-se que a área do talhão que compunham os pixels da imagem era em sua maioria formada pela composição de constituintes vegetais (folhas, colmos e palha), que resultou em valores de NDVI entre 0,5 e 0,4 aos 506 DAP. Os menores valores de NDVI nessa fase estiveram mais próximos na comparação entre as imagens com e sem aplicação de correção atmosférica, com menores erros relativos observados (Figura 3d).

No final do ciclo de produção da cana-de-açúcar, a média das diferenças relativas foi de 15%, corroborando com os resultados obtidos por Agapiou et al. (2011), que avaliaram o efeito da correção atmosférica no NDVI obtido por imagens Landsat 7 ETM+ e obtiveram valores médios de diferença relativa iguais a 20% para  $NDVI < 0,40$  e diferenças superiores a 50% para valores de  $NDVI > 0,40$ .

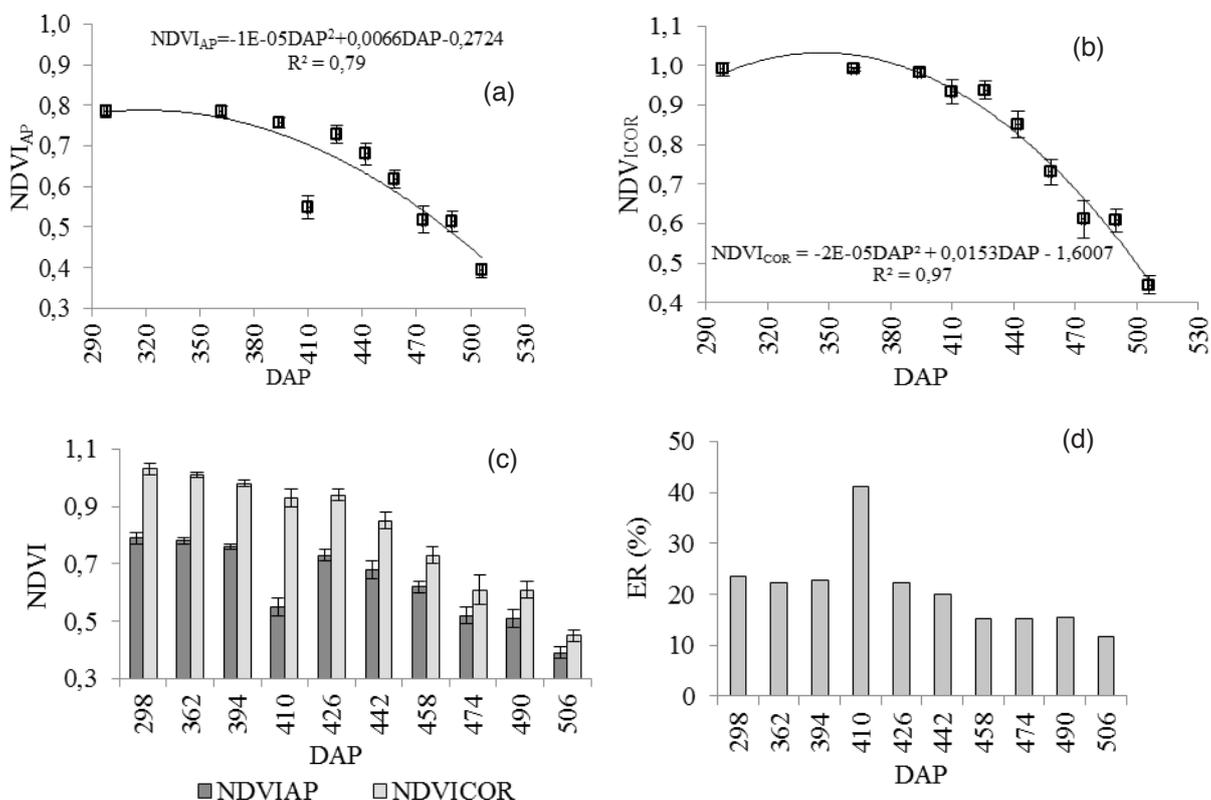


Figura 3. Relação dos modelos que relacionam o  $NDVI_{AP}$  sem correção atmosférica (a) e  $NDVI_{COR}$  com correção atmosférica obtidos de imagens Landsat 8 (b) em função dos dias após o plantio da cana-de-açúcar (DAP), bem como seus valores médios com seus respectivos desvios-padrão (c) e o erro relativo (d) ( $ER\% = 100 \cdot (NDVI_{COR} - NDVI_{AP}) / NDVI_{COR}$ ).

Na relação entre o IAF e NDVI (Figura 4), houve maior dispersão dos dados no ajuste do IAF com o  $NDVI_{AP}$  ( $R^2 = 0,60$ ) em relação ao ajuste com  $NDVI_{COR}$  ( $R^2 = 0,84$ ) (Figuras 3a e 3b). Um maior coeficiente angular foi observado no ajuste com o  $NDVI_{AP}$  (8,11) comparado ao  $NDVI_{COR}$  (6,44), indicando que há uma maior sensibilidade desse modelo ao estimar o IAF em função do NDVI. Assim, o ponto de saturação do  $NDVI_{AP}$  e do  $NDVI_{COR}$  foi alcançado com valor de aproximadamente 0,80 e 1,0, respectivamente, correspondente a um  $IAF \approx 5,4$ , para ambos. Sugawara & Rudorff (2011) observaram alta variabilidade do NDVI nos períodos de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, tal variabilidade diminui nos períodos finais de crescimento, onde mesmo com o aumento de biomassa, o NDVI satura-se próximo a valores de 0,9, ou seja, acima deste valor o NDVI não seria capaz de expressar o aumento de biomassa, mesmo com o aumento do dossel.

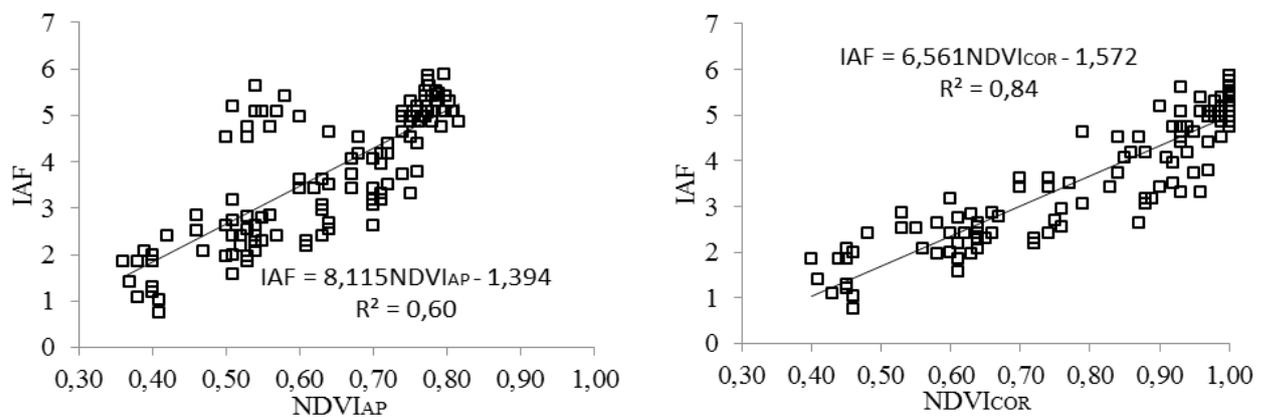


Figura 4. Modelos de estimativa do IAF da cana-de-açúcar a partir do  $NDVI_{AP}$  sem correção atmosférica (a) e do  $NDVI_{COR}$  corrigido (b) obtidos do satélite Landsat 8.

Verificou-se que o método que apresentou a menor dispersão em relação a uma reta 1:1 (IAF:NDVI), determinado pelo índice “d”, foi a estimativa de IAF em função do NDVI com correção atmosférica, o qual apresentou também os menores RMSE, EAmáx e EAméd (Figura 5a, b, c e d). Os índices menos satisfatórios foram detectados na metodologia de Picoli (2009). Tais diferenças podem refletir a variação estrutural do dossel da cana-de-açúcar no talhão quando comparada com amostragens localizadas, o que sugere a necessidade do aumento de amostragens em campo para que as diferenças entre os valores reais de IAF se aproximem dos valores estimados por modelos espectrais, que de certa forma generalizam o espaço de variação do IAF. Analisando os valores estimados por Picoli (2009) e Xavier & Vetorazzi (2004), os resultados deste último, na sua grande maioria subestimam os valores, quando comparados aos dados estimados em campo. Estes dois modelos de apesar de se basearem na relação entre o NDVI e o IAF da cana-de-açúcar, valeram-se de condições diferentes, tais como, sensores e resoluções distintas entre as imagens, o que pode

ter interferido na sua aplicação direta aos dados obtidos.

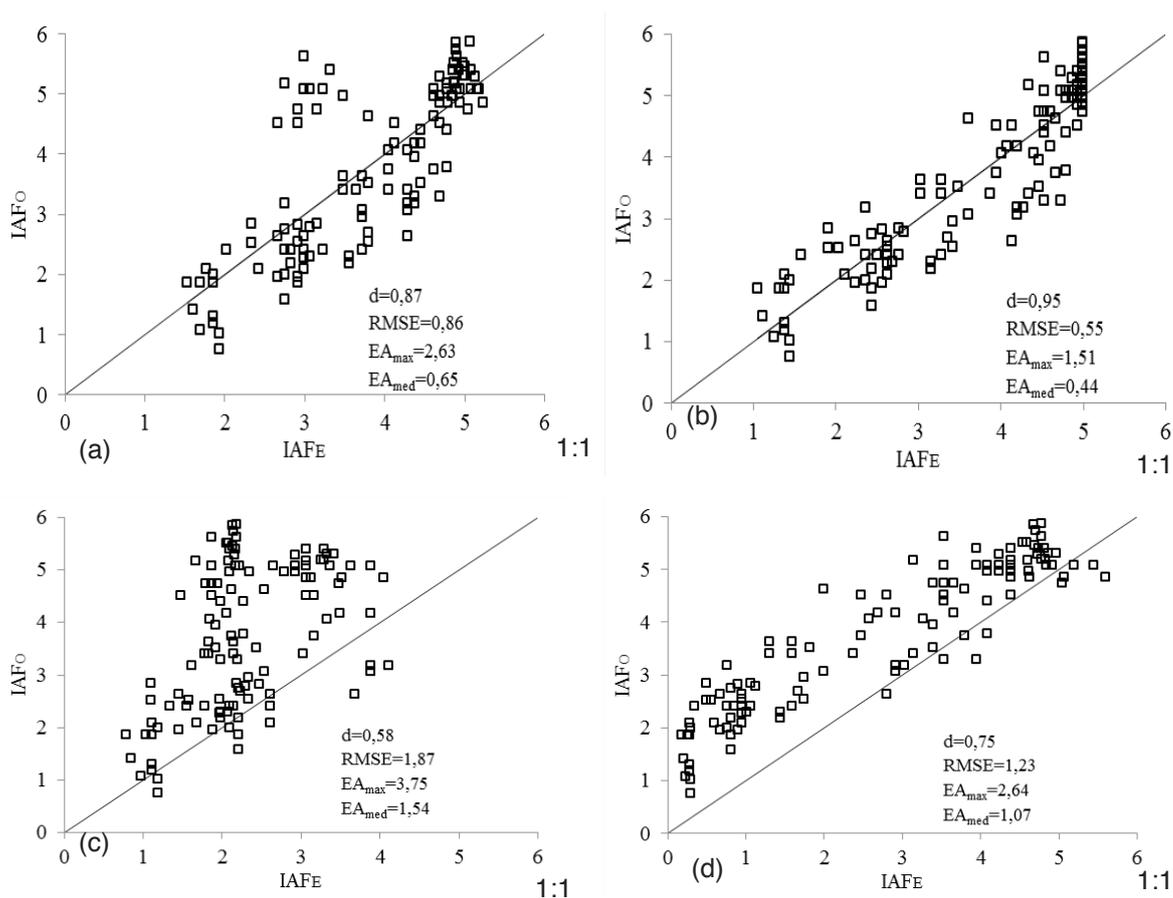


Figura 5. Relação entre o índice de área foliar da cana-de-açúcar estimado em campo (IAFO) e os estimados (IAFE) pelos modelos obtidos pelo NDVI sem correção atmosférica [NDVIAP (a)] e com correção atmosférica [NDVICOR (b)], Picoli (2009) (c) e Xavier & Vetorazzi (2004) (d), bem como, seus respectivos índices estatísticos “d” de Wilmot, raiz do erro quadrático médio (RMSE), erro absoluto máximo (EA<sub>max</sub>) e erro absoluto médio (EA<sub>med</sub>).

A evolução temporal do  $IAF_{COR}$  durante o ciclo de produção da cana-planta (Figura 6) mostra que a variabilidade intra-anual do  $IAF_{COR}$  médio dos talhões segue o desenvolvimento fenológico da cana-de-açúcar. No intervalo entre 26 e 138 DAP, onde se observa uma relação positiva até o NDVI de 0,42 que resultou em um IAF = 1,98 no final da fase de perfilhamento, onde, até esse momento a precipitação acumulada foi de 116,6 mm. Com o aumento das precipitações e início da estação chuvosa, na fase vegetativa, observa-se um aumento do NDVI com o valor máximo no mês de janeiro/2014 (NDVI = 1) aos 298 DAP e IAF de 4,81, já se aproximando ao final da fase vegetativa e início da maturação. Ressalta-se que entre os meses de outubro/2013 e janeiro/2014 obtiveram-se poucas imagens corrigidas, pois são meses da estação chuvosa e nesta época as imagens apresentam grande cobertura de nuvens. No período de aquisição das imagens posteriores a janeiro/2014, no intervalo de 298 a 426 DAP, a precipitação acumulada foi de 568,2 mm, o suficiente para que o NDVI permanecesse em patamares próximos a 1 até o início do mês de junho (426 DAP, NDVI = 0,95, IAF = 4,49). A partir de junho com uma diminuição acentuada da

precipitação e já na fase de maturação, o NDVI apresentou queda acentuada, onde a condição de céu claro deste período permitiu que as imagens adquiridas entre junho e agosto/2014 identificassem a depleção do IAF satisfatoriamente, de forma que ao final do ciclo de produção o NDVI fosse de 0,4 e na imagem de aos 506 DAP, em agosto/14, resultou em um IAF de 2,3.

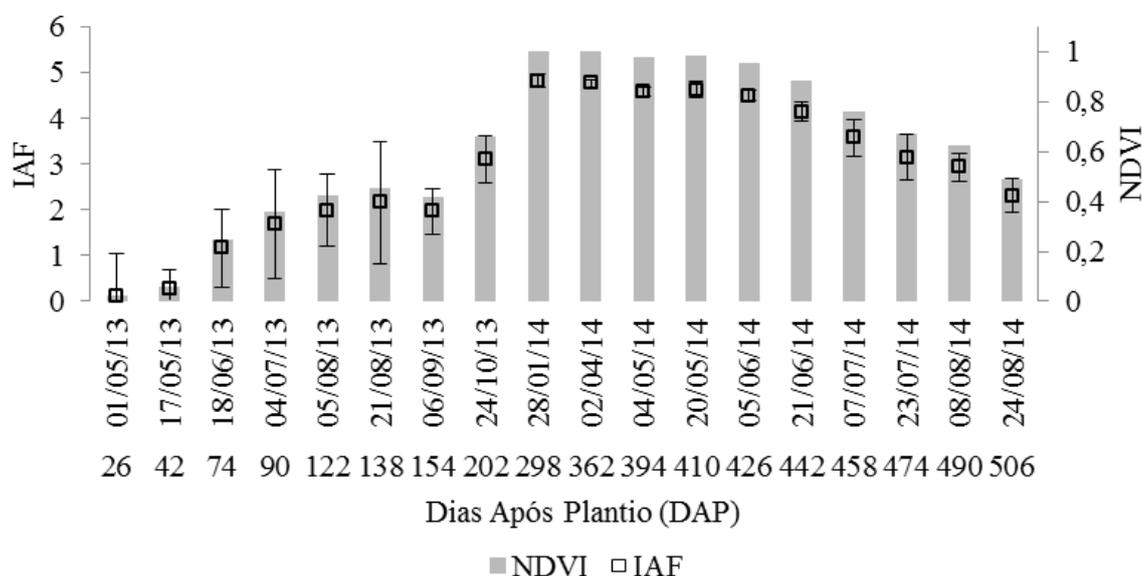


Figura 6. Evolução temporal do  $NDVI_{COR}$  (barras) e do  $IAF_{COR}$  com desvio padrão (quadrados) em função das datas de aquisição das imagens e dos dias após o plantio (DAP) durante o ciclo de produção da cana-planta.

Incrementos nos valores de NDVI estão associados ao aumento da densidade de biomassa, que por sua vez é favorecida por períodos de maior precipitação. Lucas et al. (2007) observaram que o valor máximo de NDVI de 0,6 ocorreu após o mês de maior incidência de chuvas, posteriormente, com a diminuição das precipitações de 585,2 mm para 97,2 mm e depois para 25,9 mm o NDVI começa a decair para 0,43 e em seguida para 0,27 em resposta às respectivas reduções pluviométricas. Em relação ao ciclo da cultura, os autores obtiveram em uma mesma imagem valores médios de NDVI de 0,4 em talhões na fase de maturação e 0,3 em talhões recém-colhidos, devido ao estágio inicial, onde a rebrota exerce baixa influência na resposta espectral e a grande área de solo exposto resulta em baixos valores de NDVI. Sugawara & Rudorff (2011) estudaram o NDVI obtido a partir de dados do sensor MODIS/Terra e observaram uma variação do NDVI entre 0 e 0,99 entre as fases iniciais e de máximo crescimento em áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Na região estudada pelos autores, a colheita acontece entre abril e setembro, período no qual se verifica a queda acentuada do NDVI de valores superiores a 0,75 para valores inferiores a 0,4 no final do período de colheita, além disso, relata-se que embora a cana-de-açúcar seja colhida em diferentes datas ao longo do período seco do ano, o aumento do NDVI após a colheita só ocorre após o início do período chuvoso.

## 4 | CONCLUSÃO

A correção atmosférica nos dados de refletância que originam o índice de vegetação aumenta a qualidade das correlações entre dados espectrais e de superfície. A variação temporal do IAF a partir do modelo ajustado pelo NDVI corrigido mostrou-se satisfatória nas fases avaliadas da cana-de-açúcar. A correlação das diferentes faixas espectrais dos sensores com variáveis de crescimento da cultura permite identificar um ajuste do comportamento espectral da resposta da cultura da cana-de-açúcar em relação as faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo.

## REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome, FAO, 1998, 333p.
- ALMEIDA, A. C. S.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; BARBOSA, G. V. S.; FILHO, G. M.; FERREIRA J. R. A. **Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1441-1448, set./out., 2008.
- AGAPIOU, A.; HADJIMITSIS, D. G.; PAPOUTSA, C.; ALEXAKIS, D. D.; PAPADAVID, G. **The importance of accounting for atmospheric effects in the application of NDVI and interpretation of satellite imagery supporting archaeological research: The case studies of Palaepaphos and Nea Paphos sites in Cyprus**. Remote Sensing, Basel, v. 3, p. 2605-2629, 2011.
- BACHI, O. O. S.; SOUZA, J. A. G. C. **Minimum threshold temperature for sugar cane growth**. In: International society of sugar cane technologists. Proceedings... São Paulo, 1978, v. 2, p. 1733-1741.
- ANDERSON, G.P.; FELDE, G.W.; HOKE, M.L.; RATKOWSKY, A.J.; COOLEY, T.W.; CHETWYND, J.H., Jr.; GARDNER, J.A.; ADLER-GOLDEN, S.M.; MATTEW, M.W.; BERK, A. **MODTRAN4-based atmospheric correction algorithm: FLAASH (fast line-of-sight atmospheric analysis of spectral hypercubes)**. In Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery VIII, 2002, Orlando, FL, USA Proceedings, Society of Photo Optics, 2002, p. 65–71
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. **Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab). **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, v. 1 - Safra 2014/15, n. 3 – Terceiro levantamento, Brasília, 2014. Disponível em <www.conab.gov.br>. Acesso em: 04 abr 2015.
- CHOUDHURY, B. J.; AHMED, N. U.; IDSO, S. B.; REGINATO, R. J. **Relations between evaporation coefficients and vegetation indices studied by model simulations**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 50, p. 1-17, 1994.
- FARIAS, C. H. A.; NETO, J. D.; FERNANDES, P. D.; GHEIY, H. R. **Índice de área foliar em cana-de-açúcar sob diferentes níveis de irrigação e zinco na Paraíba**. Revista Caatinga. v. 20, n. 4, p. 45-55, 2007.
- GIONGO, P. R.; MOURA, G. B. A.; SILVA, B. B.; ROCHA, H. R.; MEDEIROS, S. R. R.; NAZARENO, A. C. **Albedo à superfície a partir de imagens Landsat 5 em áreas de cana-de-açúcar e Cerrado**.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.14, n. 3, p. 279-287, 2010.

HERMANN, E. R.; CÂMARA, G. M. S. **Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar**. Revista da STAB, Piracicaba, v. 17, p. 32-34, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA**. Disponível em < <http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 19 mai 2016.

IQBAL, M. **An introduction to solar radiation. Library of congress cataloging in publication data**. Academic Press Canadian, 1983, 390p.

KEATING, B. A.; ROBERTSON, M. J.; MUCHOW, R. C.; HUTH, N. I. **Modeling sugarcane production systems**. Field Crops Research, Amsterdam, v. 61, p. 253-271, 1999.

LATORRE, M.; JÚNIOR, O. A. C.; CARVALHO, A. P. F.; SHIMABUKURO, Y. E. **Correção atmosférica: Conceitos e Fundamentos**. Espaço e Geografia, Brasília v. 5, n. 1, p. 153-178, 2002.

LIANG, S. **Atmospheric correction of Landsat ETM+ land surface imagery – Part II: Validation and applications**. IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. v. 40, n. 12, p. 2736-2746, 2002.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Uniderp, 2007. 908 p.

LUCAS, A. A.; SCHULER, C. A. B. **Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e mata atlântica no litoral norte de Pernambuco, Brasil**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande v. 11, n. 6, p. 607-614, 2007.

NASSIF, D. S. P.; MARIN, F. R.; PALLONE, W. J. F.; RESENDE, R. S.; PELLEGRINO, G. Q. **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 47, n. 6, p. 311-318, 2012.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia – Fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba, Agropecuária, 2002, 478p.

PICOLI, M. C. A.; RUDORFF, B. F. T.; RIZZI, R.; GIAROLLA, A. **Índice de vegetação do sensor MODIS na estimativa da produtividade agrícola da cana-de-açúcar**. Bragantia, Campinas, v. 68, n. 3, p. 789-795, 2009.

RUDORFF, B. F. T.; AGUIAR, D. A.; SILVA, W. F.; SUGAWARA, L. M.; ADAMI, M.; MOREIRA, M. A. **Studies on the rapid expansion of sugarcane for ethanol production in São Paulo State (Brazil) using Landsat data. Remote Sensing**, Basel, v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010.

SCARPARI, M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. **Variação espaço-temporal do índice de área foliar e do brix em cana-de-açúcar**. Bragantia. Campinas, v. 67, n. 1, p. 35-41, 2008.

SCHULTZ, B.; IMMITZER, M.; FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. A.; LUIZ, A. J. B.; ATZBERGER, C. **Self-guided segmentation and classification of multi-temporal Landsat 8 images for crop type mapping in southeastern Brazil**. Remote Sensing, Basel, v. 7, n. 11, p. 14482 – 14508, 2015.

SIMÕES, M. S.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI; CAMARGO R. A. **Variáveis espectrais e indicadores de desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar**. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 62, n. 3, p. 199-207, 2005.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; CARMO, J. F. A.; SOUZA, L. S. B. **Biometria da parte aérea da cana soca irrigada no submédio do vale do São Francisco**. Revista Ciência Agronômica, Fortaleza, v. 43, n. 3, p. 500-509, jul-set, 2012.

SUGAWARA, L. M. & RUDORFF, B. F. T. **Acompanhamento do crescimento vegetativo da cana-de-açúcar por meio de séries temporais de NDVI do sensor MODIS**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011 Curitiba, PR. Resumos... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 391-398.

TURNER, D. P. COHEN, W. B.; KENNEDY, R. E.; FASSNACHT, K. S.; BRIGGS, J. M. **Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 70, n. 3, p. 52-68, 1999.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY - USGS (2013) – **Landsat 8**. Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>, Acesso em 10 mar. 2015.

VILLA NOVA, N. A.; PEDRO Jr, M. J.; PEREIRA, A. R.; OMETTO, J. C. **Estimativa de Graus-dia acumulados acima de qualquer temperatura base, em função das temperaturas máxima e mínima**. Caderno de Ciências da Terra, Instituto Geográfico-USP, n. 30, 1972.

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, Oxford, v.11, p.41-76, 1947.

WIEGAND, C. L.; RICHARDSON, A. J.; ESCOBAR, D. E.; GERBEMANN, A. H. **Vegetation indices in crop assessments**. Remote Sensing of Environment, New York, v. 35, p. 105-119, 1991.

XAVIER, A. C.; VETORAZZI, C. A. **Monitoring leaf area index at watershed level through ndvi from Landsat-7/ETM+ data**. Scientia Agricola, Piracicaba, v.61, n.3, p.243-252, 2004.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR/2016). Atualmente, é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia – Geotecnologias, com ênfase em Topografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-85107-54-3



9 788585 107543