



# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio  
(Organizador)

 **Atena**  
Editora

Ano 2018

**LEONARDO TULLIO**

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do  
Sensoriamento Remoto  
2**

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 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

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

No Volume II da obra “Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto” trazemos até você os mais diversos trabalhos da área, contando agora com 22 capítulos inéditos. Vimos a importância deste tema no Volume I e agora esperamos contribuir significativamente com outras aplicações em diversas áreas de atuação.

Percebemos que os avanços tecnológicos substituem algumas formas de agir e pensar, de maneira instantânea e a níveis de confiança altíssimos. Assim a contribuição e os avanços nas pesquisas são favorecidos com o uso de softwares aplicados ao Sensoriamento Remoto. Visto a necessidade de programas computacionais específicos para análise conjunta de dados sobre a imagem e de maneira rápida, percebemos a significativa atuação da tecnologia neste meio.

Neste sentido, ressaltamos a importância do conhecimento específico e aplicado, pois a tecnologia analisa a partir de comandos, porém, a análise e a definição do certo ou errado ainda está na dependência do operador, que exige conhecimento em sua realização. Aplicações práticas e com resultados significativos são fundamentais para o sucesso de uma pesquisa, a classificação seja ela supervisionada ou não, garante a interpretação fiel da realidade estudada. Porém, refinar as técnicas de análise e comparar os resultados são importantes.

Contudo, ressaltamos a necessidade do conhecimento avançado sobre o que se propõe a estudar e qual método mais adequado, pois a interação dos dois reflete a confiança e qualidade do resultado. Portanto, a busca por conhecimento é insaciável e nos faz aprender a cada capítulo desta obra.

Por fim, desejo bons estudos e muito conhecimento adquirido com as informações e resultados trazidos nos capítulos desta obra.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP	
<i>Érica Patrícia Viegas dos Santos</i>	
<i>Dário Rodrigues de Melo Junior</i>	
<i>Olavo Rodrigues Fagundes Neto</i>	
<i>Tasso Wesley Galeno Barreto</i>	
<i>Patrícia Helena Turola Takamatsu</i>	
<i>Fabiano Luís Belém</i>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>14</b>
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES	
<i>Andressa Padovani Gil</i>	
<i>André Luiz Nascentes Coelho</i>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA	
<i>Luiz Felipe Moura Bastos Borges</i>	
<i>Desiree Alves Celestino Santos</i>	
<i>Fábia Antunes Zaloti</i>	
<i>Saulo Medrado dos Santos</i>	
<i>Dária Maria Cardoso Nascimento</i>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>36</b>
ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS	
<i>Samia de Moura Passarella</i>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>54</b>
ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE	
<i>Leonardo Nascimento Lima</i>	
<i>Luciano Ponzí Pezzi</i>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>69</b>
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE WUNDERLICHIA AZULENZIS	
<i>Alline Zagnoli Villela Motta</i>	
<i>Sollano Rabelo Braga</i>	
<i>Alessandra Morais Melo</i>	
<i>Nathalia Drummond Marques da Silva</i>	
<i>Cristiano Christofaro</i>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>80</b>
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)	
<i>Darllan Collins da Cunha e Silva</i>	
<i>Deborah de Matos</i>	
<i>Renan Angrizani de Oliveira</i>	
<i>Vanessa Cezar Simonetti</i>	
<i>Roberto Wagner Lourenço</i>	

**CAPÍTULO 8 ..... 94**

CONTROLE ESTATÍSTICO DE PROCESSO APLICADO À GCP'S EM MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM USO DE VANT

*José Adriano da Silva*  
*Vinicius Bitencourt Campos Calou*  
*Adunias dos Santos Teixeira*  
*Daniel Albiero*

**CAPÍTULO 9 ..... 105**

CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

*Barbara de Oliveira Sousa Castro*  
*Anderson Antonio da Conceição Sartori*  
*Flávia Luize Pereira de Souza*  
*Letícia Albano Benites*

**CAPÍTULO 10 ..... 117**

DESENVOLVIMENTO DE UM VANT DO TIPO QUADROTOR TOTALMENTE AUTÔNOMO DE ALTA PRECISÃO PARA SENSORIAMENTO REMOTO DE ÁREAS DE VEGETAÇÃO POR CÂMERA MULTIESPECTRAL GEORREFERENCIADA

*Thiago Vieira Nogueira Coelho*  
*Lucas Moraes*  
*Rafael Falcí Campos*  
*Luis Carlos Carmo Jr.*  
*Daniel Discini Silveira*  
*André Luis Marques Marcato*  
*Alexandre Bessa dos Santos*

**CAPÍTULO 11 ..... 134**

ESTUDO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE ALVOS PRÉ-SINALIZADOS PARA APOIAR LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS REALIZADOS COM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT)

*Glauber Carvalho Costa*  
*Igor de Carvalho Almeida*  
*Rafael Claudino da Silva*  
*Rafael Bazílio Viana*

**CAPÍTULO 12 ..... 144**

ESTUDO SOBRE O EMPREGO DE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO E ELEVAÇÃO, GERADOS DE LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL, PERFILAMENTO A LASER AÉREO, SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 E WORLDDDEM, COM ÊNFASE EM PROJETOS VIÁRIOS

*Glauber Carvalho Costa*  
*Igor de Carvalho Almeida*  
*Rafael Claudino da Silva*  
*Rubens José Souza Galvão*  
*Rafael Bazílio Viana*

**CAPÍTULO 13 ..... 155**

FRONTEIRA AGRÍCOLA E A ESTRUTURA DA PAISAGEM NA SUB-BACIA DO RIO RIACHÃO – OESTE DA BAHIA

*Crisliane Aparecida Pereira dos Santos*  
*Edson Eyji Sano*  
*Pablo Santana Santos*

**CAPÍTULO 14 ..... 165**

IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À OCUPAÇÃO IRREGULAR POR MEIO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO NO BAIRRO DE GRAMAME, EM JOÃO PESSOA – PB

*Erickson Melo de Albuquerque*  
*Cícero Fidelis da Silva Neto*  
*Marcos Leonardo Ferreira dos Santos*

**CAPÍTULO 15..... 175**

ÍNDICES TEXTURAIS DAS ÁREAS DE EXPLORAÇÃO FLORESTAL NA FLONA DO TAPAJÓS (PARÁ), UTILIZANDO IMAGENS DE MÉDIA RESOLUÇÃO ESPACIAL FUSIONADAS.

*Marília Gabriela Lopes da Silva*  
*Tássio Franco Cordeiro*  
*Rodrigo Rafael Sousa de Oliveira*  
*Igor da Silva Narvaes*  
*Alessandra Rodrigues Gomes*  
*Marcos Adami*  
*Lucas José Mazzei de Freitas*  
*Dalton de Morisson Valeriano*

**CAPÍTULO 16..... 190**

INTEGRAÇÃO DE GEOTECNOLOGIAS PARA APOIAR RESPOSTAS A EVENTOS HIDROLÓGICOS CRÍTICOS: A EXPERIÊNCIA DA UNIDADE ESTADUAL DE MONITORAMENTO HIDROMETEOROLÓGICO DURANTE AS INUNDAÇÕES DE 2015 NA BACIA DO RIO ACRE – ACRE/BRASIL

*Alan dos Santos Pimentel*  
*Vera Lúcia Reis*  
*Ylza Marluce Silva de Lima*  
*Luiz Alves dos Santos Neto*  
*Diana de Souza Bezerra*  
*Tatiane Mendonça de Lima*  
*Irving Foster Brown*

**CAPÍTULO 17 ..... 201**

INDICAÇÃO ESTATÍSTICA DE ÁREAS DE GARIMPO DE AMETISTA COM O USO DE IMAGENS ASTER

*Jean Marcel de Almeida Espinoza*  
*Deivid Cristian Leal Alves*  
*Silvia Beatriz Alves Rolim*  
*Jefferson Rodrigues dos Santos*  
*Maurício Soares Ortiz*  
*Miguel da Guia Albuquerque*

**CAPÍTULO 18..... 213**

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

*Jorge Luís Silva Brito*  
*Roberto Rosa*  
*Mirna Karla Amorim da Silva*

**CAPÍTULO 19..... 222**

MÉTRICAS DE PAISAGEM NA CARACTERIZAÇÃO DOS FRAGMENTOS FLORESTAIS POR MEIO DA FUSÃO DA IMAGEM CBERS 4

*Caroline Bessi Fávero*  
*Anderson Antonio da Conceição Sartori*  
*Sidnei Fonseca Guerreiro*  
*Victor Munhoz Ruiz*  
*Rosane Maria Kaspary*  
*Martha Santana Martins*

**CAPÍTULO 20..... 240**

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL DAS MUDANÇAS DE COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DE RORAIMA, NORTE DA AMAZÔNIA

*Maristela Ramalho Xaud*  
*Cláudia Maria de Almeida*  
*Haron Abraham Magalhães Xaud*

**CAPÍTULO 21..... 254**

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR NA REGIÃO METROPOLITANA DE GOIÂNIA.

*Gabriella Santos Arruda de Lima*

*Nilson Clementino Ferreira*

**CAPÍTULO 22..... 265**

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MODELO SWAT PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL PARA A REGIÃO DE PETROLINA, ESTADO DE PERNAMBUCO

*Teônia Casado da Silva*

*Madson Tavares Silva*

*Danielle Teixeira Alves da Silva*

*Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão*

*Eduardo da Silva Margalho*

**SOBRE O ORGANIZADOR .....274**

## CORRELAÇÃO ESPACIAL DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO (NDVI, NDWI E EVI) DE IMAGEM LANDSAT-8 COM ATRIBUTOS DO SOLO

### **Barbara de Oliveira Sousa Castro**

Universidade do Sagrado Coração (USC), Departamento de Geoprocessamento, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologias (NEPGEO). Bauru – SP.

### **Anderson Antonio da Conceição Sartori**

Programa de Mestrado em Ciência e Tecnologia ambiental, Universidade do sagrado Coração-USC, Departamento de Geoprocessamento, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologias (NEPGEO). Bauru – SP.

### **Flávia Luize Pereira de Souza**

Universidade do Sagrado Coração (USC), Departamento de Geoprocessamento, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologias (NEPGEO). Bauru – SP.

### **Letícia Albano Benites**

Universidade do Sagrado Coração (USC), Departamento de Geoprocessamento, Núcleo de Estudos e Pesquisas em Geotecnologias (NEPGEO). Bauru – SP.

**RESUMO:** O uso do sensoriamento remoto como metodologia de monitoramento é favorável na cultura da cana-de-açúcar, devido à eficiência dos métodos que podem ser aplicados e ao baixo custo. O objetivo deste trabalho foi correlacionar o índice de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), NDWI (Índice de Água de Diferença Normalizada) e EVI (Enhanced Vegetation Index) com parâmetros do solo em

uma área de cana-de-açúcar. A partir das imagens do Landsat-8, os valores dos três índices de vegetação foram calculados e extraídos, após o que foi feita a correlação de Pearson com os parâmetros coletados no campo. Os valores dos índices foram 0,330-0,457 para NDVI, -0,099-0,034 para NDWI e -0,191-0,283 para EVI, verificou-se que a situação é favorável para o seu período (densidade de vegetação). Os melhores resultados de correlação foram 0,142 potássio com NDVI, retenção de água (0,112), densidade de partículas (0,112), porosidade total (0,171) e resistência à penetração (0,267) com NDWI e areia grossa (0,393), areia total (0,317) macroporosidade (0,25) e pH (0,162) com EVI. Verificou-se a importância do monitoramento desses parâmetros na cultura, bem como a necessidade de aprofundar a análise através da dependência espacial, a fim de verificar o padrão de ocorrência dos parâmetros.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cana-de-açúcar, índices espectrais, parâmetros de solo

**ABSTRACT:** The use of remote sensing as a methodology for monitoring is favorable in the sugarcane crop, because of the efficiency of the methods that can be applied and the low cost. The objective of this work was to correlate NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index) and EVI (Enhanced Vegetation Index) vegetation index

with soil parameters in a sugarcane area. From the Landsat-8 images, the values of the three vegetation indices were calculated and extracted, after which it made a Pearson correlation with the parameters collected in the field. The values of the indices were 0.330-0.457 for NDVI, -0.099-0.034 for NDWI and -0.191-0.283 for EVI, it was noticed that the situation that the culture isn't favorable for its period (density of vegetation). The best correlation results were 0.142 potassium with NDVI, water retained (0.112), particle density (0.112), total porosity (0.171) and resistance to penetration (0.267) with NDWI and the coarse sand (0.393), Total sand (0.317), macroporosity (0.25) and pH (0.162) with EVI. It was verified the importance of the monitoring of these parameters in the crop, as well as the need to deepen the analysis through spatial dependence, in order to verify the pattern of occurrence of the parameters.

**KEYWORDS:** sugarcane, spectral index, soil parameters.

## 1 | INTRODUÇÃO

No que diz respeito à produção de açúcar e etanol o Brasil é considerado o maior produtor do mundo. Dentro do país, pode-se destacar o estado de São Paulo que é responsável por 60% da cana-de-açúcar produzida. A safra neste estado ocorre no período de baixas precipitações pluviométricas (maio a novembro), o que proporciona uma maior probabilidade de queimadas na cultura (Ribeiro, 2008).

A cana-de-açúcar se desenvolve melhor em solos de boa fertilidade, profundos, argilosos, com boa capacidade de retenção de água, mas sem encharcamento e com pH de 6,0 a 6,5. Apesar de ser uma planta rústica, a viabilidade econômica da cultura da cana-de-açúcar diminui à medida em que as características do solo se tornam menos favoráveis, como ambientes sujeitos a inundações ou altamente erodíveis ou declivosos ou, ainda, pedregosos e os solos de fertilidade muito baixa.

Entender como a distribuição espacial dos atributos físicos e químicos dos solos, é importante para o estabelecimento de práticas de manejo adequadas na cultura de cana-de-açúcar visando não somente à otimização da produtividade agrícola, mas também a minimização de possíveis danos ambientais (McBratney e Pringle, 1999).

O conhecimento da umidade do solo é de fundamental importância devido ao papel ambiental relacionado a processos biológicos, ecológicos, hidrológicos e atmosféricos (Ávila et al., 2010). Diversos pesquisadores vêm utilizando dados espectrais orbitais para determinação espacial da umidade do solo (Sanchez et al., 2010). Vivoni et al. (2008) avaliaram, utilizando dados de sensoriamento remoto, a variabilidade espaço-temporal da umidade do solo em uma bacia hidrográfica, demonstrando sua variação em regiões complexas que possuem diferenças de vegetação, de propriedades do solo e de condições hidrológicas.

A utilização do sensoriamento remoto como metodologia para o monitoramento se mostra favorável na cultura de cana, devido à eficiência dos métodos que podem ser aplicados e o baixo custo por causa do volume de produção e extensão territorial. O

monitoramento através do índice de vegetação fornece um estudo das áreas de cultura e informações sobre biomassa, esse índice é obtido a partir de imagens de satélites e o tratamento dessas imagens de acordo com o tipo de índice (Fernandes, 2009).

Os índices de vegetação são constituídos por equações algébricas envolvendo faixas de reflectância que determinam a cobertura vegetal e sua densidade, permitindo assim a identificação de mudanças. A alteração de valores dos índices está relacionada com a mudança de variáveis biofísicas da cobertura vegetal (Ponzoni et al., 2012).

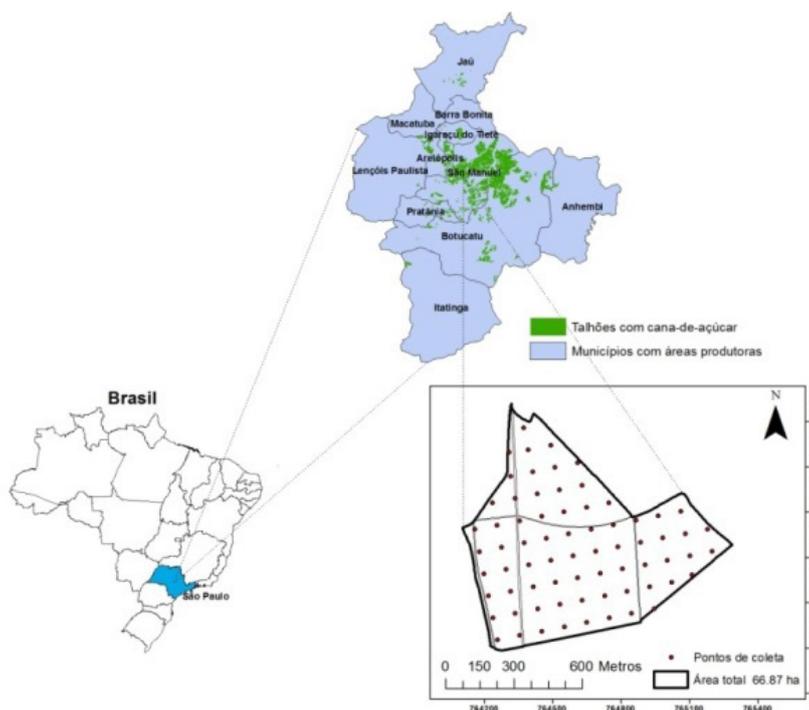
Neste contexto o objetivo desse trabalho é correlacionar índice de vegetação NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), NDWI (Normalized Difference Water Index) e EVI (Enhanced Vegetation Index) com parâmetros do solo em uma área de cana-de-açúcar.

## 2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

### 2.1 Caracterização da área de estudo

Os dados de solo utilizados nesta pesquisa foram obtidos por meio da tese de doutorado de Sartori, 2014. O local de estudo foi uma área de produção de cana-de-açúcar da Usina Açucareira São Manoel S.A., localizada na Fazenda Boa Vista no município de São Manoel (SP) ilustrado na Figura 1.

A área de estudo está localizada nas coordenadas 22° 76' de latitude sul e 48° 42' de longitude a oeste de Greenwich. Sendo a sua altitude média de 520 m e com clima tropical de altitude, com inverno seco (mínima de 12°C e máxima de 25°C) e verão quente (mínima de 19°C e máxima de 29°C).



**Figura 1.** Localização das áreas produtoras de cana-de-açúcar da Usina Açucareira São Manoel S.A. São Paulo (Sartori, 2014).

O solo da região de estudo foi classificado, segundo padrões da EMBRAPA (2013), como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico (LRdf), tendo uma variação no horizonte superficial de 254 e 259 g kg<sup>-1</sup> de teores médios de argila nas profundidades de 0-0,2 m e 0,2-0,4 m, respectivamente (Satori, 2014).

## 2.2 Características das imagens espectrais

O presente trabalho utilizou imagens do satélite Landsat-8, através do portal GLOVIS: The USGS Global Visualization Viewer, referente a 11 novembro de 2013, órbita/ponto 220/076, resolução radiométrica de 16 bits, resolução temporal 16 dias, projeção da imagem UTM, datum WGS 84, (projeção cilíndrica) havendo a necessidade de se projetá-las para o hemisfério Sul. O tamanho aproximado é de 170 km ao norte-sul por 183 km de leste a oeste.

A data da imagem ocorreu no período de máximo crescimento da cana-de-açúcar (parâmetros biofísicos e biomassa da vegetação), facilitando assim a determinação da produtividade final de cana-de-açúcar (Satori, 2014).

## 2.3 Pré-processamento da imagem Landsat-8

Neste estudo as bandas dos instrumentos OLI e TIRS (números digitais) foram convertidas para o topo da atmosfera (TOA), em radiância espectral, usando os elementos de brilho redimensionado fornecidos no arquivo de metadados, registrado na Equação 1.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (1)$$

onde:

$L_{\lambda}$ =TOA radiância espectral ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ );

$M_L$ =banda específica fator redimensionado multiplicador a partir dos metadados Radiância\_Mult\_Banda\_ $L$ , onde  $L$  é o número da banda;

$A_L$ =banda específica fator escalonado aditivo a partir de metadados da Radiância\_Add\_Banda\_ $L$ , onde  $L$  é o número da banda;

$Q_{cal}$ =produto quantificado e calibrado padrão em valores de pixel (ND).

A banda OLI também foi convertida para TOA reflectância planetária através dos coeficientes de reflectância redimensionado fornecidos no (arquivo MTL). Para converter valores digitais OLI para reflectância TOA, foi usada a Equação 2:

$$\rho_{\lambda}' = M_{\rho} Q_{cal} + A_{\rho} \quad (2)$$

onde:

$\rho_{\lambda}'$ = TOA reflectância planetária, sem correção para o ângulo solar ( $W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ );

$M_p$  = banda específica do fator multiplicador redimensionando da reflectância  $Mult\_Banda\_p$ , onde  $p$  é o número da banda;

$A_p$  = banda específica do fator aditivo redimensionando da reflectância  $\_Add\_Band\_p$ , onde  $p$  é o número da banda;

$Q_{cal}$  = Produto padrão quantificado e calibrado dos valores dos pixels (DN).

## 2.4 Índices de vegetação

### 2.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção devido à clorofila na região do vermelho (0,63 – 0,69  $\mu$ m) e por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo (0,76 – 0,90  $\mu$ m) causada pela estrutura celular das folhas. Várias transformações matemáticas dos dados das bandas 4\* e 5\*\* do Landsat 8 OLI mostraram-se indicadores sensíveis da presença da vegetação verde e são referidos como índices de vegetação nestas bandas. A diferença dos valores dos dados das bandas 4 (Red) e 5 (NIR) são proporcionais à reflectância da cena vista, sendo a medida do grau de vegetação verde na imagem. Um índice básico muito utilizado é o “índice de vegetação com diferença normalizada” (NDVI), como definido em (Tucker, 1979) Equação 3:

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (3)$$

### 2.4.2 Normalized Difference Water Index (NDWI)

O Índice Normalizado de Diferença de Água (NDWI) (Gao, 1996) mede o teor de umidade na vegetação e é derivado de satélite dos canais de Infravermelho Próximo-Infravermelho (NIR) e de Infravermelho de Onda Curta (SWIR). A combinação do NIR com o SWIR remove variações induzidas pela estrutura interna da folha e pelo teor de matéria seca da folha, melhorando a precisão na recuperação do teor de água da vegetação (Ceccato et al., 2001).

A Equação 4 do NDWI, segundo Gao (1996) é expressa por:

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (4)$$

O produto NDWI é adimensional e varia entre -1 e +1, dependendo do teor de água da folha, mas também do tipo de vegetação e cobertura. Quando os valores de NDWI são elevados, correspondem a um elevado teor de água na vegetação e a uma cobertura elevada da fracção da vegetação. Enquanto que os valores baixos correspondem ao baixo teor de água da vegetação e à cobertura fraca da fracção da vegetação, logo, no período de estresse hídrico o NDWI irá diminuir.

### 2.4.3 Enhanced Vegetation Index (EVI)

O EVI foi desenvolvido para aperfeiçoar o sinal de vegetação em locais com alta biomassa e melhorar monitoramento pela quebra de sinal do substrato do dossel vegetal e redução das influências atmosféricas, pois avalia o vigor da vegetação por estar diretamente relacionado com as variações na cobertura verde (Justice et al., 1998; Marcussi et al., 2010).

As imagens EVI são geradas por meio das bandas na faixa espectral do azul, vermelho e infravermelho do Landsat-8, o mesmo minimiza os efeitos de resposta do solo, atmosfera e variações fenológicas. Esse índice é obtido pela seguinte Equação 5 (Justice et al., 1998):

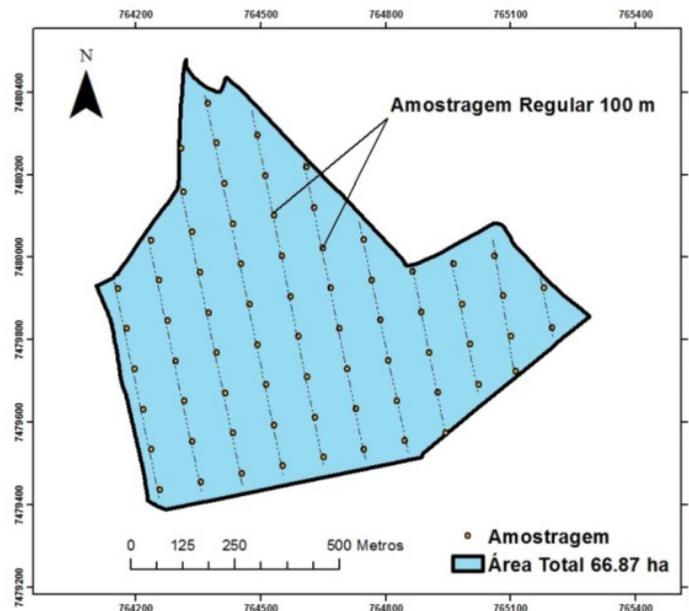
$$EVI = \frac{G \times (NIR - Red)}{NIR + (C_1 \times Red) - (C_2 \times Blue) + L} \quad (4)$$

Onde o fator de ganho (G) é de 2,5,  $C_1$  e  $C_2$  são coeficiente de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera e os valores são 6 e 7,5 respectivamente, L o fator de ajuste para o solo com o valor de 1 e os demais são as bandas NIR, Red e Blue (Justice et al., 1998).

## 2.5 Amostragem e Análises do Solo em Laboratório

A grade de amostragem foi definida por (Sartori, 2014) dentro do perímetro de campo de cana-de-açúcar com uma área de 66,87 ha, utilizando o programa de Falker Map (2011). O delineamento amostral consistiu de células regulares de tamanho de 1 ha, portanto, a densidade de amostragem foi uniforme totalizando 71 amostras (Figura 2).

As amostras do solo utilizadas neste estudo (0,0-0,2 m) foram enviadas ao Laboratório de Solos, Universidade Estadual Paulista - Faculdade de Ciências Agrônomicas/UNESP - Botucatu - São Paulo (Brasil). Os atributos do solo analisados no estudo foram: água retida: saturado ( $\text{dm}^3 \text{ dm}^{-3}$ ), areia grossa ( $\text{g kg}^{-1}$ ), areia total ( $\text{g kg}^{-1}$ ), densidade de partículas ( $\text{g cm}^{-3}$ ), macroporosidade ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), pH, potássio ( $\text{mmol dm}^{-3}$ ), porosidade total ( $\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ) e resistência à penetração (MPa), de acordo com EMBRAPA (1997).



**Figura 2.** Locais das amostras de solo em uma malha regular de 100 m em campo de cana-de-açúcar.

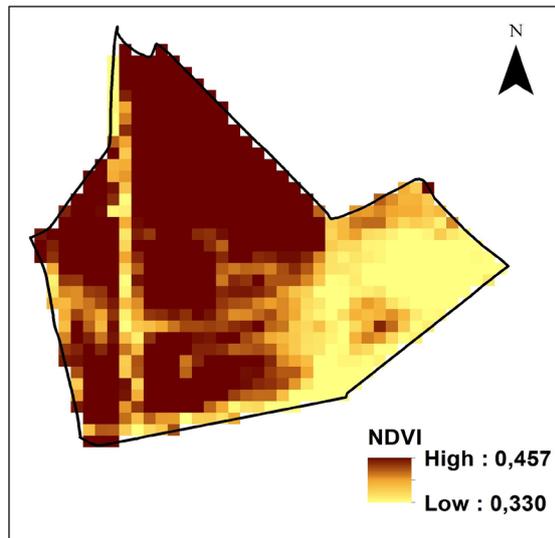
## 2.6 Coeficiente de correlação de Pearson

O Coeficiente de Correlação Linear de Pearson é utilizada para análise de correlação linear entre duas variáveis. Este foi o primeiro método de correlação, estudado por Francis Galton e seu aluno Karl Pearson, em 18975 (Schultz e Schultz, 1992).

O produto deste coeficiente está isento de unidades e ordem de grandezas das variáveis e varia entre -1 e 1. Sendo que quando o valor for 1 é uma relação positiva perfeita, -1 é uma relação negativa perfeita e 0 é uma relação difusa ou não linear (Lira, 2004).

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

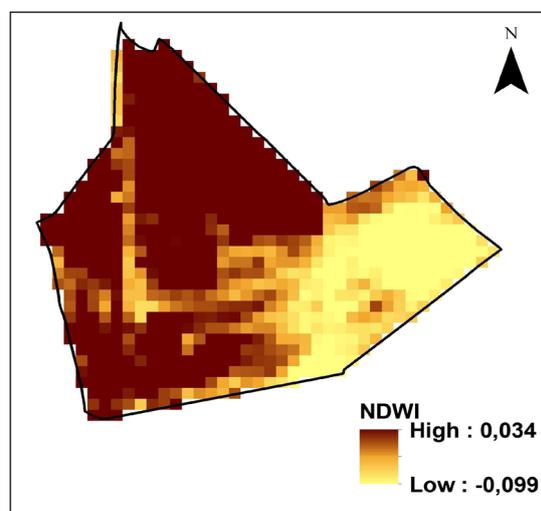
Com a aplicação do pré-processamento e os cálculos dos índices de vegetação, obteve-se as seguintes imagens raster (NDVI, NDWI e EVI). O índice NDVI apresentou um valor máximo de 0,457 e mínimo de 0,330, para essa faixa caracteriza-se vegetação com densidade média à rala Figura 3.



**Figura 3.** Índices de vegetação NDVI na área de estudo.

No mapa gerado, pode-se perceber a uma maior quantidade de vegetação com densidade média, devido à grande presença da coloração escura (faixa de valor máximo encontrado) que caracteriza esse tipo de vegetação. O tipo de solo, estágio de corte e a variedade de cana-de-açúcar interferem na curva temporal do NDVI. Todavia Lopes et al. (2011) concluíram que a densidade de vegetação da cana-de-açúcar está relacionada com o NDVI. Pode-se destacar que a análise foi realizada a partir de coletas e imagens referentes ao mês de novembro, neste período a planta ainda está em processo de crescimento vegetativo visto que o ponto máximo de vegetação ocorre anualmente em dezembro, logo, o NDVI tenderá a aumentar nos próximos meses segundo constatado por Lucas e Schuler (2007) que afirmam que o NDVI da cana-de-açúcar só começa a cair a partir do sétimo mês do ciclo da mesma.

O índice NDWI a faixa variou de 0,034 a -0,099 o que caracteriza um baixo teor de água na vegetação e uma baixa cobertura da fração vegetal Figura 4.

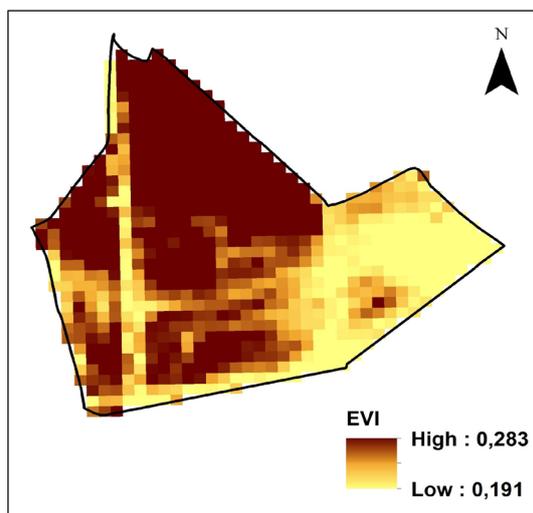


**Figura 4.** Índices de vegetação NDWI na área de estudo.

O teor de umidade da vegetação da área em geral está mais para intermediário

– baixo por causa da grande presença da faixa 0,034 e valores próximos. Existe uma relação da demanda de água de acordo com o estágio da cultura, o pico do consumo de água é no período de dezembro, sendo que a cana soca tem um maior consumo médio de água segundo Scardua et al. (1980). Com isso, o valor do NDWI não está se mostrando favorável para o período, o que poderá afetar na produção.

Já no índice EVI, constatou um baixo vigor vegetativo, pois os valores variam de 0,283 a -0,191, ressaltando que os valores perto de 0,283 se mostraram mais presentes conforme Figura 5.



**Figura 5.** Índices de vegetação EVI na área de estudo.

Esse fator não é favorável para a cultura uma vez que o seu ponto máximo de vegetação ocorre em dezembro. Partindo dessa análise, a produção de cana-de-açúcar vai ser afetada, uma vez que o crescimento em novembro não está em conformidade com o período próximo de grande vigor vegetativo.

A partir das imagens, pode-se extrair os valores das grades de amostragens nos pixels. Após esse processo, realizou-se a correlação dos valores dos índices de vegetação com os parâmetros de solo coletados em campo. Na Tabela 1 estão os resultados obtidos de correlação.

	Água Retida (Saturado)	Areia Grossa	Areia Total	Densidade de Partículas	K	Macroporosidade	pH	Porosidade Total	Resistência à Penetração
NDVI	0,068	0,337	0,224	0,068	0,142	0,246	0,126	0,131	0,202
NDWI	0,112	0,265	0,166	0,112	0,091	0,229	0,124	0,171	0,267
EVI	0,016	0,393	0,317	0,016	0,088	0,25	0,162	0,088	0,19

**Tabela 1.** Correlação dos IV's com os parâmetros do solo\*.

\*Nível de significância de 0,05.

As correlações dos parâmetros de solo com os índices de vegetação tiveram como

melhores resultados com NDVI o potássio (0,142), com NDWI a água retida (0,112), densidade de partículas (0,112), porosidade total (0,171) e resistência à penetração (0,267), com EVI a areia grossa (0,393), areia total (0,317), macroporosidade (0,25) e pH (0,162).

A correlação do potássio com o NDVI pode ter sido maior devido ao fato da quantidade desse nutriente ser o mais exigido na cultura de cana-de-açúcar, mesmo não fazendo parte de nenhum composto orgânico da cultura segundo Orlando Filho, 1993, o que tem uma forte correlação desse fertilizante com a cobertura vegetal (densidade). Além disso, o manejo adequado de potássio é importante na redução dos custos da produção, visto que 90% deste fertilizante é importado. Com isso, o monitoramento e a utilização de K tem uma grande relevância na cultura.

Os parâmetros com correlação ao NDWI ocorreram devido os mesmos possuírem uma relação com concentração água no solo. Sendo a água retida um parâmetro direto e densidade de partículas, porosidade total e resistência à penetração são parâmetros indiretos. O monitoramento da água durante todo o processo de produção é de extrema importância, uma vez que a disponibilidade hídrica tem uma relação linear com a produtividade de cana-de-açúcar. Um exemplo disto é no caso de ter uma baixa umidade no período de máximo crescimento, isso pode gerar na alongação de internódios, circunferência e peso de colmos, produção e acúmulo de açúcares e produção de folhas.

A utilização agrícola em ambientes com grande presença de areia é vista como frágil para a aplicação, visto que solos com essa característica tem baixa capacidade de armazenamento de água e alta suscetibilidade à erosão. A produtividade da cultura de cana-de-açúcar também é satisfatória em solos mais arenosos, porém deve ser acompanhado um manejo especial para este tipo de situação (Menezes et al., 2010).

Segundo Furlaneto et al. (2010) o cultivo de cana soca proporcionou um aumento na macroporosidade e em seguida um decréscimo na microporosidade (situação inversa na pós colheita). Com isso, o acompanhamento da macroporosidade também é importante na cultura.

O pH do solo na cultura de cana-de-açúcar necessita de um acompanhamento constante uma vez que, em condições ácidas, ocorre a redução do crescimento radicular. Esse fraco enraizamento afeta a alongação de perfilhos e área foliar, o que reduz na produtividade de cana-de-açúcar.

Tendo esses pontos de areia, macroporosidade e pH, percebe-se necessidade do monitoramento das mesmas, além da sua relação com a cobertura verde, o que pode ter dado uma maior correlação desses atributos com o EVI.

Uma análise da dependência espacial para correlacionar os índices de vegetação aos atributos, se torna necessária para uma melhor compreensão do padrão de ocorrência desses atributos no espaço. Além disso, percebendo que os valores de correlação obtidos não foram elevados, pode ser realizado um estudo futuro que explore melhor os parâmetros da planta ao invés do solo para a correlação com os

índices.

## 4 | CONCLUSÕES

Pelos índices de vegetação gerados, pode-se perceber que a situação que a cultura se encontra não está favorável para o seu período, uma vez que está perto do seu ponto máximo de vegetação e a mesma se encontra em uma densidade de vegetação inferior. Além disso, os melhores resultados da correlação dos parâmetros de solo com os índices de vegetação variaram de 0,112–0,393.

Constatou-se que o monitoramento dos parâmetros utilizados são de extrema importância para avaliar a qualidade e produtividade da cultura. Verificou-se também a necessidade de um aprofundamento na análise através da dependência espacial, para assim verificar o padrão de ocorrência dos parâmetros.

## REFERÊNCIAS

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. da. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.1257-1266, 2010.

CECCATO, P., FLASSE, S., TARANTOLA, S., JACQUEMOND, S., AND GREGOIRE, J.M. 2001. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain. **Remote Sensing of Environment** 77: 22–33.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997. 212p.

Falker Map/Falker Map Plus. **Software para Geração de Mapas FMP7000/7500**. Revisão B. 2011.

FERNANDES, J. L. Monitoramento da cultura de cana-de-açúcar no estado de São Paulo por meio de imagens spot Vegetation e dados meteorológicos. 2009. 114 f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. Campinas, São Paulo, 2009.

FURLANETO, F. P. B.; MIGUEL, F. B.; GRIZOTTO, R. K. Cultivo mínimo na cana-de-açúcar. **Pesquisa & Tecnologia**, v.7, n.2, 2010.

GAO, B.-C. 1996. NDWI - A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment** 58: 257-266.

JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

LIRA, S. A. Análise de correlação: Abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 209 f. Tese (Mestrado em Ciências) Ciências Exatas e de Tecnologia - UFPR. Curitiba, Paraná, 2004.

LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. DE O.; DA SILVA, F. H. B. B.; SOBRAL, M. DO C. M.; ARAÚJO FILHO, J. C. DE; CANDEIAS, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da

superfície e índice de vegetação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.973-980, 2011.

LUCAS, A. DE A.; SCHULER, C. A. B. Análise do NDVI/NOAA em cana-de-açúcar e Mata Atlântica no litoral norte de Pernambuco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.11, p.607-614. 2007.

MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. ***Caminhos de Geografia***, v.11, p.41-53, 2010.

MENEZES, B. B.; SCOPEL, I.; SOUSA, M. S. Plantio de cana-de-açúcar em solos arenosos: considerações sobre o uso e ocupação agrícola da bacia do ribeirão sujo, Serranópolis-GO. Fórum Ambiental da alta Paulista. Volume VI. 2010.

McBRATNEY, A. B.; Pringle, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. ***Precision Agriculture***, v.1, p.219-236, 1999.

ORLANDO FILHO, J. Calagem e adubação da cana de açúcar. In: Câmara, G. M. S. & Oliveira, E. A. M. (eds). *Produção de cana-de-açúcar*. Piracicaba: FEALQ/USP, 1993. p. 133-146.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH, T.M. *Sensoriamento Remoto da Vegetação*. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. v. 1, 176p.

RIBEIRO, H. Queimadas de cana-de-açúcar no Brasil: efeitos à saúde respiratória. ***Saúde Pública***, v.42, p.370-376, 2008.

SÁNCHEZ, N.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; CALERA, A.; TORRES, E.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, C. Combining remote sensing and in situ soil moisture data for the application and validation of a distributed water balance model (HIDROMORE). ***Agricultural Water Management***, v.98, p.69-78, 2010.

SARTORI, A. A. C. Geoestatística multivariada na delimitação de zonas de manejo na cultura de cana-de-açúcar. 2014. 158 f. Tese (Doutorado em Agronomia-Irrigação e Drenagem) Faculdade de ciências Agrônômicas – UNESP. Botucatu, São Paulo, 2014.

SCARDUA, R.; SOUSA, J.A.G.C.; LEME, E.J.A. Effect of soil water and environmental temperature on sugarcane (*Saccharum* spp.) yield irrigated by the sprinkler system. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 5., 1980, São Paulo. ***Anais ...*** São Paulo: ABID, 1980. p. 177-185.

SCHULTZ, D. P.; SCHULTZ, S. E. *História da psicologia moderna*. 16. ed. São Paulo: Cultrix, 1992. 439 p.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. ***Remote Sensing of Environment***, v. 8, n.2, p. 127-150, 1979.

VIVONI, E. R.; GEBREMICHAEL, M.; WATTS, C. J.; BINDLISH, R.; JACKSON, T. J. Comparison of ground-based and remotely sensed surface soil moisture estimates over complex terrain during SMEX04. ***Remote Sensing of Environment***, v.112, p.314-325, 2008.

## **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 978-85-85107-48-2



9 788585 107482