



**Leonardo Tullio  
(Organizador)**

---

# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 3

---

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

Leonardo Tullio  
(Organizador)

# Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 3

Atena Editora  
2019

2019 by Atena Editora  
Copyright © Atena Editora  
Copyright do Texto © 2019 Os Autores  
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora  
Editora Executiva: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira  
Diagramação: Lorena Prestes  
Edição de Arte: Lorena Prestes  
Revisão: Os Autores

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

### **Conselho Editorial**

#### **Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

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  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista  
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

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

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 3 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto; v. 3)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-637-9

DOI 10.22533/at.ed.379192309

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

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

Atena Editora  
Ponta Grossa – Paraná - Brasil  
[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)  
contato@atenaeditora.com.br

Atena  
Editora

Ano 2019

## APRESENTAÇÃO

Neste 3ª e-book de Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto, buscamos apresentar as mais recentes pesquisas na área abordando o uso das tecnologias. Essas pesquisas nos ajudam a planejar e tomar decisões em diversas áreas de atuação, tanto no meio urbano quanto no meio rural.

Trabalhar o Sensoriamento Remoto requer cuidados e atenção, principalmente na aquisição de imagens e suas resoluções, o que podem ser decisivos para uma boa análise. Assim no âmbito da qualidade, necessita-se estudos aprofundados e métodos que proporcionem as análises mais confiáveis e precisas, pois estamos passando por mudanças que acontecem muito rapidamente e verificar o problema em tempo real é quase que uma necessidade.

Portanto, nesta obra encontram-se diversos métodos e resultados que ajudam na tomada de decisão quanto ao planejamento ideal e com rapidez e confiança.

Desejo uma boa leitura desta obra.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE ESPACIAL: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O MAPEAMENTO DOS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA	
Patrick Calvano Kuchler Margareth Simões Agnès Begué Rodrigo Peçanha Damien Arvor	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3791923091</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>11</b>
APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DOS NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS	
Mateus Benchimol Ferreira de Almeida Margareth Simões Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3791923092</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>22</b>
ANÁLISE DE BORDAS DE FLORESTAS DE EUCALIPTO NO VALE DO JEQUITINHONHA EM IMAGENS DO GOOGLE EARTH®	
Lais Barbosa Teodoro Gadioli Vinícius Leonardo Gadioli da Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3791923093</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
USO DE IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT NO ESTUDO TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA NO RASO DA CATARINA	
Uldérico Rios Oliveira Patrícia Lustosa Brito Mauro José Alixandrini Júnior Júlio César Pedrassoli Ricardo Lustosa Brito	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3791923094</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO AO PLANEJAMENTO URBANO	
Madjany Modesto Pereira José Eduardo de Carvalho Lima Sávio de Brito Fontenele	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3791923095</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>56</b>
MODAL ÔNIBUS NA CIDADE DE MOGI GUAÇU/SP - ESTUDO E PROPOSIÇÕES	
Antoniane Arantes de Oliveira Roque Luiz Carlos Rossi	
<b>DOI 10.22533/at.ed.3791923096</b>	
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>69</b>
VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALTITUDES EM LEVANTAMENTO DE DEFEITOS EM	

PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS COM AUXÍLIO DE VANT

Paulo de Souza Lima Neto  
Francisco Heber Lacerda de Oliveira  
Arielle Elias Arantes  
Daniel Dantas Moreira Gomes

DOI 10.22533/at.ed.3791923097

**CAPÍTULO 8 ..... 78**

ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE URBANA PELO MODELO PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA E PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO

Camila Frandi Cecagno  
Vinícius Marques Müller Pessôa  
Danilo Mangaba de Camargo  
Mara Lúcia Marques

DOI 10.22533/at.ed.3791923098

**CAPÍTULO 9 ..... 89**

ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO E A TRANSMISSÃO DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS – PARÁ

Alcione Ferreira Pinheiro  
Ricardo José de Paula Souza e Guimarães  
Gabriella Ferreira Damasceno Santiago  
Sergio Luís Barbosa da Silva  
Edna Aoba Yassui Ishikawa  
Alessandra Rodrigues Gomes

DOI 10.22533/at.ed.3791923099

**CAPÍTULO 10 ..... 97**

ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE FATORES SOCIOAMBIENTAIS E O NÚMERO DE CASOS DE DOENÇA DE CHAGAS NO AMAZONAS, BRASIL

Eric Delgado dos Santos Mafra Lino  
Raquel Aparecida Abrahão Costa e Oliveira  
Samanta Cristina das Chagas Xavier

DOI 10.22533/at.ed.37919230910

**CAPÍTULO 11 ..... 108**

CONFIGURAÇÃO E SIGNIFICADO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS MAIORES DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL

William Medina Leite Féres  
Pedro Angelo Almeida Abreu

DOI 10.22533/at.ed.37919230911

**CAPÍTULO 12 ..... 121**

USO DE PROJEÇÕES RCP 4.5 / RCP 8.5 E ÍNDICE DE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA (IVC) PARA MONITORAMENTO DA DESERTIFICAÇÃO EM MUNICÍPIOS DO SERTÃO PERNAMBUCANO, BRASIL

Rayanna Barroso de Oliveira Alves  
Hernande Pereira da Silva  
José Coelho de Araújo Filho  
Marco Antonio de Oliveira Domingues  
Jones Oliveira de Albuquerque

DOI 10.22533/at.ed.37919230912

<b>CAPÍTULO 13</b> .....	<b>132</b>
ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE SÃO FÉLIX DO XINGU – PA ENTRE 2008 A 2017	
<a href="#">Clodoaldo Marques da Costa</a> <a href="#">Paulo Rodrigues de Melo Neto</a> <a href="#">Yara Soares Sales de Barros</a> <a href="#">Brenda Cunha Pereira</a> <a href="#">Cinthia Pereira de Oliveira</a> <a href="#">Bianca Caterine Piedade Pinho</a> <a href="#">Beatrice Christine Piedade Pinho</a> <a href="#">Débora Aquino Nunes</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37919230913</b>	
<b>CAPÍTULO 14</b> .....	<b>141</b>
DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE FOCOS DE QUEIMADA NO MUNICÍPIO DE SÃO FÉLIX DO XINGU – PA ENTRE OS ANOS DE 2008 A 2017	
<a href="#">Paulo Rodrigues de Melo Neto</a> <a href="#">Clodoaldo Marques da Costa</a> <a href="#">Yara Soares Sales de Barros</a> <a href="#">Brenda Cunha Pereira</a> <a href="#">Cinthia Pereira de Oliveira</a> <a href="#">Bianca Caterine Piedade Pinho</a> <a href="#">Beatrice Christine Piedade Pinho</a> <a href="#">Débora Aquino Nunes</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37919230914</b>	
<b>CAPÍTULO 15</b> .....	<b>152</b>
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM PALMAS-TO	
<a href="#">Érika Gonçalves Pires</a> <a href="#">Gabriel Alves Veloso</a>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.37919230915</b>	
<b>SOBRE O ORGANIZADOR</b> .....	<b>161</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>162</b>

## SENSORIAMENTO REMOTO E ANÁLISE ESPACIAL: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA O MAPEAMENTO DOS SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA

### **Patrick Calvano Kuchler**

KUCHLER, C. Patrick  
PPGMA, UERJ, Rio de Janeiro  
22460-00, Brazil, TETIS, CIRAD,  
AgroParisTech, Montpellier, France

### **Margareth Simões**

PPGMA, UERJ, Rio de Janeiro, 22460-00, Brazil  
EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, Brazil

### **Agnès Begué**

TETIS, Univ Montpellier, CIRAD, IRSTEA  
AgroParisTech, CNRS, Montpellier, France

### **Rodrigo Peçanha**

EMBRAPA Solos, Rio de Janeiro, Brazil

### **Damien Arvor**

CNRS, UMR LETG-Rennes

**RESUMO:** No ano de 2009, o Governo do Brasil apresentou o Plano de Agricultura de Baixa Emissão de Carbono, cujo objetivo é a organização de ações para a adoção de tecnologias de produção de alimentos alinhadas aos compromissos de redução de emissões de GEE. Entre diversas práticas destaca-se a implementação da integração lavoura-pecuária (iLP). No entanto, a falta de procedimentos de monitoramento limita a governança do Plano. Os sistemas iLP podem ser adotados em duas abordagens distintas: Inter-anual e intra-anual. Este artigo tem como objetivo utilizar dados provenientes de sensoriamento remoto para

identificar áreas de iLP na abordagem inter-anual no estado do Mato Grosso, na contribuição de um protocolo de monitoramento. Com o resultado, identificou-se que a implantação dos iLP tem seu auge em 2016 quando chega a 5% de toda área de agricultura e pecuária do estado do Mato Grosso.

**PALAVRAS-CHAVE:** iLP, Algebra de Mapas, Mato Grosso.

### REMOTE SENSING AND SPATIAL ANALYSIS: A CONTRIBUTION TO MAPPING INTEGRATED SYSTEMS OF AGRICULTURAL PRODUCTION

**ABSTRACT:** In 2009, the Government of Brazil presented the Low Carbon Agriculture Plan, whose objective is the organization of actions for the adoption of food production technologies in line with commitments to reduce GHG emissions. Among several practices it is worth mentioning the implementation of crop-livestock integration (iLP). However, the lack of monitoring procedures limits the governance of the Plan. ILP systems can be adopted in two different approaches: Inter-annual and intra-annual. This article aims to use data from remote sensing to identify areas of iLP in the inter-annual approach in the state of Mato Grosso, in the contribution of a monitoring protocol. With the result, it was identified that the implantation of the iLP has its peak in 2016 when it reaches 5% of all

agricultural and pasture area of the state of Mato Grosso.

**KEYWORDS:** iLP, Map Algebra, Mato Grosso.

## 1 | INTRODUÇÃO

Durante a 17<sup>a</sup> Conferência das Partes (COP-17), foi publicado pela Convenção-Quadro da Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (UNFCCC, sigla em inglês) que cerca de 50% das emissões dos GEE no mundo eram provenientes de 5 países. Nesta mesma conferência, o Brasil entrou no ranking como sexto maior país emissor, sendo que diferentemente dos outros países, a maior parte das emissões é referente à agropecuária e desmatamento. Paralelamente, as projeções globais da FAO para 2050 indicam um crescimento populacional ainda significativo, indicando que a produção mundial de alimento deverá aumentar cerca de 70% em relação à produção de 2005 para atender a demanda. Este cenário gera incertezas na perspectiva das mudanças climáticas globais, pressões em recursos ambientais locais e regionais e também na segurança alimentar em escala global, impondo grande desafio para os países produtores de alimentos no desenvolvimento de métodos e técnicas eficientes no tripé da sustentabilidade.

Como fruto do compromisso junto com a ONU, o Brasil assumiu voluntariamente na COP15 ocorrida em Copenhague, no ano de 2009, o compromisso de redução da emissão de GEE entre 36,1% e 38,9% até 2020. Neste momento, foram propostas algumas ações, dentre as quais, na área agrícola, teve grande foco na recuperação de pastagens degradadas e a promoção de sistemas integrados, sendo a integração lavoura-pecuária (iLP) e a lavoura-pecuária e floresta (iLPF), dando origem ao plano setorial de mitigação das mudanças climáticas para a agricultura, o chamado plano ABC. Diversos produtores rurais já estão se adequando nestas iniciativas e contam com linhas de crédito específicos.

O iLPF pode ser caracterizado pelo sistema consorciado entre cultura, floresta comercial e pasto. A floresta é plantada em linhas e entre elas são rotacionadas as culturas e pasto. O iLP é baseado em consórcio, sucessão de culturas e rotação, onde sempre terá que haver o elemento pastagem. Neste tipo de sistema, a pastagem é intercalada com a cultura, ou vice-versa em uma abordagem intra-anual, inter-anual ou ambas, apresentando uma grande complexidade em termos de tipos de arranjos possíveis. Um ponto em destaque no plano ABC se refere ao desafio de criar mecanismos efetivos para monitorar e acompanhar o desenvolvimento dessas ações propostas, mecanismos estes, que sejam capazes de comprovar o cumprimento dos compromissos firmados (MAPA, 2012).

### 1.1 Área de Estudo

O estado do Mato Grosso tem 903.357,908 km<sup>2</sup> de extensão, é o terceiro maior estado do país, ficando atrás somente do Amazonas e do Pará. A área urbana é de

519,7 km<sup>2</sup>, o que coloca o estado em 11º lugar no ranking de estados com maior mancha urbana (Governo do estado do MT, 2018).

O estado tem expressivos rios em três grandes bacias hidrográficas brasileiras: Bacia Amazônica, Bacia Platina e Bacia do Tocantins, sendo o planalto dos Parecis, que ocupa toda porção centro-norte do território, o principal divisor de águas do estado.

As principais sub-bacias do estado são: Sub-bacia do Guaporé, Sub-bacia do Aripuanã, Sub-bacia do Juruena-Arinos, Sub-bacia do Teles Pires e Sub-Bacia do Xingu. Os rios pertencentes a Bacia Amazônica drenam 2/3 do território mato-grossense.

O estado apresenta sensível variedade de climas. Prevalece o tropical super-úmido de monção, com elevada temperatura média anual, superior a 24° C e alta pluviosidade (2.000mm anuais); e o tropical, com chuvas de verão e inverno seco, caracterizado por médias de 23°C no planalto. A pluviosidade é alta também nesse clima: excede a média anual de 1.500mm (IBGE, 2016).

Com a presença de três biomas: Amazônico, Pantanal e Cerrado, a porção central do estado, onde se encontram principalmente áreas de consolidação da agricultura, se encontra a floresta de transição, cuja densidade de árvores e diversidade de espécies é menor que a encontrada na floresta densa. Esta região central em termos geomofológicos encontra-se na Bacia do Alto Xingu, com relevo característico do Planalto Residual do Norte de Mato Grosso e Planalto dos Parecis (LACERDA-FILHO, 2004).

Segundo do IBGE (2015), cerca de 93,8% das áreas agrícolas do estado do Mato Grosso correspondem a 6 principais de padrões de cultivo: Soja-Milho, Soja-Algodão, Algodão-Alqueivado, Soja-Fava, Soja-Pastagem, e Cultura Única (por exemplo, Algodão- Algodão, Cana-de-Açúcar).

Um estudo feito por J. Gil et al. (2015) mapeou por meio de entrevista de 134 produtores e especialistas em um período de 6 meses extraiu onde já havia implementação dos sistemas integrados (SI) no estado do MT para o ano de 2012 e 2013. É apresentado um valor baixo ainda de implementação para estes anos. Ela apresenta a quantidade implementada em um mapa por municípios do estado. Os municípios que apresentam maior concentração são os de Sinop, Campo Novo do Parecis e Canarana, com aproximadamente 11 SI já implementados, seguido de Sorriso com cerca de 10 SI. Segundo J. Gil et al. (2015), 89% das implementações de SI foram baseados em iLP, 5% iPF, 5% iLPF e 1% iLF. ARVOR et.al (2011) percorreu em trabalho de campo entre os ano-safra 2005/2006 e 2006/2007 1920 parcelas em 50 fazendas de produção agrícola no estado do MT, na área percorrida, não foi encontrado SI iLPF para nenhum dos dois anos, já para os sistemas iLP, foram encontrados 25 SI no ano 2005/2006 e 67 para o ano 2006/2007 em 4 padrões, a saber: Soja em plantio com brachiaria, soja, milho com brachiaria, milho com brachiaria, soja, milheto e brachiaria. Todos estes sistemas iLP são identificados dentro

da lógica inter-anual, com estes dados não foi possível identificar os sistemas intra-anual pelo fato de não haver série histórica suficiente para identificar as mudanças de uso ao longo do tempo. Cerca de 50% destes sistemas iLP são representados pela integração da soja como primeira cultura e a brachiaria como segunda cultura que se estende para a cultura de inverno. Com os dados disponíveis até o momento, considera-se extremamente difícil considerar a detecção por SR os SI que apresentam o componente florestal, dada a possível falta de representatividade para este tipo de integração.

Dados publicados em 2018 no portal *Pangaea* que disponibiliza os dados do mapeamento de tipos de cultura entre os anos de 2001 e 2017 no estado do MT com as seguintes classes e seus respectivos coeficientes de acurácia: Cerrado (99%), Pousio-Algodão (100%), Floresta (99%), Pasto (95%), Soja-Milho (87%), Soja-Algodão (99%), Soja-Pousio (100%), Soja-Milheto (84%), e soja Girassol (85%) (Câmara et al., 2018).

Como estes dados são anuais, aqui parte-se da premissa, que se uma mesma área que fez algum tipo de rotação ou sucessão de culturas em abordagem inter-anual, ou seja, realizou o plantio em determinados anos e intercalou com outros anos de pastagem, seriam fortes candidatos a estar praticando algum tipo de SI, ou recuperando pastagem com agricultura. Com estes dados também é possível analisar a dinâmica de intensificação da agricultura no estado.

Partindo desta premissa o objetivo deste trabalho é o mapeamento de áreas que implementaram SI do tipo iLP em abordagem inter-anual no estado do Mato Grosso.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O mapeamento de culturas anuais publicado pelo *Pangaea* foi realizado utilizando classificação supervisionada com o algoritmo SVM (*Support Vector Machine*) em séries temporais de índices de vegetação e bandas separadas do sistema de sensores MODIS para o produto MOD13Q1 que tem intervalo de 16 dias, totalizando 23 imagens por ano.

Foram realizadas álgebras espaciais para cada camada matricial dos tipos de cultura, resultados da classificação do *Pangaea*. Todas as culturas foram agrupadas afim de criar duas classes que são coerentes para o iLP, a pastagem e qualquer tipo de cultura. De forma geral, os iLP no MT seguem com um mesmo uso, seja pasto ou cultura em torno de 3 anos. Por este motivo foram criadas janelas temporais de 5 anos formando 06 grupos: 2008-2012, 2009-2013, 2010-2014, 2011-2015, 2012-2016, 2013-2017.

Com este procedimento, foi possível identificar cada píxel que tenha sido intercalado com cultura e pasto nos últimos 5 anos. Para fins de representação e análise da dispersão da implementação, foi utilizado o índice de densidade *Kernel*. Também foram gerados valores com a quantidade de área de cultivo e pastagem

para cada janela de 5 anos, assim como a porcentagem das áreas candidatas a SI do tipo iLP Inter-anual.

### 3 | RESULTADOS

Entre os anos avaliados, foi identificado um aumento das áreas de iLP inter-anual implementadas no estado, sendo o seu pico entre os anos 2012-2016. É possível observar uma dispersão espacial das áreas implementadas a cada período e também identificar a importância das Unidades de Referência Tecnológica (URT) da Embrapa. As URTs são observatórios tecnológicos onde são realizados experimentos da rede iLPF entre equipes da Embrapa e parceiros.

No início da série a área com maior concentração ocorreu onde existe a unidade da Embrapa Agrosilvipastoril (Fig.01). As maiores concentrações se apresentam na região de Sinop e Alto Araguaia para o período 2009-2013. Já no período 2010-2014 Sinop e Alto Araguaia ainda apresenta alta concentração, mas a região de Canarana e Norte Araguaia começa a apresentar grande importância. Regiões como Colider, Aripuan e Arinos começam a apresentar zonas com este tipo de intensificação. Vale ressaltar que a região de Sinop com 03 URTs apresentam duas com alto índice de concentração e uma sem implementação significativa ainda.

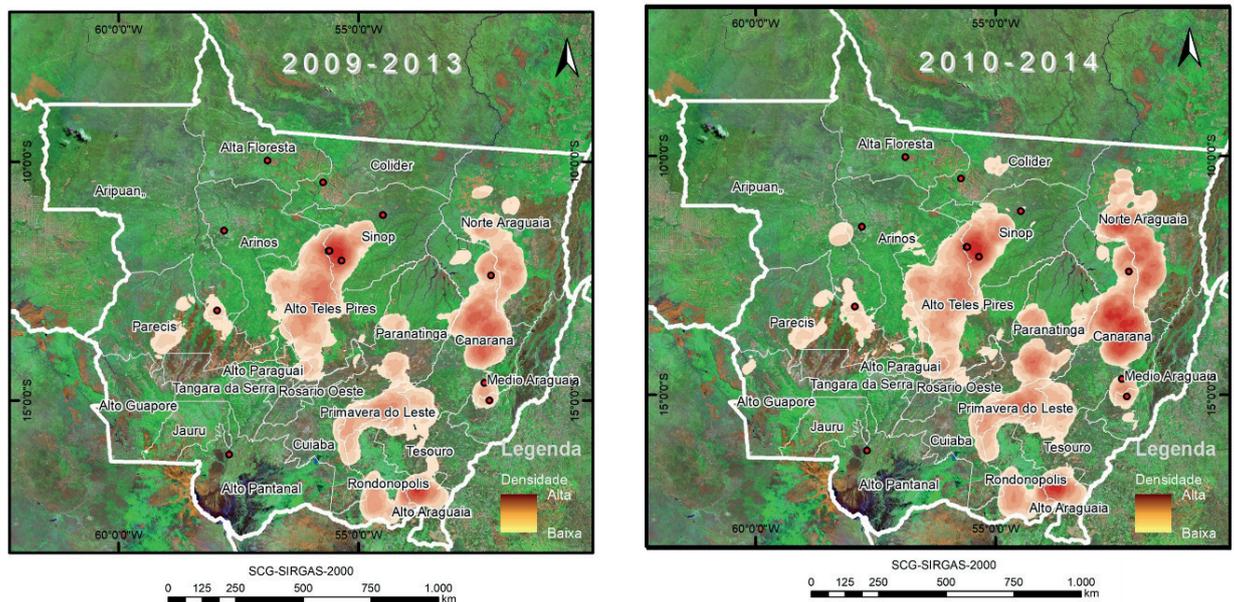


Figura 1. Índice Kernel Estado do Mato Grosso entre os períodos 2009-2013 e 2010-2014.

Para os cenários de 2011-2015 e 2012-2016, as três URTs de Sinop já apresentam cobertura com concentração de áreas implementadas e há um grande destaque para a região de Colíder que ganha grande importância para o cenário de 2012-2016. Neste cenário, Sinop já não se apresenta como a região com maior concentração, ficando abaixo de Canarana, Norte Araguaia, Colíder, Alto Teles Pires

e Alto Araguaia. Este último se apresenta com altos índices de concentração em todos os períodos.

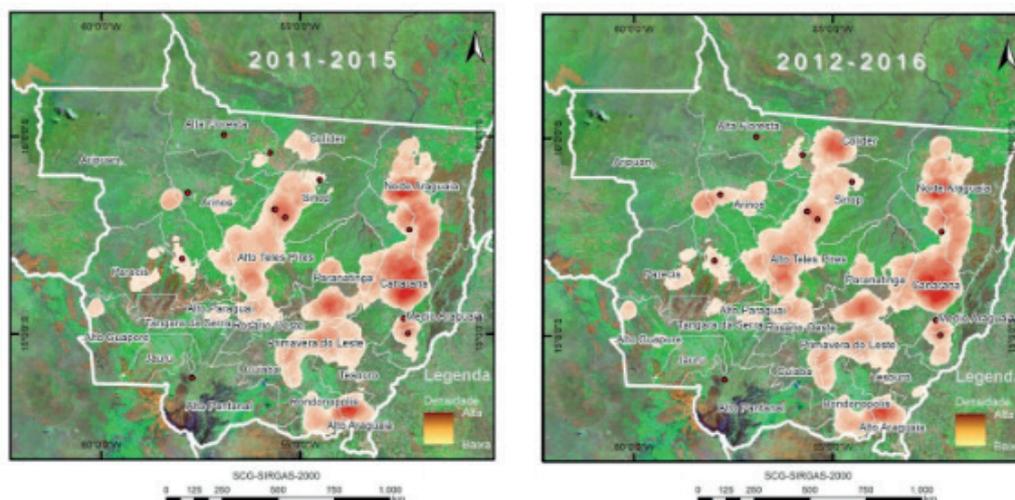


Figura 2. Índice Kernel Estado do Mato Grosso entre os períodos 2011-2015 e 2012-2016.

O último cenário que corresponde aos anos entre 2013-2017 apresenta uma dispersão significativa dos sistemas integrados, onde as regiões correspondentes as URTs são cobertas por áreas de concentração de SIs com excessão das URTs de Alta Floresta e Alto Pantanal. Neste último cenário as regiões de Canarana, Alto Araguaia e Colider apresentam as maiores concentrações.

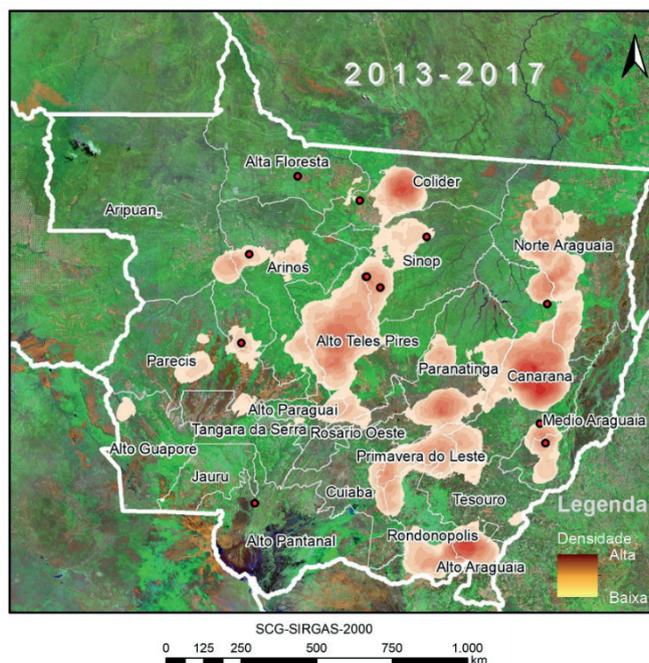


Figura 3. Índice Kernel Estado do Mato Grosso.

As culturas anuais mais expressivas no estado do MT no período estudado,

foram Soja+Milho, Soja+Milheto e Soja+Algodão. As pastagens continuam com grande predominância no uso do solo do estado. No período estudado, os usos agrícolas tiveram crescimento de áreas cultivadas, com destaque para o cultivo de algodão na segunda safra. As áreas de integração de lavoura com pastagem também apresentam um crescimento significativo, variando de 3% do total de áreas de agricultura e pecuária a 5% deste total (Fig. 4). A medida que as áreas de lavoura e iLP crescem, inversamente as áreas de pastagem tem uma diminuição de área no estado, indicando um caminho de intensificação da agropecuária em sistemas integrados.

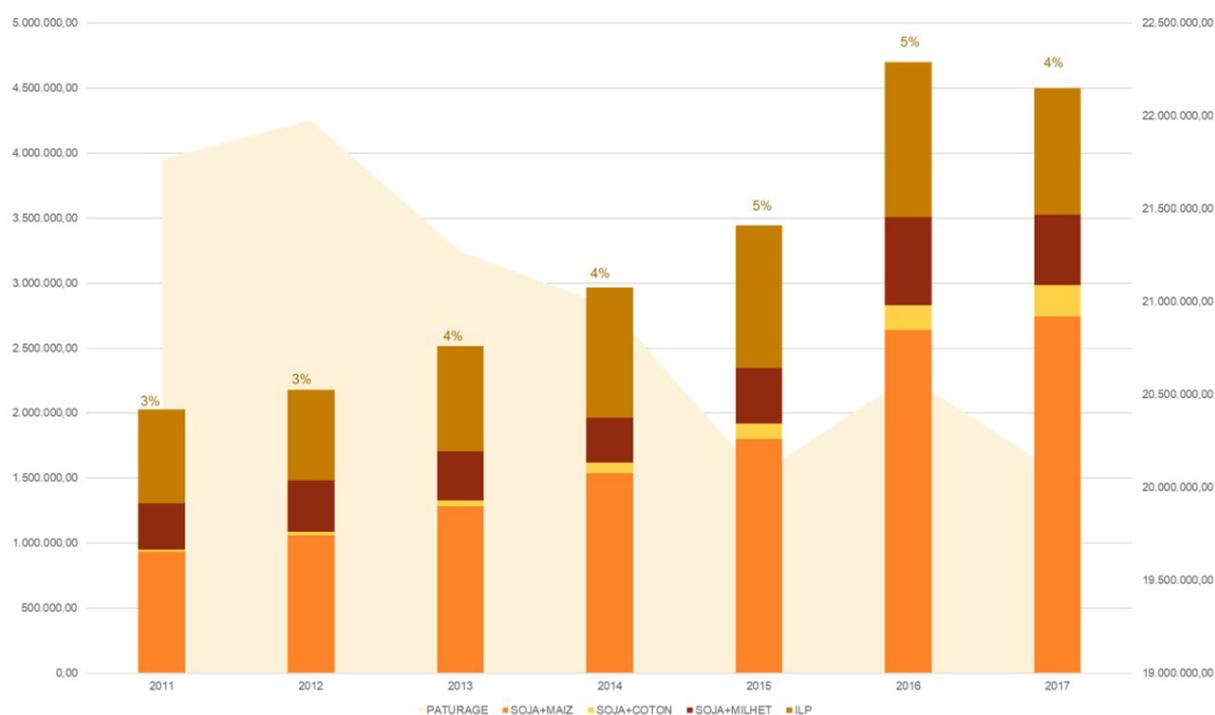


Figura 4: Gráfico representando o crescimento das áreas de cultivo e diminuição da área de pastagem. A porcentagem de iLP é calculada referente ao total de área de lavoura e pecuária no estado. O eixo a esquerda apresenta a área em ha do acumulado de pastagem. O eixo da direita apresenta o acumulado das áreas agrícolas e iLP.

## 4 | DISCUSSÃO

A implantação do iLP a partir de 2008 representava uma proporção em torno de 3% do total da área de agricultura e pecuária que obtem seu auge nos períodos de 2010-2015 e 2011-2016 que chega a 5% da implementação de iLP. Os resultados apresentam uma influência forte inicialmente das áreas de transferência tecnológica, as URTs como uma rede fundamental disseminadora deste tipo de manejo. Ao longo do tempo é possível identificar que as práticas de iLP se difundem pelo estado e as áreas com URT deixam de ser as regiões com maior concentração.

## 5 | CONCLUSÕES

O plano ABC, mesmo depois de 10 anos de iniciada as atividades ainda não detém um protocolo metodológico para monitorar sua implementação. Poucos estudos existem ainda nessa direção, GIL (2013) e iCL in Numbers (2017) são os únicos estudos que fazem um panorama geral das implementações com base em entrevistas. Entende-se que o Sensoriamento Remoto seria a forma mais factível para o acompanhamento desta iniciativa. O projeto que gerou os dados publicados no Pangaea tem grande potencial de se transformar um programa contínuo de mapeamento dos sistemas agrícolas no estado do Mato Grosso. Neste sentido, os dados derivados de Sensoriamento Remoto, com a aplicação de álgebras de mapas pode ser o início de um protocolo de mapeamento dos sistemas de integração de lavoura-pecuária em uma abordagem inter-anual.

## 6 | AGRADECIMENTOS

O autor principal recebeu bolsa de estudos do Projeto Capes-Cofecub GeoABC (Metodologias e Inovação Tecnológica para Monitoramento por Satélite da Agricultura de Baixo Carbono em Apoio ao Plano ABC do Brasil, projeto nº 845/15). Agradecemos à Unidade CIRAD-TETIS pela estadia acolhedora em Montpellier-Fr e ao apoio metodológico e o projeto europeu H2020-MSCA-RISE-2015 ODYSSEA (Referência do Projeto: 691053) para apoiar as visitas terrestres e as equipes da EMBRAPA Agrosilvipastoril e Embrapa Labex Europa.

## REFERÊNCIAS

Almeida, C., Coutinho, A., Esquerdo, J., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C., Dessay, N., Durieux, L., Gomes, A., 09 2016. **High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data.** Acta Amazonica 46, 291 – 302.

Apan, A.; Potgieter, A. **Using satellite imagery in determining winter crop area planted in support of regional commodity forecasting: a case study of the Darling Downs, Queensland.** Toowoomba, Australia: Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, 2002. 31 p. Disponível em: . Acesso: 20 jan. 2017.

Arvor D., Dubreuil V., Meirelles M.S.P., Bégué A., 2013. **Mapping and spatial analysis of the soybean agricultural frontier in Mato Grosso, Brazil, using remote sensing data.** GeoJournal, Vol. 78 N° 5, pp. 833-850.

Arvor D, Meirelles M. S. P., Dubreuil V., Shimabukuro Y. E., Bégué A., 2012. **Analysing the agricultural transition in Mato Grosso, Brazil, using satellite-derived indices.** Applied Geography, Vol. 32, N° 2, pp. 702-713.

Arvor D, Jonathan, M.; Meirelles, M. S. O. P.; Dubreuil, V.; Durieux, L. , 2011. **Classification of MODIS EVI timeseries for crop mapping in the state of Mato Grosso, Brazil.** International Journal of Remote Sensing, Vol. 32, N° 22, pp. 7847 – 7871.

Baatz M.; Schäpe, A. 1999. **Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high**

**quality multi-scale image segmentation.** Disponível: <http://www.ecognition.com/category/related-tags/definiens-ecognition> [capturado em 18 jan., 2018].

Brasil 2011, **Sectoral plan for climate mitigation and adaptation**, Ministry of Agriculture, Livestock and Food Supply. Brasília-DF, Brasil.

Breiman, L. **Machine Learning** (2001) 45: 5. Disponível: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324> [capturado em 10 agost., 2017].

Brooks, E.B., Wynne, R.H., Thomas, V.A., Blinn, C.E., Coulston, J.W., 2014. **On-the-fly massively multitemporal change detection using statistical quality control charts and Landsat data.** IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 52 (6), 3316–3332.

Câmara, Gilberto; Picoli, Michelle; Simoes, Rolf; Maciel, Adeline; Carvalho, Alexandre; Coutinho, Alexandre; Esquerdo, Julio; Antunes, Joao; Begotti, Rodrigo; Arvor, Damien. 2017. **Land cover change maps for Mato Grosso State in Brazil: 2001-2016**, links to files. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.881291>.

Chen, Y., Dengsheng, L., Emilio Moran, Mateus Batistella, Luciano Vieira Dutra, Ieda Del'Arco Sanches, Ramon Felipe Bicudo da Silva, Jingfeng Huang, Alfredo José Barreto Luiz, Maria Antonia Falcão de Oliveira, 2018. **Mapping croplands, cropping patterns, and crop types using MODIS timeseries data.** Int J Appl Earth Obs Geoinformation. V. 66 (2018) pp. 133-147.

Chen, J.; Jönsson, P.; Tamura, M.; Gu, Z.; Matsushita, B.; Eklundh, L., 2004. **A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter.** Remote Sensing of Environment, Vol. 91, N° 3, pp. 332 – 344.

Cutler, D.R.; Edwards, T.C.; Beard, K.H.; Cutler, A.; Hess, K.T.; Gibson, J.; Lawler, J.J., 2007. **Random forests for classification in ecology.** Ecology, 88, 2783–2792.

Cohn A, Bowman M, Zilberman D, O'Neill K. 2011. **The Viability of Cattle Ranching Intensification in Brazil as a Strategy to Spare Land and Mitigate Greenhouse Gas Emissions.** CCAFS Working Paper no. 11.

Dutrieux, L.P., Bartholomeus, H., Herold, M., Verbesselt, J., 2012. **Relationships between declining summer sea ice, increasing temperatures and changing vegetation in the Siberian Arctic tundra from MODIS time series (2000–11).** Environ. Res. Lett. 7 (4), 044028

Du, Y., Zhang, Y., Ling, F., Wang, Q., Li, W., Li, X., 2016. **Water bodies mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10- m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band.** Remote Sensing. Vol. 8, pp. 354-362.

ESA. European Spatial Agency. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/sentinel-data-access> [acessado em 22/09/2017].

Fensholt, R., Proud, S.R., 2012. **Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends-Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series.** Remote Sens. Environ. 119, 131–147.

Fernández-Manso, A., Fernández-Manso, O., Quintano, C., 2016. **SENTINEL-2A red-edge spectral indices suitability for discriminating burn severity.** Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. Vol. 50, pp. 170–175.

Formaggio, A. R., Epiphanyo, J. C. N. **Características espectrais de culturas e rendimento agrícola.** São José dos Campos: INPE, 1990. 178 p. (I)

Picoli, Michelle Cristina Araujo et al. 2018. **Big Earth Observation Time Series Analysis for Monitoring Brazilian Agriculture**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 145: 328–39.

## APLICAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DOS NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DE PASTAGENS

### **Mateus Benchimol Ferreira de Almeida**

Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente (PPGMA), Doutorado Multidisciplinar  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Margareth Simões**

Embrapa Solos. Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Faculdade de Engenharia, Departamento de Engenharia de Sistemas e Computação UERJ/FEN/DESC/PPGMA. Rio de Janeiro – RJ, Brasil

### **Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz**

Embrapa Solos. Rio de Janeiro – RJ, Brasil

**RESUMO:** A degradação de pastagens é um problema global, porém tem particular importância no Brasil, considerando que o país afigura-se o título de um dos maiores produtores de carne do mundo. Desse modo, a localização, detecção e identificação para a posterior recuperação das pastagens degradadas é uma mais-valia para a pecuária, podendo contribuir significativamente nas receitas econômicas do país (PIB), além de apresentar também um viés ecológico, pois pastagens recuperadas se traduzem em florestas em pé, garantindo um meio ambiente equilibrado e propício para a própria pecuária. O presente estudo objetiva elaborar uma metodologia sistemática e coerente, com a finalidade de localizar, detectar,

identificar e mapear os diferentes níveis de degradação de pastagens por meio de técnicas advindas de Sensoriamento Remoto, com o uso de imagens de satélite Sentinel-2, dadas as suas características espectrais bastante promissoras. A área de estudo localiza-se no município de Valença, Vale do Paraíba, sendo uma região marcada por fortes degradações nas áreas de pastagens. De acordo com as características da área de estudo e com base na confrontação com a bibliografia consultada, as pastagens degradadas se classificam nos níveis N1, N2, N3 e N4, respectivamente leve, moderado, forte e muito forte. No presente estudo realizou-se correção atmosférica, NDVI, SAVI e Análise de Mistura Espectral (AME). Contudo, o NDVI e o SAVI apresentaram perfis temporais muito similares, não proporcionando separabilidade satisfatória entre os níveis de degradação das pastagens. A AME apresentou resultados bastante promissores, no entanto o grau de confiança somente será estabelecido após validação em campo. Essa validação ocorrerá tanto em período úmido como em período seco para que se compreendam os aspectos sazonais e fonológicos das pastagens degradadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pastagens degradadas, Sentinel-2, NDVI, SAVI, Análise de Mistura Espectral (AME).

## REMOTE SENSING APLICATION IN THE PASTURE DEGRADATION LEVELS STUDY

**ABSTRACT:** Degraded pastures are a global problem, but they have particular importance in Brazil, considering that the country has the title of one of the largest meat producers in the world. Thus, localization, detection and identification for the subsequent recovery of degraded pastures is an added value for livestock, and can contribute significantly to the country's economic income (GDP), as well as an ecological bias, as recovered pastures are translated in standing forests, ensuring a balanced environment conducive to livestock farming itself. The present study aims to develop a systematic and coherent methodology to locate, detect, identify and map the different levels of pasture degradation through Remote Sensing techniques using Sentinel-2 satellite images, given its spectral characteristics quite promising. The study area is located in the municipality of Valença, Paraíba Valley, being a region marked by strong degradations in pasture areas. According to the characteristics of the study area and based on the comparison with the bibliography consulted, the degraded pastures are classified as N1, N2, N3 and N4, respectively mild, moderate, strong and very strong. In the present study, atmospheric correction, NDVI, SAVI and Spectral Mixing Analysis (AME) were performed. However, NDVI and SAVI showed very similar temporal profiles, not providing satisfactory separability between levels of pasture degradation. The AME presented very promising results, however the degree of confidence will only be established after validation in the field. This validation will occur in both wet and dry periods to understand the seasonal and phonological aspects of degraded pastures.

**KEYWORDS:** Degraded Pastures, Sentinel-2, NDVI, SAVI, Spectral Mixture Analysis (SMA).

### 1 | INTRODUÇÃO

As pastagens degradadas têm sido uma grande preocupação no setor da pecuária a nível global, impactando diretamente na produtividade de carne, face a demanda alimentar que tem sido um problema cada vez mais evidente na atualidade. Estima-se que até o ano 2050 a população humana na Terra será de cerca de 9 bilhões de habitantes (UN, 2009). Segundo a FAO, a demanda de alimentos de origem animal a nível mundial aumentará nos próximos anos, devido o crescimento populacional e o aumento do consumo per capita (FAO, 2009). Em uma pastagem degradada a produção animal pode ser seis vezes menor do que numa pastagem em bom estado ou recuperada (MACEDO *et al.*, 2000). No Brasil, o pasto constitui a principal fonte de nutrição do gado (DIAS-FILHO *et al.*, 2015).

Assim, saber onde as pastagens degradadas estão localizadas e a que nível de degradação se encontram, é de grande importância em nível de planejamento agropecuário, pois constituirá numa ferramenta essencial aos tomadores de decisão, permitindo a execução de projetos de recuperação de pastagens, identificando zonas

prioritárias à intervenção. Desse modo, o Sensoriamento Remoto se apresenta como uma ferramenta indicada para essa tarefa, pois algoritmos de processamento digital de imagens mais eficazes e sensores cada vez mais poderosos têm revolucionado essa área do conhecimento científico. A presente pesquisa está inserida no projeto GeoABC (Metodologias e Inovações Tecnológicas e o Planejamento da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono em Apoio à Governança do Plano ABC) que atua na problemática do Plano ABC (Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura), e tem como objetivo avaliar métodos e técnicas inovadoras na área do Sensoriamento Remoto e integração de dados espaciais para o norteamo de sistemas de produção agrícola alinhados às políticas de baixa emissão de carbono na agricultura.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração da presente pesquisa foram necessários os seguintes materiais:

11 imagens Sentinel-2 livres de nuvens ou com baixa ocorrência, do período de dezembro de 2016 a setembro de 2018; Dados vetoriais (formato shapefile) do Brasil (fonte: IBGE, 2013); 12 pontos georreferenciados de coleta de pastagens degradadas nos níveis N1, N2, N3 e N4 (conforme a Figura 1), respectivamente, leve, moderado, forte e muito forte, da área de estudo, levantados nos períodos de 28 a 31 de agosto de 2017 (N1 e N4) e de 17 a 19 de outubro de 2017 (N2 e N3) (Cortesia do Dr. Fabiano Balieiro e do Dr. Guilherme Donagemma, Pesquisadores da Embrapa Solos); Software ArcGIS 10.5; Software ENVI 5.5; Microsoft Office Excel 2007.

A área de estudo da presente pesquisa corresponde a uma região de pastagens cultivadas no Vale do Paraíba, no município de Valença, no Estado do Rio de Janeiro (RJ), conforme a Figura 2. Nesta área encontra-se a Fazenda Santa Mônica (Fazenda Experimental da Embrapa) situada no distrito Barão de Juparanã, município de Valença (RJ) na qual já se encontra instalado um experimento de campo para a calibração das pastagens na respectiva área de estudo.

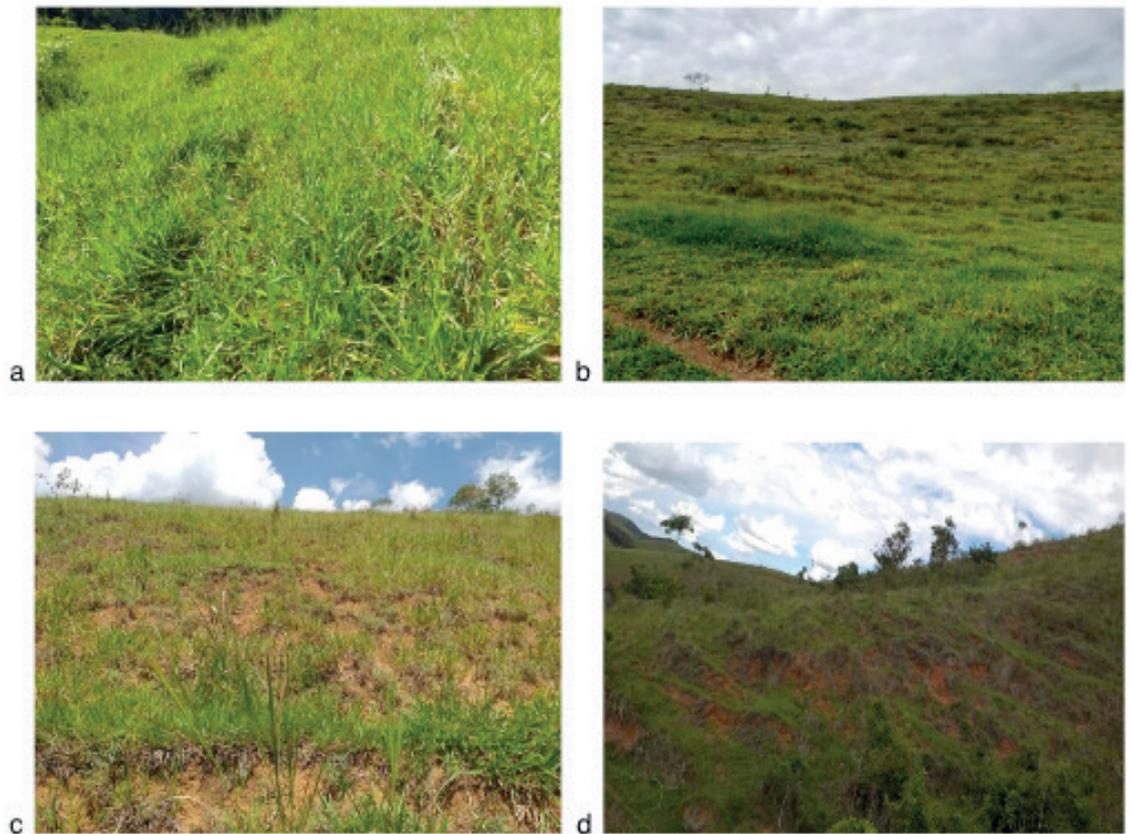


Figura 1: Níveis de degradação de pastagens – a) N1. b) N2. c) N3. d) N4.

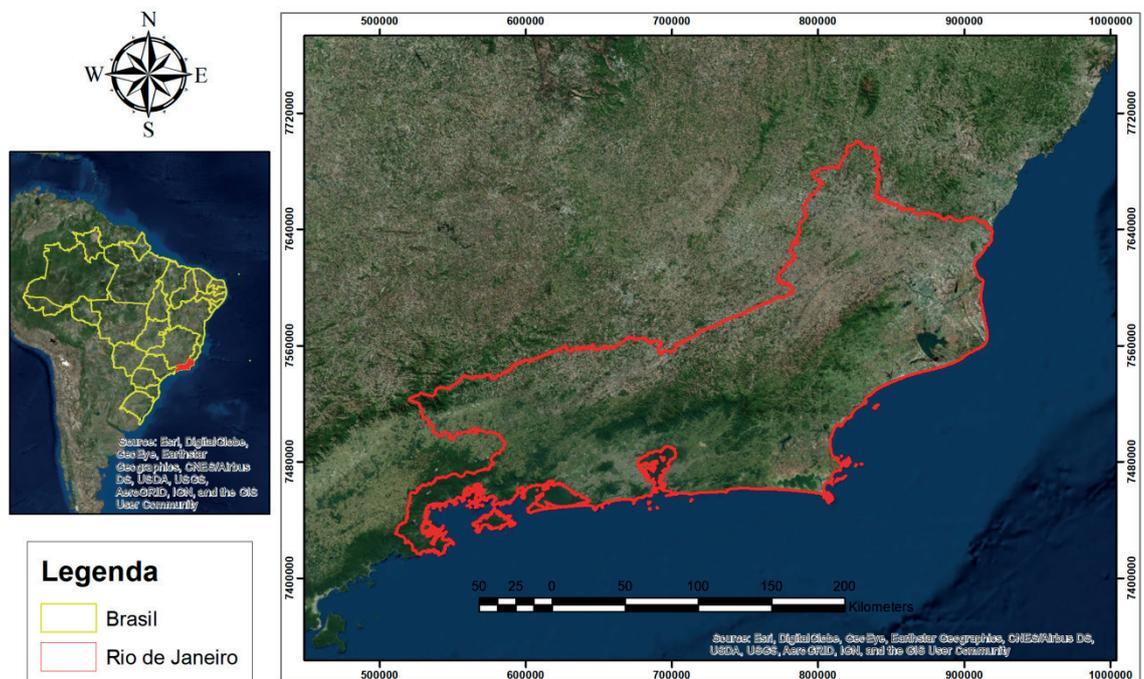


Figura 2: Mapa de localização da área de Estudo, situada no município de Valença, no Estado do Rio de Janeiro – Mapa elaborado pelos autores a partir das fontes: Globo digital do ArcGIS.

Na presente pesquisa utilizaram-se os seguintes métodos:

- Correção atmosférica das imagens Sentinel-2 pelo *plugin* Sen2Cor da Agência Espacial Europeia (ESA);

A correção atmosférica pelo Sen2Cor corresponde a um modelo de transferência radiativa que processa as imagens Sentinel-2 do nível L1C (ortoimagem em reflectância no topo da atmosfera) ao nível L2A (ortoimagem em reflectância de superfície) (ESA, 2018). O Sen2Cor realiza a correção atmosférica, a correção do terreno e a correção das nuvens cirros das imagens L1C para as imagens L2A (ESA, 2018). A correção atmosférica do Sen2Cor resulta como produto as seguintes bandas: B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8A, B11 e B12; sendo que na presente pesquisa, para uma melhor separabilidade dos alvos do terreno, selecionaram-se as seguintes bandas: B4, B5, B6, B7, B8A, B11 e B12. A correção atmosférica do Sen2Cor exige a reamostragem das imagens de saída para uma única resolução, quer seja, 10m, 20m ou 60m; sendo que na presente pesquisa selecionou-se a resolução de saída de 20m.

- Níveis de degradação de pastagens:

Os níveis de degradação de pastagens N1, N2, N3 e N4 são definidos em função das características das pastagens descritas por (DIAS-FILHO, 2015):

ED	Parâmetro limitante	QCS (%)	Nível
1	Vigor e solo descoberto	Até 20	Leve
2	Estádio 1 agravado + plantas invasoras	21 - 50	Moderado
3	Estádio 2 agravado ou morte das forrageiras (degradação agrícola)	51 - 80	Forte
4	Solo descoberto + erosão (degradação biológica)	> 80	Muito forte

Tabela 1 – estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda na capacidade de suporte (QCS), e nível de degradação (Nível).

Fonte : (DIAS-FILHO, 2015)

- Cálculo do NDVI;

O NDVI é um índice de vegetação relevante que permite representar a sazonalidade, fenologia, período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência da vegetação (PONZONI *et al.*, 2012). O NDVI se expressa pela seguinte fórmula matemática:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad ; \quad NDVI = \frac{B8A - B4}{B8A + B4}$$

onde a banda B8A corresponde à imagem na região do infravermelho-próximo e a banda B4 corresponde à imagem na região do vermelho do Sentinel-2. O NDVI é sensível em ecossistemas com baixa biomassa (como as pastagens), porém é

bastante afetado pelo solo (JENSEN, 2011). Por isso, achou-se útil calcular também o SAVI.

- Cálculo do SAVI;

O SAVI se expressa matematicamente pela seguinte fórmula:

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{nir}-\rho_{red})}{\rho_{nir}+\rho_{red}+L} ; SAVI = \frac{(1+1)(B8A-B4)}{B8A+B4+1}$$

onde L é uma constante com a finalidade de minimizar o efeito do solo, os valores variam de 0 a 1, sendo 1 para baixas densidades de vegetação, 0.5 para médias densidades e 0.25 altas densidades. Na presente pesquisa selecionou-se L=1, pois pastagens possuem baixas densidades de vegetação (PONZONI *et al.*, 2012; JENSEN, 2011).

- Análise de Mistura Espectral (AME).

A mistura espectral resulta devido a heterogeneidade dos alvos no terreno, sendo que a resposta dos pixel é uma média da resposta espectral dos alvos que estes cobrem no terreno. Análise de Mistura Espectral (AME) tem a finalidade de estimar a proporção dos componentes (pixels puros) da mistura espectral, para cada pixel das bandas selecionadas do sensor em questão, resultando assim, nas imagens-fração com o mesmo nome dos pixels puros. A AME requer a satisfação de duas condições básicas:

$$\sum_{i=1}^N F_i = F_1 + F_2 + \dots + F_N = 1 \quad (\text{EQ. 2.1})$$

$$DN_{\lambda} = F_1 DN_{\lambda,1} + F_2 DN_{\lambda,2} + \dots + F_N DN_{\lambda,N} + E_{\lambda} \quad (\text{EQ. 2.2})$$

onde  $DN_{\lambda}$  é o número digital de um determinado pixel na banda ;  $F_i$  são as proporções dos componentes puros no respectivo pixel;  $DN_{\lambda,i}$  são os componentes puros do respectivo pixel; e  $E_{\lambda}$  é o termo de erro (PONZONI *et al.*, 2012).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas 11 imagens Sentinel-2 corrigidas atmosféricamente pelo *plugin* Sen2Cor da ESA, foi possível elaborar o perfil temporal da Figura 3, a partir do qual observou-se o comportamento espectral e temporal dos diferentes níveis de degradação de pastagens (N1, N2, N3 e N4). A partir desse perfil temporal foi possível observar em que período havia uma melhor separabilidade dos diferentes

níveis de degradação de pastagens. Desse modo, observou-se que a imagem de 18 de fevereiro de 2017 apresentava uma melhor separabilidade dos diferentes níveis de degradação de pastagens. Assim, realizou-se o processamento da imagem de 18 de fevereiro de 2017 e da imagem de 06 setembro de 2017, essa última a mais próxima da data de coleta dos dados de campo, isto é, de 28 a 31 de agosto.

As fases posteriores de processamento dos dados consistiram no cálculo do NDVI, do SAVI e da Análise de Mistura Espectral (AME). A partir do cálculo do NDVI foi possível gerar um outro perfil temporal (Figura 4), permitindo uma observação de uma outra perspectiva dos níveis de degradação de pastagens, porém a separabilidade não foi muito eficiente. Uma vez que as pastagens são ecossistemas de baixa densidade de vegetação, achou-se oportuno calcular o SAVI, uma vez que esse índice de vegetação reduz a influência do solo nos valores das pastagens, porém o perfil temporal do SAVI foi muito similar ao perfil temporal do NDVI, não sendo ambos eficientes na separabilidade dos níveis de degradação de pastagens.

Posteriormente, com base nas imagens Sentinel-2 de fevereiro e de setembro, realizou-se a AME (de cada uma delas separadamente) que teve como componentes puros 3 pixel de pastagens degradadas no nível N1, 3 pixel no nível N4, 3 pixel de solo exposto e 3 pixel de água/sombra, com a finalidade de realizarem uma boa separabilidade dos diferentes alvos terrestres de interesse para a presente pesquisa. Desse modo, obtiveram-se as imagem-fração N1, N4, solo exposto e água/sombra. Assim, a imagem-fração N4 foi importada num SIG, onde se realizaram operações de análises espaciais com a ferramenta *Raster Calculator*, de modo a se localizar as regiões que apresentam maiores índices de degradação de pastagens no nível N4, vide Figura 5. Observou-se uma grande similaridade relativamente aos padrões das regiões degradadas nas imagens de fevereiro e de setembro.

A presente pesquisa ainda se encontra em andamento e os resultados ainda são preliminares, precisando estes últimos serem validados em campo para a apuração do grau de confiança dos mesmos. A validação ocorrerá no período úmido de outubro de 2018 e no período seco de julho de 2019, na área de estudo localizada no município de Valença, Vale do Paraíba, onde há ocorrência de degradações de pastagens nos diferentes níveis. Contudo, os estudos continuam, pois é necessário encontrar-se uma metodologia mais refinada que permita separar as pastagens nos níveis de degradação N1, N2, N3 e N4, algo que ainda não foi alcançado até o momento.

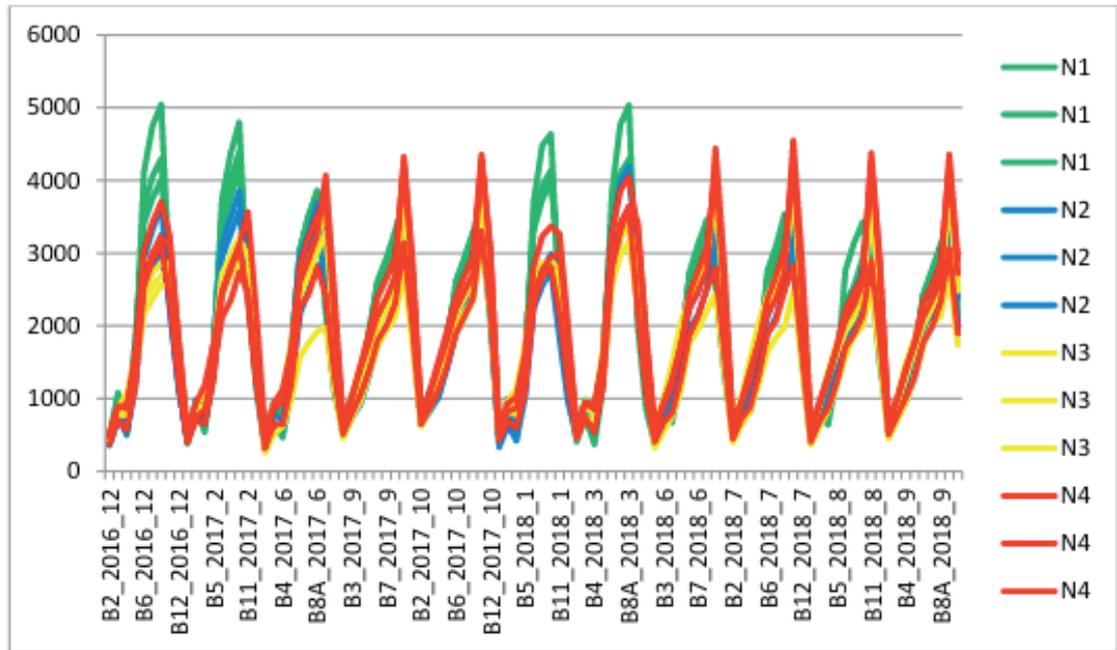


Figura 3: Perfil temporal das imagens Sentinel-2 corrigidas atmosféricamente pelo Sen2Cor no período de 2016/12 a 2018/09.

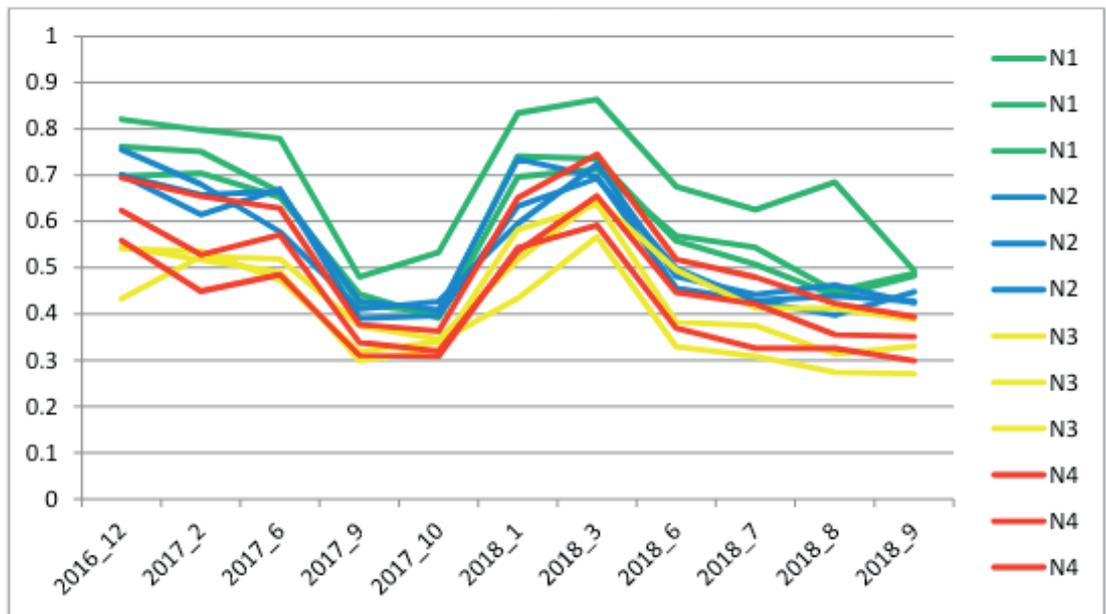


Figura 4: Perfil temporal do NDVI.

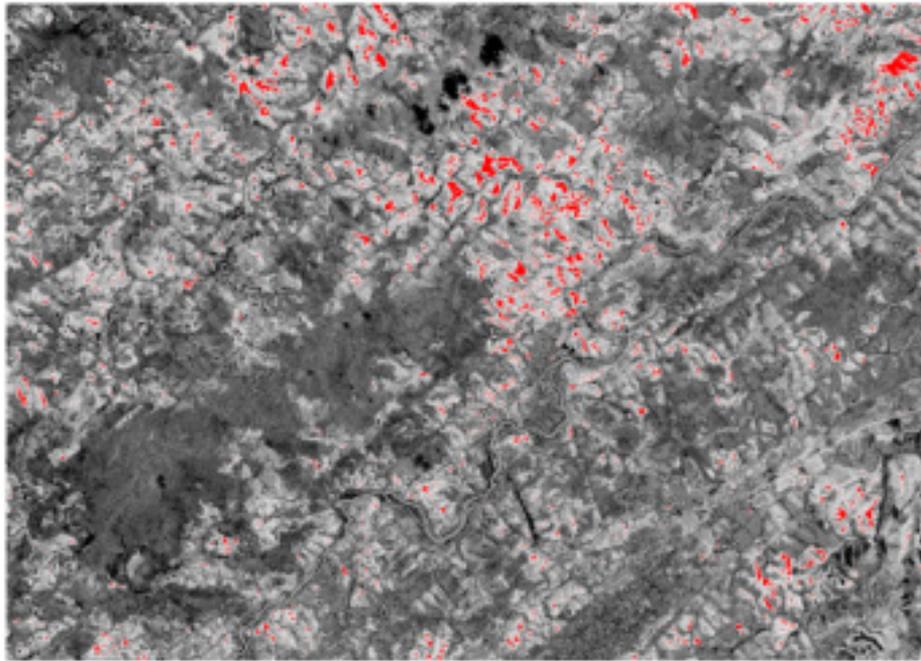


Figura 5. Imagem-fração N4 com as possíveis áreas de degradação de pastagens. As pastagens degradadas estão representadas em vermelho. Imagem original obtida no dia 06/09/2017.

#### 4 | CONCLUSÕES

No presente estudo, a metodologia proposta permitiu alcançar até o momento resultados promissores para a separabilidade dos diferentes níveis de degradação de pastagens N1, N2, N3 e N4, respectivamente leve, moderado, forte e muito forte, por meio da Análise de Mistura Espectral, com posterior validação em campo.

O NDVI e o SAVI (índices de vegetação) apresentaram perfis temporais muito similares entre si e, por si só, não apresentaram resultados eficientes na separabilidade dos níveis de degradação de pastagens, podendo estes, na continuidade dos estudos, serem cruzados com outros índices para a melhoria dos resultados. Estudos mais elaborados da percepção do fenômeno através da Análise de Mistura Espectral (AME) estão sendo realizados para uma melhor separabilidade da degradação das pastagens. As bandas da região do *red edge* B5, B6 e B7 do Sentinel-2, nas quais a vegetação verde apresenta um forte declive ascendente no seu comportamento espectral, estão sendo exploradas para a melhoria da separabilidade dos níveis de degradação de pastagens, assim como as bandas B11 e B12 que apresentam uma resposta espectral forte da vegetação seca.

O presente estudo ainda se encontra em fase de desenvolvimento, porém os resultados se mostram bastante promissores, principalmente pelos resultados alcançados pela Análise de Mistura Espectral.

Apesar de até o momento os resultados com os índices de vegetação não serem muito satisfatórios, pretende-se cruzá-los com outros índices biofísicos, de modo a permitirem a observação do problema a partir de outras perspectivas, podendo estes

virem a ser potencialmente interessantes, conforme apontam determinados estudos publicados em artigos científicos de revistas especializadas em Sensoriamento Remoto.

Além disso, sensores hiperespectrais como o EO-1 Hyperion (NASA) e o CHRIS-PROBA (ESA) possuem bancos de imagens que têm permitido o cálculo de índices hiperespectrais tais como o CAI (Índice de Absorção da Celulose) que cruzado com o NDVI permite a separabilidade da vegetação seca, vegetação verde e solo exposto, sendo que a vegetação seca é um forte indicador de pastagens degradadas.

Por fim, outras gerações vindouras de sensores hiperespectrais estão sendo desenvolvidas por agências espaciais, já tendo sido anunciadas pelas mesmas, de que num futuro próximo esses sensores estarão em órbita fornecendo imagens hiperespectrais. Esse feito permitirá a quebra de paradigma das barreiras limitantes da atualidade em Sensoriamento Remoto, abrindo novas janelas de possibilidades, impulsionando o desenvolvimento de novas técnicas de processamento digital de imagens, proporcionando uma maior diversidade de soluções em Sensoriamento Remoto.

## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de reconhecer o apoio financeiro do Programa Capes/Cofecub para o Projeto GeoABC (Nº845/15). Os autores também gostariam de reconhecer o apoio financeiro do Projeto BID Rural Sustentável. O autor principal gostaria de agradecer o Governo de Angola por intermédio do Ministério do Ensino Superior e do Consulado de Angola no Rio de Janeiro pela concessão de bolsa de estudo.

## REFERÊNCIAS

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de Pastagens: Processos, causas e estratégias de recuperação**. 4. Ed. Pará: Ed. do Autor, 2015.

ESA. European Spacial Agency. **Sen2Cor**. Disponível em: <<http://step.esa.int/main/third-party-plugins-2/sen2cor/>> acesso em 11 out. 2018.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **The state of food and agriculture: Livestock in the balance**. Roma, 2009.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2. Ed. São Paulo: Parêntese, 2011, 598 p.

MACEDO, M.C.M., KICHER, A.N., ZIMMER, A.H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens (Comunicado técnico)**. Embrapa Gado de Corte, Campo Grande, MS, 2000.

PONZONI, F. J., SHIMABUKURO, Y. E., KUPLISH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2.

ed. São Paulo: Oficina de textos, 2012. 160 p.

UN. UNITED NATIONS. **World population prospects: The 2008 revision**. New York, 2009.

## ANÁLISE DE BORDAS DE FLORESTAS DE EUCALIPTO NO VALE DO JEQUITINHONHA EM IMAGENS DO GOOGLE EARTH®

### Lais Barbosa Teodoro Gadioli

BSc Engenharia de Agrimensura. Pós-Graduada em Geoprocessamento e Georreferenciamento  
Professora no Instituto Federal do Norte de Minas Gerais - IFNMG - Campus Araçuaí, CEP 39600000 – Araçuaí – MG, Brasil  
lais.alves@ifnmg.edu.br

### Vinícius Leonardo Gadioli da Silva

BSc Engenharia Elétrica  
MSc Engenharia Agrícola  
viniciusgadioli.eng@gmail.com

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma comparação entre dois métodos para a detecção de bordas utilizando imagens orbitais do Google Earth no município de Itamarandiba - MG, cidade situada no Vale do Jequitinhonha, que contém vasto plantio de florestas de eucalipto. A técnica de processamento digital de imagens (PDI) utilizada neste trabalho consiste na detecção de bordas com o objetivo de delimitar a área de cultivo, por meio dos métodos baseados em gradiente: Sobel e Canny. As imagens foram processadas no software *Octave* por meio da implementação dos algoritmos de detecção de bordas baseados nos métodos de Canny e Sobel. Os resultados foram a delimitação das áreas de cultivo de eucalipto. O método de Canny acabou detectando bordas indesejadas causadas por texturas não uniformes na

imagem, fazendo com que o operador Sobel se tornasse mais eficiente, detectando apenas as bordas associadas à delimitação das áreas de cultivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processamento Digital de Imagens, Segmentação, Sobel, Canny.

### ANALYSIS OF EUCALYPTUS FORESTS IN THE VALLEY OF JEQUITINHONHA IN IMAGES OF GOOGLE EARTH®

**ABSTRACT:** This work presents a comparison between two methods for edge detection using orbital images from Google Earth in the region of Itamarandiba - MG, a city located in the Jequitinhonha Valley, which contains extensive eucalyptus forests. The digital image processing (DIP) technique used in this work, consists on edge detection using gradient-based methods: Sobel and Canny. The images were processed in the software *Octave* by means of the implementation of the algorithms of edge detection, with the objective of delimiting the area of cultivation, based on the methods of Canny and Sobel. The results were the delimitation of the areas of eucalyptus cultivation. The Canny's method eventually detected unwanted edges caused by non-uniform textures in the image, making the Sobel operator more efficient, detecting only the edges associated with the delimitation of the areas cultivation.

**KEYWORDS:** Digital image processing, edge detection, Sobel, Canny.

## 1 | INTRODUÇÃO

O uso do processamento digital de imagens consiste em ajustar as características visuais da imagem, fornecendo outras contribuições para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (GONZALEZ, 2010). A tecnologia de processamento digital de imagens vem atuando em diversas áreas, como: reconhecimento de padrões, análise de recursos naturais e meteorologia, análise de imagens biomédicas, análise de imagens metalográficas e de fibras vegetais, aplicações em automação industrial envolvendo o uso de sensores visuais em robôs, dentre outros (CASTRO, 2002).

Nas áreas e subáreas que englobam Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, ferramentas de processamento de imagens são de extremo interesse, pois servem de subsídio para diversos tipos de análises. Softwares e técnicas de processamento de imagens são aliados tanto na pesquisa quanto no desenvolvimento de equipamentos capazes para auxiliar nas soluções de problemas de engenharia nas áreas supracitadas (KAWAKUBO et al., 2011; RECESA, 2013).

De acordo com a especificação da *International Organization for Standardization* (ISO) 19119 (ISO, 2005), o geoprocessamento comum inclui processamento espacial (análise de rede e transformação de coordenadas), processamento temático (classificação e geocodificação), processamento temporal e subconjuntos temporais) e processamento de metadados (anotação geográfica e cálculo estatístico) (ZHAO et al., 2012).

O objetivo geral de um sistema de informação geográfica é, portanto, servir de instrumento para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando mecanismos de análise, tais como: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações; gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, dentre outros (DUGOUA et al., 2018).

A detecção de bordas é o método utilizado mais frequentemente para segmentar imagens com base nas variações abruptas (locais) de intensidade. Os modelos de borda são classificados de acordo com seus perfis de intensidade. Na prática, as imagens digitais têm bordas que são desfocadas e ruidosas, cujo grau de indefinição está determinado principalmente pelas limitações no mecanismo de focalização e o nível de ruído determinado principalmente pelos componentes eletrônicos do sistema de imagens (GONZALES, 2010).

*Esquef* (2002) apresenta a segmentação como o processo de subdividir a

imagem como um todo nas partes que a constituem e que se diferenciam entre si, provando que a segmentação de imagens é uma das tarefas mais difíceis no PDI. O primeiro passo na segmentação consiste em utilizar o computador para definir na imagem, recortes automáticos ao redor de objetos de interesse. O nível até o qual a subdivisão deve ser realizada, assim como a técnica utilizada, depende do problema que está sendo resolvido (ESQUEF, 2002).

Existem muitas maneiras de realizar a detecção de bordas. Em geral, estes métodos podem ser agrupados em duas categorias: gradiente e laplaciano. O método gradiente detecta as bordas procurando o máximo e o mínimo na primeira derivada da imagem. O método Laplaciano procura os cruzamentos de zero na segunda derivada da imagem para encontrar arestas (SHRIVAKSHAN, 2012).

Um pixel de borda é descrito utilizando-se dois recursos importantes: a resistência da borda, que é igual à magnitude do gradiente, e a direção da borda, que é igual ao ângulo do gradiente. Na verdade, um gradiente não é definido matematicamente para uma função discreta. Para isto, o gradiente, que pode ser definido para a imagem contínua ideal, é estimado utilizando “operadores”. Ou seja, os “operadores” são métodos, que podem ser implementados para o cálculo numérico do gradiente para uma função discreta. São exemplos de operadores, métodos tais como: *Roberts*, *Sobel* e *Prewitt* (SHRIVAKSHAN, 2012).

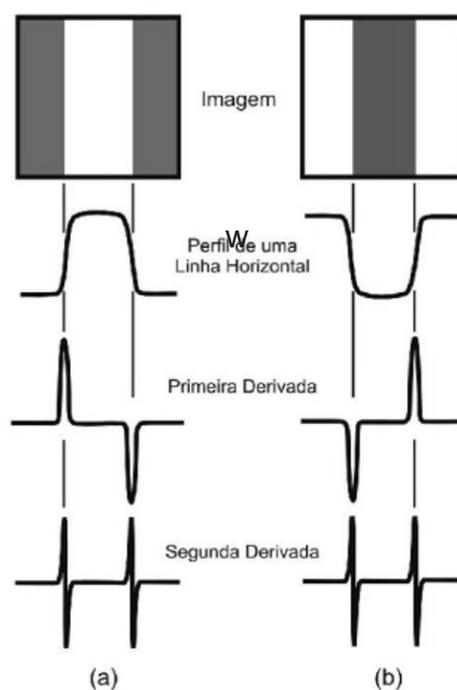


Figura 1: Derivadas de uma Imagem. Fonte: Gonzales, 2010.

O gradiente de uma função de duas variáveis  $f(x,y)$ , nas coordenadas  $(x,y)$  é definido por:

$$\nabla f = \begin{bmatrix} g_x \\ g_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Assim, a magnitude do vetor é dada por:

$$|\nabla f| = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad (2)$$

E a direção do vetor gradiente é dada por:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{g_y}{g_x} \quad (3)$$

Uma aproximação digital das derivadas parciais em uma vizinhança sobre um ponto é dada por (GONZALES, 2010):

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = f(x + 1, y) - f(x, y) \quad (4)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = f(x, y + 1) - f(x, y) \quad (5)$$

Essas derivadas podem ser implementadas filtrando uma imagem com “máscaras”. Estas máscaras são matrizes que levam em conta a natureza dos dados e são utilizadas para a aplicação de aproximações digitais para as derivadas parciais.

Considerando uma região 3x3 tem-se:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_1 & Z_2 & Z_3 \\ Z_4 & Z_5 & Z_6 \\ Z_7 & Z_8 & Z_9 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Deste modo, as derivadas parciais são dadas por:

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + Z_8 + Z_9) - (Z_1 + Z_2 + Z_3) \quad (7)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + Z_6 + Z_9) - (Z_1 + Z_4 + Z_7) \quad (8)$$

O operador de Sobel tem por objetivo calcular o gradiente da intensidade da imagem em cada ponto, fornecendo assim a direção da maior variação de claro para escuro e a magnitude de variação nessa direção. Assim, torna-se possível estimar a presença de uma transição claro-escuro e qual a orientação da transição. Como as variações claro-escuro intensas correspondem a fronteiras bem definidas entre objetos, é possível detectar as bordas na imagem (SHRIVAKSHAN, 2012).

As máscaras de convolução do operador Sobel para detecção de bordas são:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Deste modo, as derivadas parciais são dadas por:

$$g_x = \frac{\partial f}{\partial x} = (Z_7 + 2Z_8 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_2 + Z_3) \quad (11)$$

$$g_y = \frac{\partial f}{\partial y} = (Z_3 + 2Z_6 + Z_9) - (Z_1 + 2Z_4 + Z_7) \quad (12)$$

O Algoritmo de detecção de bordas proposto por Canny baseia-se em três objetivos básicos (GONZALES, 2010):

i. Baixa taxa de erro: todas as bordas devem ser encontradas e não devem ocorrer respostas espúrias. Ou seja, as bordas detectadas devem ser o mais próximo possível das bordas verdadeiras.

ii. Os pontos de borda devem estar bem localizados: as bordas detectadas devem ser o mais próximas possível das bordas verdadeiras. Isto é, a distância entre um ponto marcado como uma borda pelo detector e o centro da borda verdadeira deve ser mínima.

iii. Resposta de um único ponto de borda: o detector deve retornar apenas um ponto para cada ponto de borda verdadeiro. Ou seja, o número de máximos locais em torno da borda deve ser mínimo. Isso significa que o detector não deve identificar múltiplos pixels de borda em que apenas um ponto de borda exista.

A essência do trabalho de Canny foi expressar os três critérios matematicamente e tentar encontrar soluções ótimas para essas formulações. Na prática, o método consiste em (GONZALES, 2010; SHRIVAKSHAN, 2012):

1. Suavizar a imagem por meio de um filtro Gaussiano;
2. Calcular a magnitude e direção do gradiente utilizando aproximações por diferenças finitas para o cálculo das derivadas parciais; e
3. Aplicar supressão de não-máxima à magnitude do gradiente.

Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de comparar os métodos de detecção de borda de Sobel e Canny, com foco em imagens de satélite de floretas de eucalipto no município de Itamarandiba, situado no Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais.

## 2 | METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada a aquisição das imagens de satélite por meio do Google Earth®. Foram coletadas imagens de florestas de eucalipto do município de Itamarandiba-MG.

O município de Itamarandiba, objeto deste estudo, está situado na região do Alto Vale do Jequitinhonha, no estado de Minas Gerais. As coordenadas estão entre

as latitudes de 17° 32' 56" S a 18° 09' 00" S, e longitudes de 43° 09' 14" W a 42° 35' 20" W, tendo uma altitude média de 910 metros e área territorial de 2.735,573 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2017). A localização do município de Itamarandiba pode ser observada na Figura 17.

De toda a sua extensão territorial, parte está dividida em Lavouras, Pastagens e Matas ou Florestas. A última, a de maior impacto na região totaliza 60.557,2360 hectares de florestas plantas, caracterizando a região em um polo madeireiro, principalmente na produção de carvão mineral. Isso gera empregos e aumento na economia, porém modifica a paisagem local (IBGE, 2017).

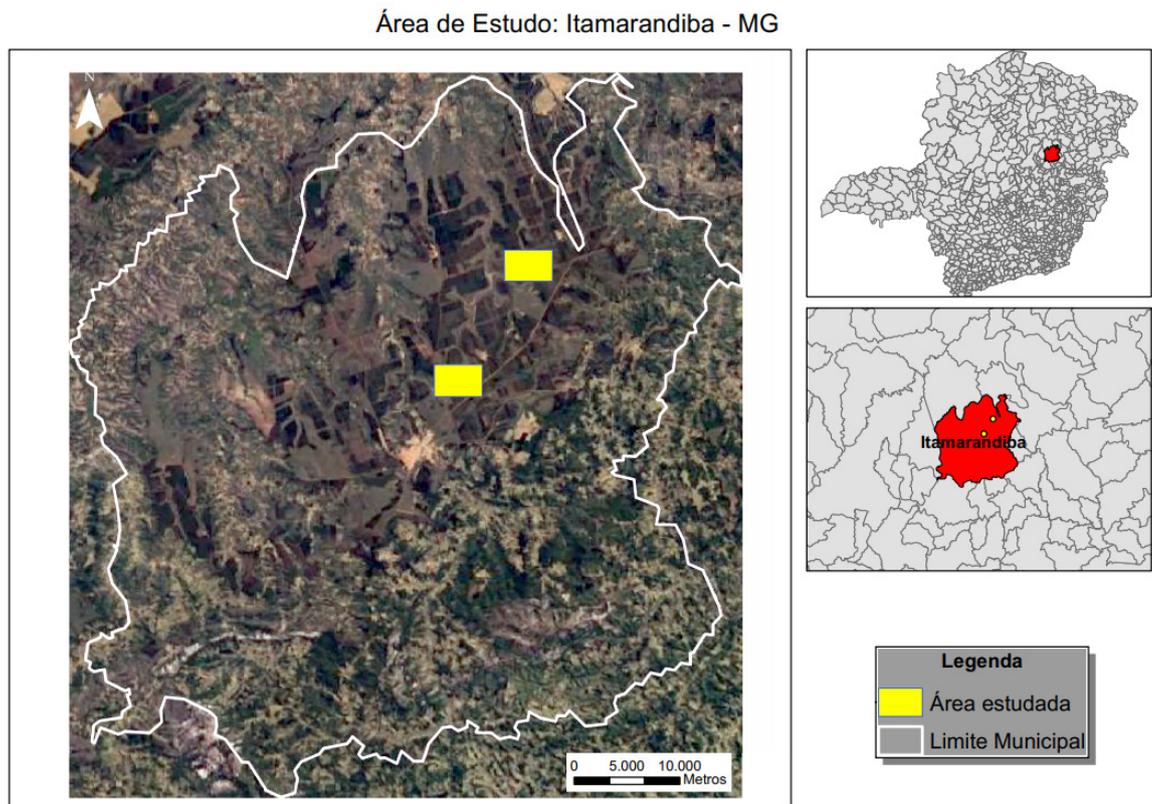


Figura: 2 Localização da área de estudo

As imagens adquiridas possuem as seguintes características:

- i. Data de aquisição das imagens de satélite: 08/20/2017.
- ii. Escala usada para o estudo: 1:18.000.
- iii. Coordenada Central da Imagem da Figura 19: 17°48'19"S e 42°49'56,82"W.
- iv. Coordenada Central da Imagem da Figura 22: 17°42'56,92"S e 42°45'49,29"O.

Em seguida, estas imagens foram processadas e submetidas aos algoritmos de detecção de bordas baseados nos métodos de Canny e Sobel. Todo o procedimento foi implementado no software *Octave*. As etapas do processamento estão descritas no fluxograma da Figura 3:

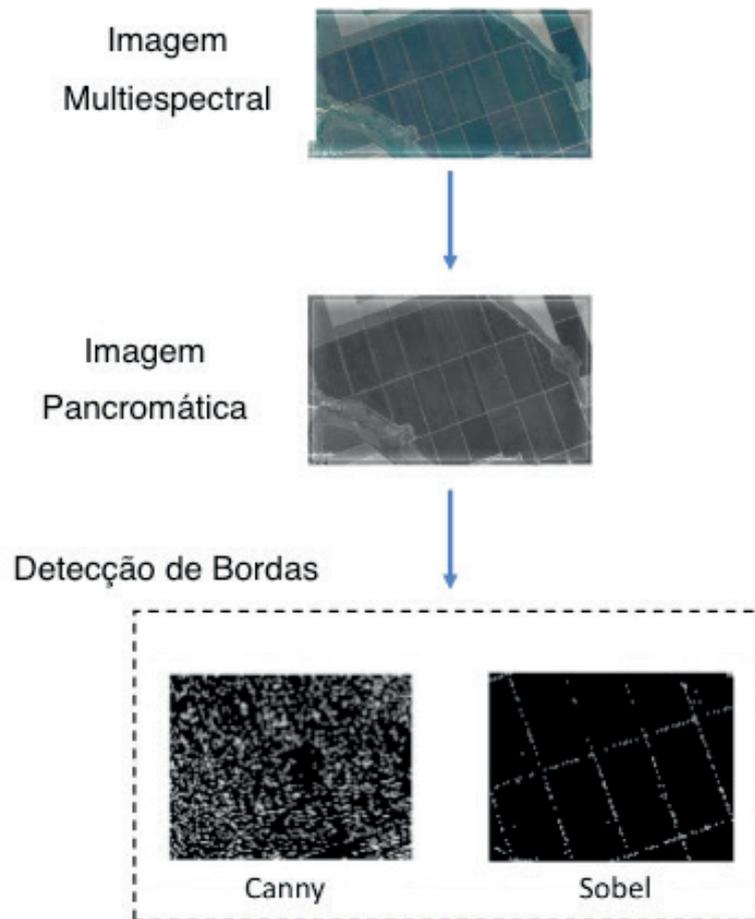


Figura 3: Fluxograma simplificado do algoritmo de detecção de bordas.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas imagens originais, os limites entre as áreas de cultivo ficam evidentes. Deste modo, é possível saber previamente quais regiões o algoritmo deverá segmentar. Conforme pode-se observar na Figura 18, as áreas de cultivo são separadas em regiões retangulares ao longo do terreno. Além disso, as regiões não possuem texturas uniformes, o que pode ser resultado de fatores, tais como: plantios em épocas diferentes, irrigação não uniforme, características diferentes do solo, dentre outros.

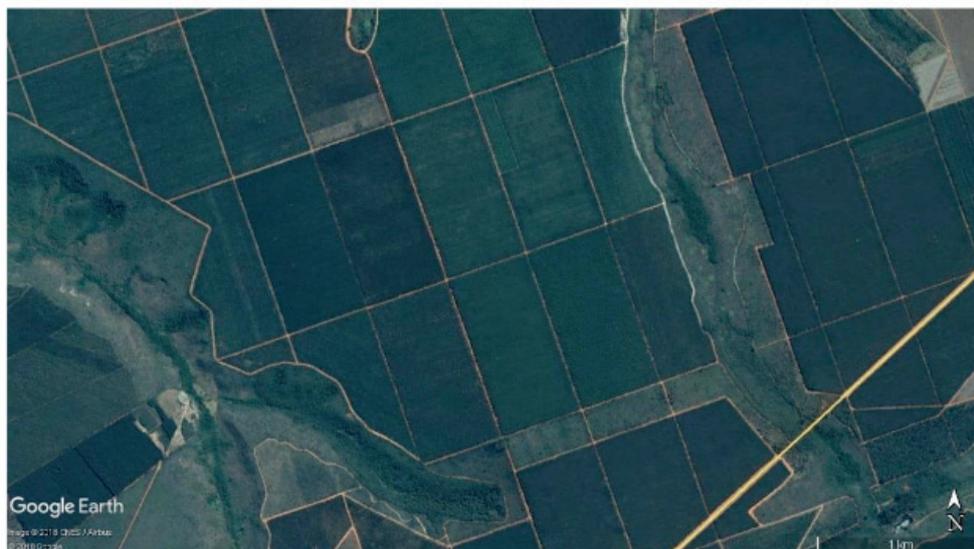


Figura 4: Floresta de eucalipto no município de Itamarandiba.

O algoritmo de detecção foi aplicado à duas imagens diferentes, a fim de se analisar semelhanças e diferenças nos padrões de segmentação.

O resultado da detecção de bordas utilizando os métodos Canny e Sobel aplicada à imagem da Figura 18 podem ser observado nas Figuras 19 e 20.

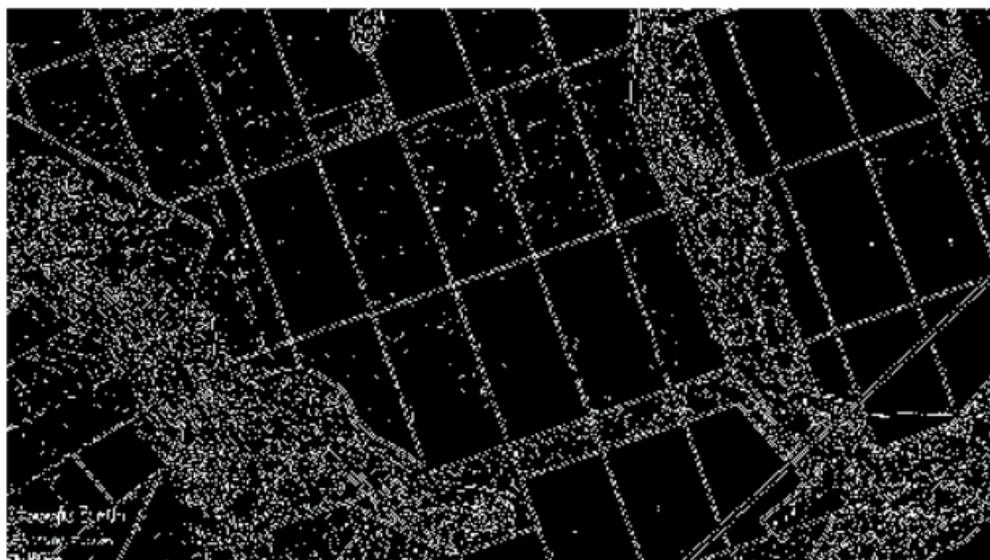


Figura 5: Detecção de bordas da imagem da Figura 18 pelo método de Canny.



Figura 6 - Detecção de bordas da imagem da Figura 18 pelo método de Sobel.

A metodologia foi ainda aplicada à outra imagem, em outra lavoura no mesmo município. A imagem original pode ser observada na Figura 21 e o resultado da detecção de borda nas Figuras 22 e 23.



Figura 7 Floresta de eucalipto no município de Itamarandiba.

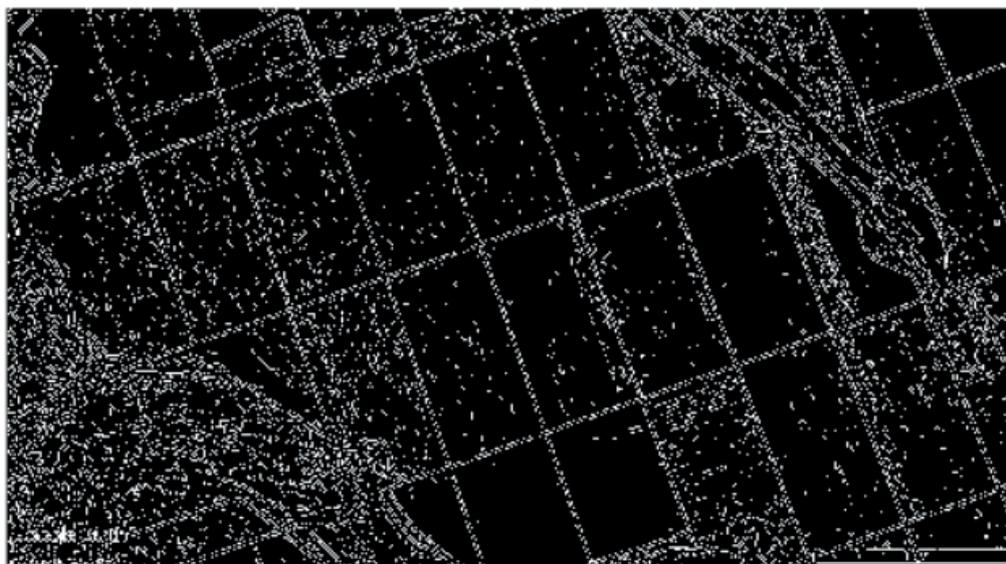


Figura 8: Detecção de bordas da imagem da Figura 21 pelo método de Canny.

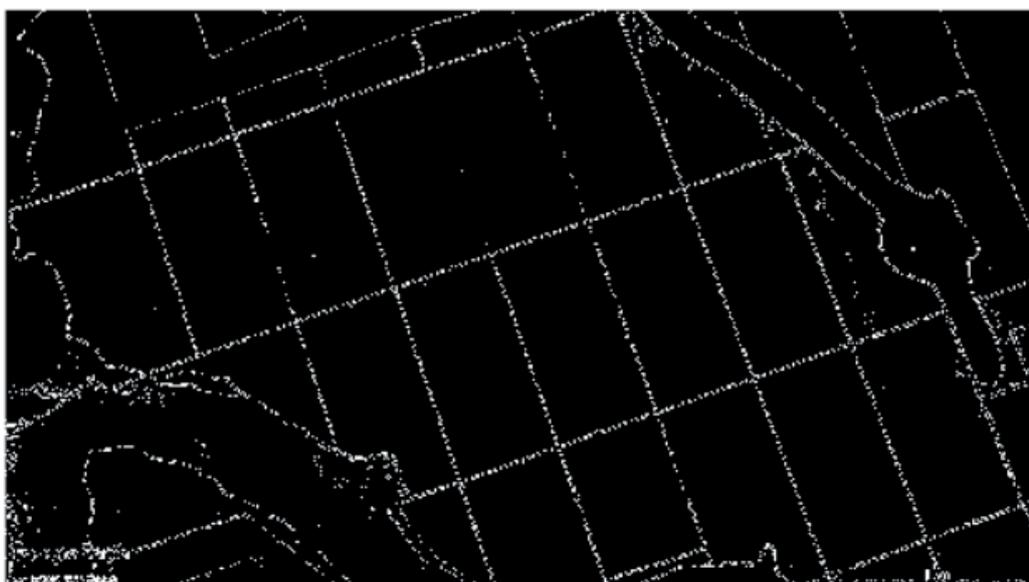


Figura 10: - Detecção de bordas da imagem da Figura 21 pelo método de Sobel.

#### 4 | CONCLUSÃO

A metodologia descrita neste trabalho envolve a utilização de um algoritmo leve e simples. O algoritmo utiliza diversas técnicas, tais como: convolução e métodos de filtragem.

A principal vantagem do operador Sobel é a simplicidade, devido a aproximação simples do cálculo da magnitude do gradiente, o que permite a detecção de bordas e suas orientações. As desvantagens são sensibilidade à ruídos e menor precisão, devido às aproximações.

No método de Canny utiliza-se o conceito de suavização, por meio da operação gaussiana. Portanto, a minimização de erros no cálculo digital das derivadas é mais eficaz. Outra vantagem é a melhoria na relação sinal-ruído, e isso é estabelecido pelo método de supressão não-máxima e uma melhor detecção de bordas utilizando limiarização.

Por tratar-se de um método mais complexo e bem elaborado, o método de Canny acaba detectando bordas indesejadas causadas por texturas não uniformes na imagem, que por sua vez são resultados de fatores, tais como: plantios em épocas diferentes, irrigação não uniforme, características diferentes do solo, dentre outros. Neste caso, o operador Sobel provou-se mais eficiente, detectando apenas as bordas referentes à delimitação das áreas de cultivo.

## REFERÊNCIAS

- CANNY, J. **A Computational Approach to Edge Detection**. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, V. 8, n. 6, pp. 679-698, 1986.
- CASTRO, A. A. M.; Prado, P. P. L.; “**Algoritmos para reconhecimento de padrões**”. Revista Ciências Exatas de Taubaté, vol.5-8, p. 129-145, 1999-2002.
- DUGOUA, E. KENNEDY, R. & URPELAINEN, J. (2018) **Satellite data for the social sciences: measuring rural electrification with night-time lights**. International Journal of Remote Sensing, 39:9, 2690-2701, DOI: 10.1080/01431161.2017.1420936
- ESQUEF, I.A. **Técnicas de entropia em processamento de imagens**. Tese (Mestrado em instrumentação científica), Rio de Janeiro – RJ, Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 155p, 2002.
- GONZALEZ, R. C.; “**Processamento de imagens digitais**”. 3ª Edição. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cidades**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itamarandiba/panorama>. Acesso em: 3/10/2018.
- ISO, 2005. **ISO 19119:2005 Geographic Information — Services**. ISO, Geneva, Switzerland, 67 pp.
- KAWAKUBO, F. S., MORATO R. G., NADER R. S. & LUCHIARI A. (2011) **Mapping changes in coastline geomorphic features using Landsat TM and ETM+imagery: examples in southeastern Brazil**. International Journal of Remote Sensing, 32:9, 2547-2562, DOI: 10.1080/01431161003698419
- RECESA; **Princípios básicos de geoprocessamento para seu uso em saneamento**. Guia do profissional em treinamento Nível 2. Julho 2013.
- ROSA, R.; **Introdução ao Geoprocessamento**. UFU. Julho 2013.
- SHRIVAKSHAN, G. T.; “**A Comparison of various Edge Detection Techniques used in Image Processing**”. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 9, Issue 5, No 1. pp 269-276. September 2012.
- ZHAO, P.; FOERSTER, T.; YUE, P. **The Geoprocessing Web**. *Computers & Geosciences*. 47 (2012) 3–12. 2012 Elsevier Ltd.

## USO DE IMAGENS DE SATÉLITE LANDSAT NO ESTUDO TEMPORAL DA COBERTURA DA TERRA NO RASO DA CATARINA

### **Uldérico Rios Oliveira**

Universidade do Estado da Bahia – UNEB  
Departamento de Ciências Humanas, Campus IX  
Colegiado de Engenharia Agrônômica  
Barreiras - Bahia

### **Patrícia Lustosa Brito**

Universidade Federal da Bahia - UFBA  
Departamento de Engenharia de Transporte e  
Geodésia – DETG, Programa de Pós Graduação  
em Engenharia Civil – PPEC  
Salvador - Bahia

### **Mauro José Alixandrini Júnior**

Universidade Federal da Bahia - UFBA  
Departamento de Engenharia de Transporte e  
Geodésia – DETG, Programa de Pós Graduação  
em Engenharia Civil – PPEC  
Salvador - Bahia

### **Júlio César Pedrassoli**

Universidade Federal da Bahia - UFBA  
Departamento de Engenharia de Transporte e  
Geodésia – DETG, Programa de Pós Graduação  
em Engenharia Civil – PPEC  
Salvador - Bahia

### **Ricardo Lustosa Brito**

Universidade Federal da Bahia - UFBA, Programa  
de Pós Graduação Ciência  
Animal nos Trópicos – PPGCAT  
Salvador – Bahia

O trabalho é parte da dissertação do primeiro autor no Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana do PPEC/UFBA

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho é avaliar mudanças ocorridas na cobertura da terra na região da Estação Ecológica - Esec Raso da Catarina nos últimos anos, a partir de imagens dos satélites. A Esec Raso da Catarina é uma Unidade de Conservação Federal de proteção integral, localizada entre os municípios de Jeremoabo, Paulo Afonso e Rodelas, Bahia, Brasil. Foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens em cenas Landsat 5, 7 e 8, que distavam temporalmente em até 28 anos. Foram realizadas correções geométricas e radiométricas, classificação não supervisionada por pixel com o classificador KMedias. Durante 28 anos, houve crescimento bastante considerável nas áreas antropizadas (1.512,87 km<sup>2</sup> ou 18,22 da taxa de crescimento) e nas áreas gramíneo lenhosa/área em processo de antropização (2.233,20 km<sup>2</sup> ou 7,51 da taxa de crescimento). As utilizações das imagens de satélites possibilitaram a análise da evolução dos cenários da cobertura da terra em distintas épocas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento Remoto, detecção de mudança, antropização, semiárido.

## USE OF LANDSAT SATELLITE IMAGES IN THE TEMPORARY STUDY OF LAND COVERAGE IN THE RASO DA CATARINA

**ABSTRACT:** The present study was aimed at evaluating land cover changes on Ecological Station Raso da Catarina - Esec region in recent years, based on satellites earth images. Esec Raso da Catarina is a Federal Conservation Unit of complete protection, located among three municipalities: Jeremoabo, Paulo Afonso and Rodelas in the State of Bahia, Brazil. Digital image processing techniques using Landsat images 5, 7 and 8 were applied. The images temporal distance was until 28 years. Geometric and radiometric corrections and non-supervised pixel classification, using KMedias classifier, were performed. During 28 years, there was a huge increase the anthropic areas (1,512.87 km<sup>2</sup> or 18,22 of growth rate) and the areas woody grass/areas with the anthropization process (2,233.20 km<sup>2</sup> or 7,51 of growth rate). The uses of the satellites images enable an analysis of the evolution of land cover scenarios at different times.

**KEYWORDS:** Remote sensing, change detection, anthropisation, semi-arid.

### 1 | INTRODUÇÃO

A degradação do meio ambiente e o uso não sustentável dos recursos naturais têm sido algumas das preocupações recorrentes de vários cientistas no mundo inteiro [1]. Estes temas, de grande abrangência e complexidade, necessitam cada vez mais da adoção de metodologias de monitoramento sistemático e sinóptico.

As áreas da região da Estação Ecológica - Esec Raso da Catarina vêm sofrendo atividades conflitantes no seu uso e ocupação do solo de forma inadequada.

O estudo visa contribuir com a manutenção e conservação das áreas protegidas da Esec Raso da Catarina, consideradas Áreas de Preservação Permanente. A região escolhida é considerada de “extrema importância biológica e prioritária para conservação”, sua vegetação natural predominante é de Caatinga com vegetação predominantemente arbustiva densa, onde existem várias espécies de ocorrência endêmica e ameaçadas de extinção [2].

Dentre as espécies endêmicas e de grande importância na região da Esec Raso da Catarina, destaca-se a arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*), espécie alvo de contrabando e conflito com agricultores pela sua adaptação ao consumo do milho (*Zea mays*) e desmatamento da sua principal fonte alimentar, o licuri (*Syagus coronata*) nativo da Caatinga.

Segundo o Plano de Ação Nacional para a Conservação da arara-azul-de-lear, nenhum levantamento foi realizado até o momento no sentido de verificar a quantidade de áreas de *S. coronata*, como também não há nenhum levantamento dos órgãos ambientais sobre o estado de conservação na região da Esec Raso da Catarina [3].

O tema apresentado, de grande abrangência, necessita cada vez mais da adoção de metodologias de identificação, avaliação e monitoramento ambiental.

Nesse caso, pode destacar o Sensoriamento Remoto como uma importante ferramenta à análise e controle das questões ambientais, sendo usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra [4].

Assim, o presente trabalho se justifica pelo fato de fomentar a importância ecológica desta área e de buscar entender a sua heterogeneidade espacial de tal área para o fortalecimento de práticas sustentáveis, ajudando no suporte e monitoramento para conservação de espécies no bioma Caatinga (*A. leari* e *S. coronata*), fortalecendo o sertanejo que encontra nessas espécies uma fonte adicional de renda.

Portanto, neste estudo o objetivo é analisar temporalmente mudanças ocorridas na cobertura da terra na região da Esec Raso da Catarina a partir de imagens dos satélites Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

Abrange parte dos municípios de Jeremoabo, Paulo Afonso e Rodelas, no estado da Bahia, Brasil, região do entorno da Esec Raso da Catarina (retângulo envolvente), conforme Figura 01.

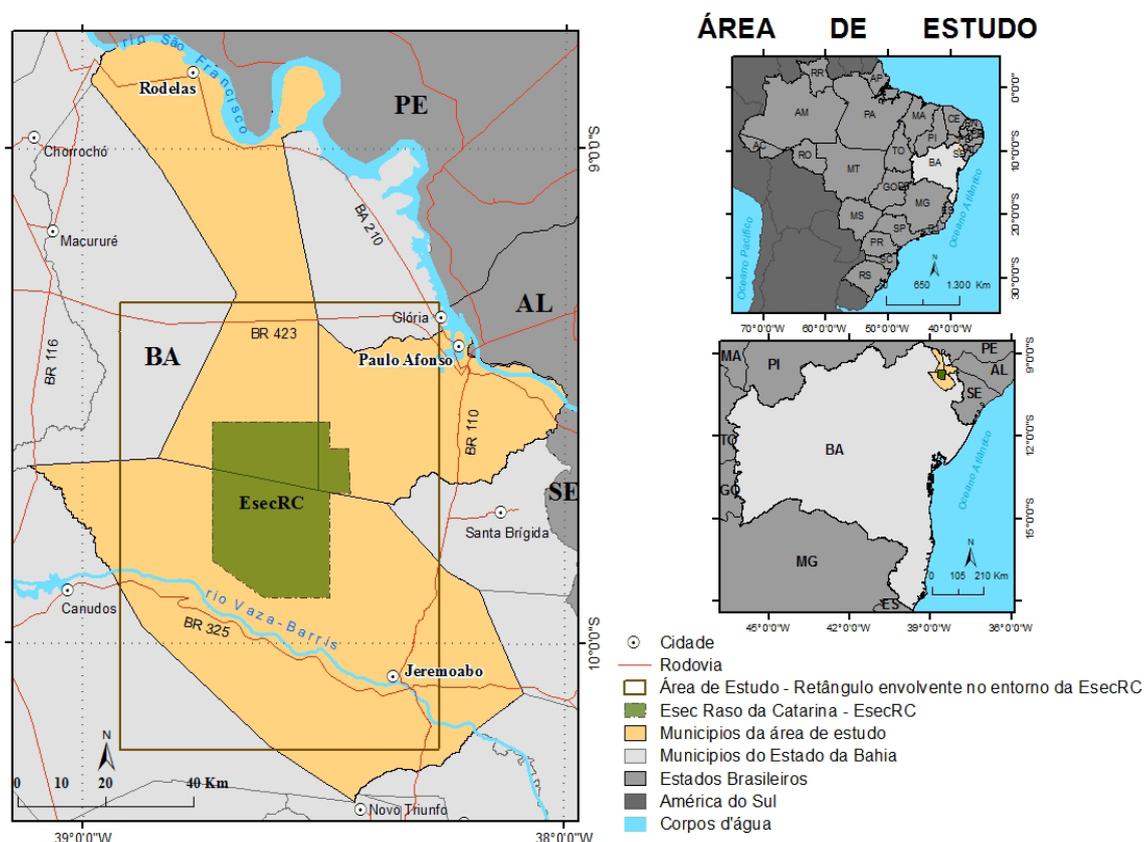


Figura 01. Localização da área de estudo (retângulo envolvente), região da Esec Raso da Catarina, Jeremoabo, Paulo Afonso e Rodelas.

O retângulo envolvente é a área utilizada para as análises do estudo. A área de interesse foi delimitada a partir do *buffer* da Estação Ecológica – Esec, que envolve toda a Zona de Amortecimento da Esec, as comunidades (indígenas, assentamentos, povoados e cidade do seu entorno).

A Esec Raso da Catarina é uma Unidade de Conservação Federal de proteção integral, criada pelo Decreto nº 89.268/84, como Reserva Ecológica Raso da Catarina, sendo recategorizada para Esec Raso da Catarina pela Portaria nº 373/2001. Localizada, nos municípios de Jeremoabo, Paulo Afonso e Rodelas. Com extensão de 8.720 Km<sup>2</sup> [4], sendo a segunda maior unidade de conservação de proteção integral no estado da Bahia [3] (Figura 01).

## 2.2 Aquisição de dados

Para a realização deste trabalho foram utilizadas imagens orbitais Landsat 5, 7 e 8, para um período de 28 anos (07/10/1987, 05/10/2001 e 21/11/2015 - linha 67, cenas 216), obtidas por meio de download gratuito do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE e *United States Geological Survey* - USGS.

## 2.3 Pré-processamento

Foram aplicadas técnicas de processamento digital de imagens, como correção radiométrica nas imagens Landsat 5, 7 e 8, e geométrica nas imagens Landsat 5 e 7 no sistema QGIS versão 2.14.1.

A correção radiométrica foi realizada através da correção atmosférica denominada DOS1 – *Dark Object Subtraction*, presente no complemento SCP - *Semi-Automatic Classification Plugin*, para as imagens Landsat.

Para a correção geométrica utilizou-se o registro das imagens Landsat 5 e 7, tomando como base a imagem Landsat 8 (obtida já georreferenciada no catálogo de imagens da USGS).

O processamento digital das imagens foi realizado utilizando o sistema SPRING - Sistema de Processamento de Informações Geográficas/INPE versão 5.3. Foram usadas as bandas e composição R(4) G(3) B(2) para Landsat 5 e 7, R(5) G(4) B(3) para a Landsat 8 (Figura 02).

## Composição RGB: Landsat 5 - 1987/Landsat 7 - 2001/Landsat 8 - 2015

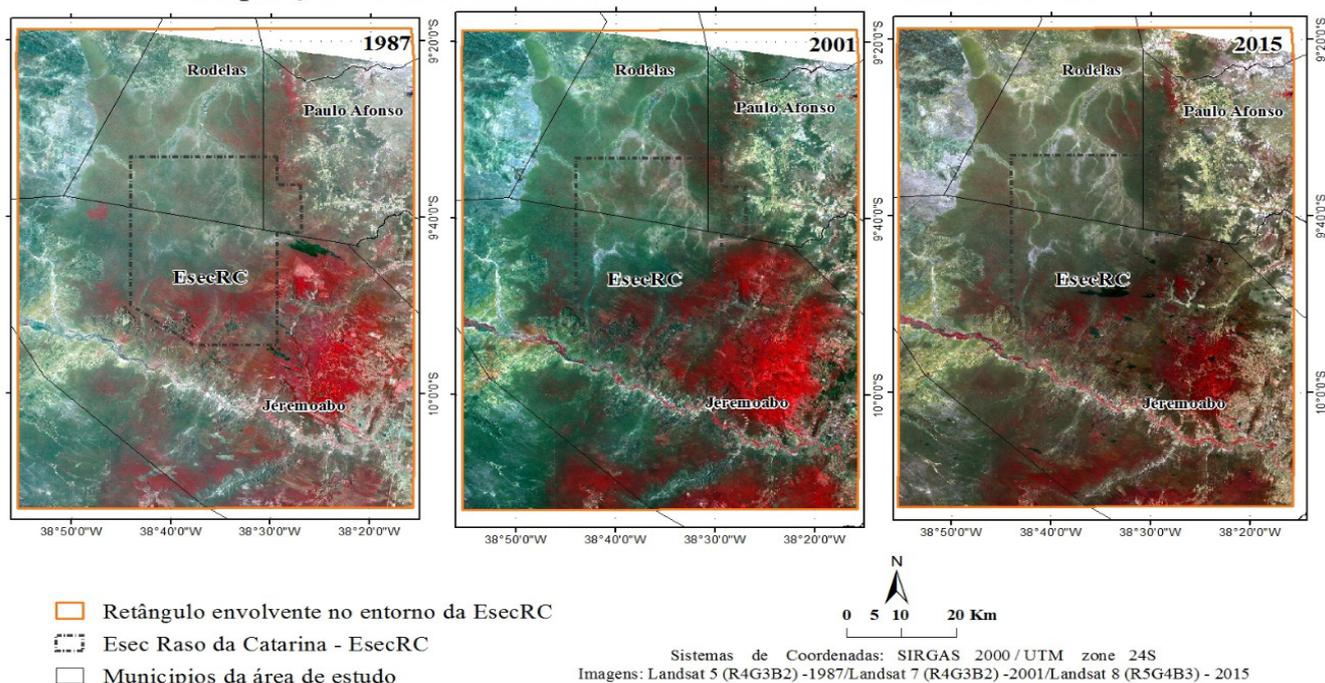


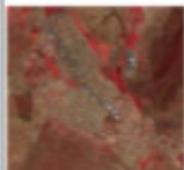
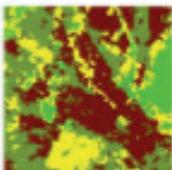
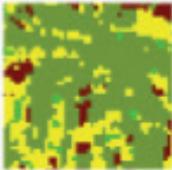
Figura 02. Composição RGB das imagens Landsat 5, Landsat 7 (R4G3B2) e Landsat 8 (R5G4B3) na área de estudo.

### 2.4 Classificação das Imagens

Com as imagens geradas após o pré-processamento e composição foram realizados diferentes testes de segmentações utilizando o método Crescimento de Regiões para com diferentes similaridades e áreas (similaridade-área: 10-10; 15-15; 20-20; 25-25; 30-30; 35-35; 40-40; 45-45 e 50-50), as quais não foram satisfatórias nos processos de segmentação para os diferentes sensores. Após esta etapa foi executada a classificação não supervisionada por pixel com o classificador KMedias, e também foram realizados diferentes testes para os temas e interações (tema-interação: 3-3; 4-3; **5-3**; 6-3; 7-3; 8-3; 9-3; 10-3; 3-4; 4-4; 5-4; 6-4; 7-4; 8-4; 9-4; 10-4; 3-5; 4-5; 5-5; 6-5; 7-5; 8-5; 9-5 e 10-5). Dentre os testes realizados o que melhor representou a real situação foi com o tema 5 e interação 3 para as imagens Landsat 5, 7 e 8, com base na informação espectral das bandas selecionadas.

O algoritmo KMedias é um classificador não supervisionado que utiliza uma abordagem de agrupamento. O espaço de atributos da imagem é partido em K grupos. A partir dessa situação inicial, cada pixel da imagem é alocado ao centro mais próximo segundo a distância euclidiana [5].

No Quadro 01 são apresentadas as classes consideradas neste trabalho e o aspecto apresentado pelo conjunto de pixels para a classificação.

Classe	Características	Landsat 8 - 2015 (R5G4B3)	Landsat 8 - 2015 Classificada
<b>1. Área antropizada</b>	Área que suas características originais foram alteradas por consequência de atividade humana, ou ocupação do homem, exercendo atividades sociais, econômicas e culturais sobre o ambiente, como o solo, vegetação, relevo e regime hidrico. Ex.: estrada, áreas de lavoura, solo exposto, comunidades, cidades, etc.		
<b>2. Gramíneo lenhosa/área em processo de antropização</b>	Campo limpo ou caracteriza-se por apresentar domínio de gramíneas, mas apresenta algumas lenhosas anãs espinhosas [9]. Ex.: áreas de pastagens e campo.		
<b>3. Vegetação rasteira/ Caatinga arborizada</b>	Caracterizado por micro e/ou nanofanerófitos, mais ou menos densos, com grossos troncos e esgalhamento bastante ramificado em geral provido de espinhos e/ou acúleos, com total deciduidade na época desfavorável [9]. Ex.: vegetação natural do Raso da Catarina.		
<b>4. Vegetação densa/ perenifólia</b>	Vegetação que apresenta sempre verde e que possui uma densa vegetação arbustiva. A presença dessa formação vegetal é restrita a pequenos fragmentos sustentados por chuvas orográficas e/ou água edáfica [9]. Ex.: mata ciliar e plantações irrigadas.		
<b>5. Corpos d'água</b>	Acumulações de água, tais como lagos, lagoas, rios, córregos, canais e represas (barragem).		

Quadro 01. Padrão das classes da classificação não supervisionada por pixel com o classificador KMedias, tema 5 e interação 3, para o sensor Landsat 8 - 2015.

## 2.5 Validação e Ajustes

Após realizada a classificações, efetuou-se uma análise de exatidão, através das matrizes de erro onde se calculou os erros de comissão (pixels de outras classes que foram atribuídos à classe de referência) e omissão (pixels pertencentes a uma classe de referência que foram atribuídos a outras classes) para cada classe, bem como a precisão do produtor, acurácias de exatidão global e índice de Kappa [6].

Após a validação da classificação foi feita uma edição da classificação para eliminar possíveis erros e omissões visando o refinamento das regiões classificadas, considerando verificação e interpretação visual do resultado.

### 3 | RESULTADOS

A classificação digital não supervisionada permitiu analisar a distribuição espacial e quantificar a cobertura da terra na Esec Raso da Catarina e no seu entorno. Os resultados são evidenciados em três mapas que correspondem aos anos de 1987, 2001 e 2015, Figura 03 e na Tabela 01, que consistem na quantificação das formas da cobertura da terra, ao longo do período de tempo avaliado, o qual permitiu a individualização das classes.

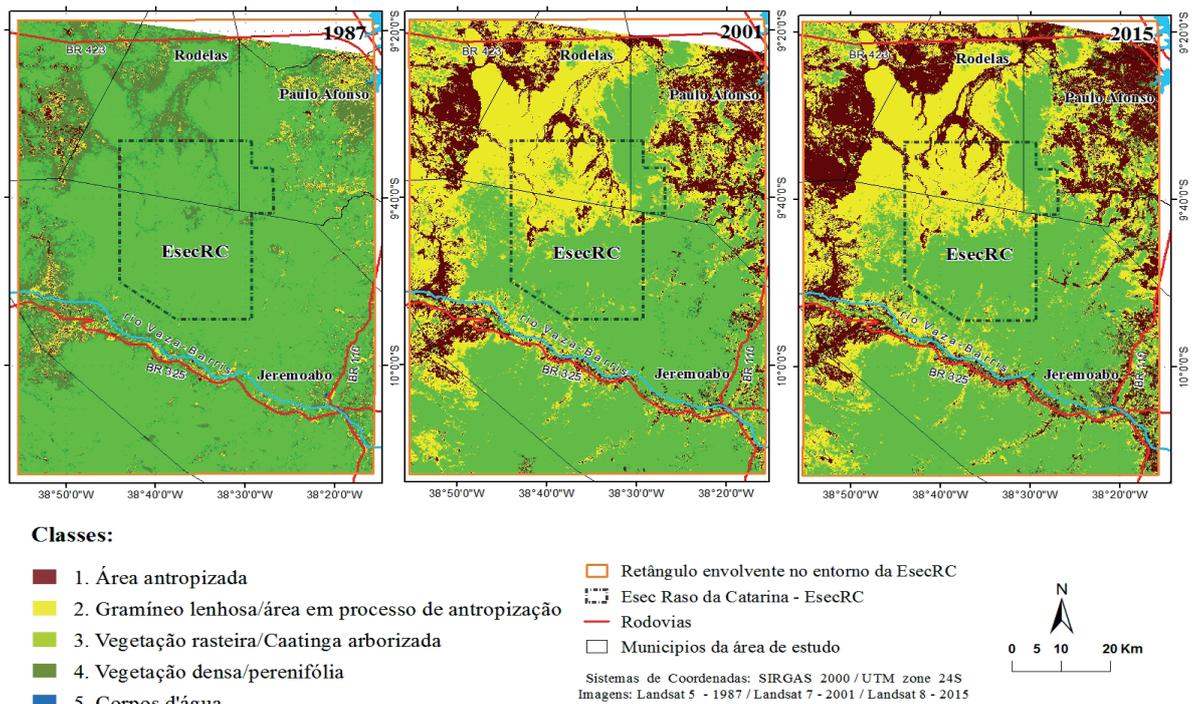


Figura 03. Cobertura da terra na Estação Ecológica do Raso da Catarina e do seu entorno nos anos de 1987, 2001 e 2015.

Classes	Área (Km <sup>2</sup> )			Diferenças (Km <sup>2</sup> )			Taxa de incremento*		
	1987	2001	2015	1987 - 2001	2001 - 2015	1987 - 2015	1987 - 2001	2001 - 2015	1987 - 2015
1. Área antropizada	83,02	1.166,45	1.512,87	1.083,25	346,42	1.429,85	14,05	1,30	18,22
2. Gramíneo lenhosa/área em processo de antropização	342,80	2.513,00	2.576,00	2.170,20	63,00	2.233,20	7,33	1,02	7,51
3. Vegetação rasteira/Caatinga arborizada	5.007,84	3.177,85	2.777,45	-1.829,99	-400,40	-2.230,39	-0,63	-0,87	-0,55
4. Vegetação densa/perenifolia	1.604,42	320,00	319,70	-1.284,42	-0,30	-1.284,72	-0,20	-0,99	-0,20
5. Corpos d'água	1,75	1,0	1,33	-0,75	0,33	-0,42	-0,57	1,33	-0,76
<b>Área total das classes</b>	<b>7.039,83</b>	<b>7.178,30</b>	<b>7.187,35</b>						

Tabela 01. Comparação da cobertura da terra de 1987, 2001 e 2015.

Por meio da análise do mapa da cobertura da terra em 1987 e dados da Tabela

1, foi possível verificar que no ano de 1987 a cobertura vegetal formada pelas classes de vegetação rasteira/Caatinga arborizada 5.007,84 km<sup>2</sup> (71,14%) e vegetação densa/perenifolia 1.604,42 Km<sup>2</sup> (22,80%), eram as maiores contribuições na área de estudo (93,94%), mostrando assim, que neste período ainda se verificava uma certa conservação dos recursos naturais envolvendo principalmente a vegetação.

Com a geração dos mapas de cobertura da terra em 2001 e 2015 da área de estudo e da Tabela 1 que apresenta o cálculo das áreas de cada classe, a diferença e taxa de incremento para cada classe em ambos os anos analisados da cobertura observam-se as modificações consideradas nas distribuições das classes na área de estudo.

Primeiramente, nota-se uma diminuição considerável da cobertura de vegetação da área de estudo. As áreas de vegetação rasteira/Caatinga arborizada e vegetação densa/perenifolia diminuíram, em relação com os anos de 1987 e 2001, deram espaço as áreas de classes de gramíneo lenhosa/área em processo de antropização 2.513,00 Km<sup>2</sup> (35,01%) e áreas antropizadas 1.166,40 Km<sup>2</sup> (16,25%), com maiores taxas de incrementos de aumento, 7,3 e 14,05 vezes aumentaram, respectivamente. Sendo que a áreas de vegetação rasteira/Caatinga arborizada e vegetação densa/perenifolia diminuíram - 0,63 e - 0,20 vezes, respectivamente. Tal acréscimo foi causado principalmente, pela expansão das áreas agrícolas, áreas agrícolas irrigadas e a expansão das comunidades, fatos esses que alteraram a dinâmica do solo.

No ano de 2015, a cobertura da terra na área de estudo é caracterizada pelas intensificações das tendências de mudanças já descritas em 2001.

Dentro de um determinado espaço de tempo, 28 anos, houve um crescimento bastante considerável nas áreas antropizadas (1.512,87 Km<sup>2</sup>) e nas áreas gramíneo lenhosa/área em processo de antropização (2.233,20 Km<sup>2</sup>), apresentando as maiores taxas de incrementos de aumento, 18,22 e 7,51 vezes aumentaram, respectivamente.

Ainda neste estudo comparativo houve diminuição do perímetro referente às áreas com cobertura vegetal com redução de 2.230,39 km<sup>2</sup> para vegetação rasteira/Caatinga arborizada e 1.284,72 km<sup>2</sup> para vegetação densa/perenifolia, sendo que a áreas de vegetação rasteira/Caatinga arborizada e vegetação densa/perenifolia diminuíram - 0,55 e - 0,20 vezes, respectivamente.

Os corpos d'água não apresentam modificações significantes em seus valores ao longo dos anos, mantendo sempre uma faixa de valores de oscilações, 1987 (1,75 km<sup>2</sup>), 2001 (1,0 km<sup>2</sup>) e 2015 (1,33 km<sup>2</sup>), apresentando maior taxa de redução entre o ano de 1987 a 2015, reduzindo - 0,76 vezes.

A partir da análise das matrizes de erro podem-se obter os valores dos erros de omissão e comissão para cada classe das imagens, precisão do produtor, acurácias de exatidão global e índice de Kappa: Para a classificação da imagem Landsat 5, o erro de omissão foi observada para a classe 1 com 14%, classe 5 com 10% e classe 2 com 3%, os melhores desempenhos do classificador de precisão do produtor

foram as classes 3 e 4 tiveram, ambas com 100%; Para comissão o maior erro foi observado para a classe 2 com 22%, os melhores desempenhos do classificador de precisão do produtor foram as classes 1 e 5 com 100%; acurácia de exatidão global de 99,8% e índice de Kappa igual a 0,99. Landsat 7, a omissão observou-se para a classe 4 com 11%, classe 5 com 3%, classes 1 e 3 com 2%, a classe 2 teve o melhor desempenho do classificador, com 100% de precisão do produtor; Na comissão o maior erro foi observado para a classe 5 com 30%, classe 3 com 15%, classe 4 com 2% e classe 2 com 1%, a classe 1 teve melhor desempenho do classificador, com 100% de precisão do produtor; exatidão global de 94,6% e índice de Kappa 0,93. Landsat 8, o maior erro de omissão foi observado para a classe 1 com 4%, classe 5 com 3% e classe 4 com apenas 1%, a melhor classificação foi encontrada para a classe 2 e 4, com 100% de precisão do produtor; para a comissão o maior erro foi observado apenas na classe 4 com 0,5%, as classes 1, 2, 3 e 5 tiveram melhores desempenhos do classificador, com 100% de precisão do produtor; exatidão global 99,8% e índice de Kappa 0,99.

#### 4 | DISCUSSÃO

O grande crescimento nos últimos anos da agricultura, e áreas de pastagem para a criação (de bovinos, caprinos e ovinos) vem acarretando essa degradação ambiental na região da Esec Raso da Catarina [3]. Esses dados também foram observados na classificação da cobertura da terra em estudo realizado por Oliveira et al.[7], com imagens Landsat 8 no mesmo período para o ano de 2014, na qual a região, os três municípios (Jeremoabo, Paulo Afonso e Rodelas), apresentaram maior quantidade de pastagem (4552 km<sup>2</sup>) que a de vegetação (4050,8 km<sup>2</sup>).

Em análise e comparação com os dados apresentados pelo Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos [8], a partir de arquivo formato *shapefile* da vegetação do estado da Bahia, pode-se observar que as classes referidas na classificação da cobertura da terra tiveram resultados bem semelhantes (Figura 04), uma vez que as áreas da classe vegetação rasteira/Caatinga arborizada estão conforme as áreas apresentadas.

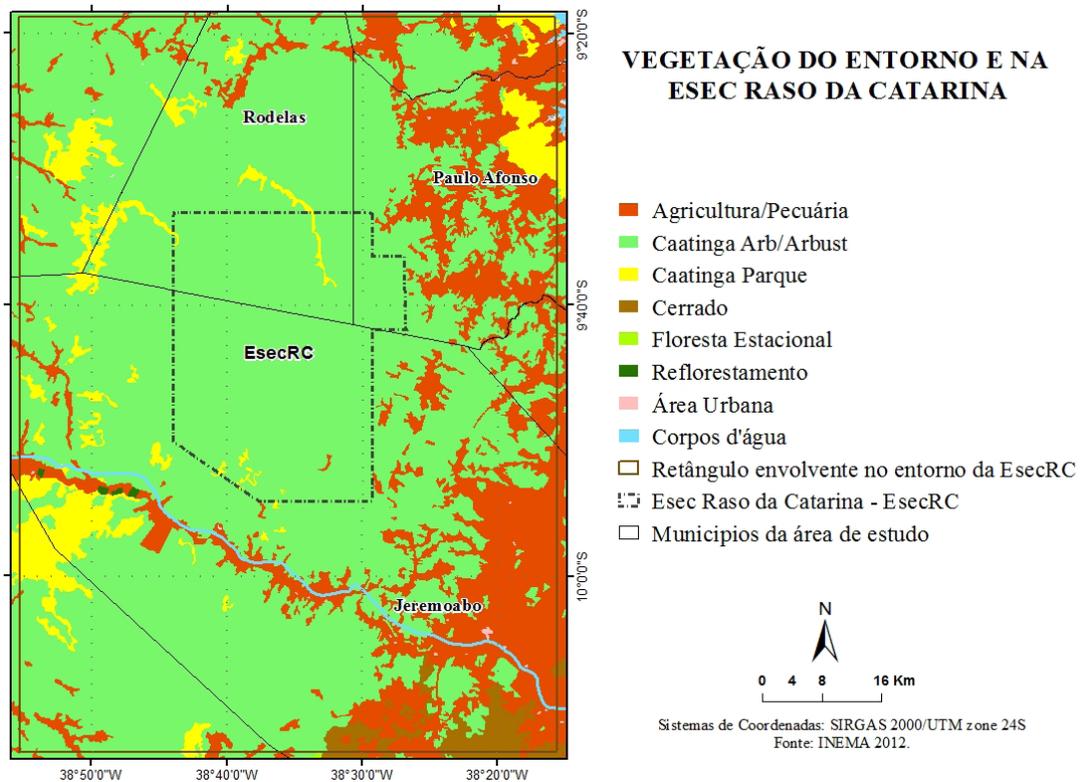


Figura 04. Mapa da Vegetação na região e na Estação Ecológica Raso da Catarina.

Portanto, o método da classificação não supervisionada por pixel com o classificador Kmedias obteve desempenho excelente para as três imagens analisadas e observadas. Assim, os resultados comprovam o excelente desempenho da classificação a partir da relação das matrizes de erros de omissão e comissão, precisão do produtor, acurácia de exatidão global (99,8%; 94,6% e 99,8%) das classes e os valores dos índices de Kappa (0,99; 0,93 e 0,99) que foram comparados e considerados como excelentes de acordo com a tabela de referência de Landis e Koch [6].

## 5 | CONCLUSÕES

O mapeamento a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto permitiu a visualização da dinâmica temporal da cobertura da terra na região da Esec Raso da Catarina. Com a utilização das imagens Landsat 5, 7 e 8, através da classificação não supervisionada por pixel com o classificador KMedias foi possível reconstituir os cenários da cobertura da terra e quantificá-los.

As análises de suas principais classes como área antropizada e cobertura vegetal (gramíneo lenhosa/área; vegetação densa/perenifólia e vegetação rasteira/caatinga arborizada) permitiram uma modelagem cartográfica do cenário atual e temporal, para o intervalo de 28 anos, apresentados em três mapas que correspondem aos anos de 1987, 2001 e 2015, Figura 02 e Tabela 01. Tais dados consistem na quantificação das formas da cobertura da terra, ao longo do período de tempo avaliado, o qual

permitiu a individualização das classes em uma análise temporal.

As utilizações de imagens de satélites possibilitaram a análise da evolução dos cenários da cobertura da terra em distintas épocas, mostrando a real situação do processo de antropização na região. Fica evidente que a principal ameaça para a espécie da arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*) é a redução das áreas de licurizeiros (*Syagrus coronata*), pois estas áreas estão inseridas em local onde se verifica a presença humana em diversas comunidades do entorto na Esec Raso da Catarina, conseqüentemente o desmatamento é a origem de uma série de conflitos ambientais gerados na região, inseridos nas áreas antropizada ou gramíneo lenhosa/ área em processo de antropização.

## 6 | AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Engenharia de Transporte e Geodésia – DETG da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia - UFBA, no qual se desenvolve o grupo de pesquisa. Ao Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana – MEAU/Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil – PPEC da UFBA. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio a pesquisa. Aos parceiros que contribuíram com o trabalho, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBIO, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e ao Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Aves Silvestres – CEMAVE.

## REFERÊNCIAS

IPCC. Painel **Intergovernamental sobre Mudança do Clima**. Mudança do clima 2007: Impactos, adaptação e vulnerabilidade. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/50400.html>>. Acesso em: 19. jun. 2018.

SÁ, I.B.; RICHÉ, G.R.; FOTIUS, G.A. **Fatores abióticos**: áreas e ações prioritárias para conservação da caatinga. In: SILVA, J.M.C. *et al.* (Org.). Biodiversidade da caatinga: e ações prioritárias para conservação. Brasília: p.37-44, 2003.

LUGARINI, C.; BARBOSA, A.E.A.; OLIVEIRA, K.G. (Orgs.). **Plano de Ação Nacional para a Conservação da Arara-azul-de-Lear**. 2ª Ed. Série Espécies Ameaçadas. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília, p. 144. 2012.

JENSEN, J.R., **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. Tradução: EPIPHANIO, J. C. N. (coordenador). São José dos Campos, p.598, 2009.

MATHER P.M., **Computer processing of remotely sensed images**; an introduction. 2nd Ed. John Wiley & Sons, New York, 1999.

Lenney, M.P.; Woodcock, C.E.; Collins, J.B.; Hamdi, H., The Status of Agricultural Lands in Egypt: The Use of Multitemporal NDVI Features Derived from Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, n. 1, p. 8-20, 1996.

OLIVEIRA, U.R.; BRITO, P.L.; ZALOTI, F.A.; HADLICH, G.M. Sensoriamento Remoto na Classificação

do Uso e Ocupação da Região da Estação Ecológica Raso da Catarina, Bahia, Brasil. In: **X Jornada de Educação em Sensoriamento Remoto no âmbito do Mercosul**. Educação, Sensoriamento e Remoto e Geotecnologias 2015, Lençóis - BA, 2015.

INEMA - Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Mapas Temáticos**. (2012). Disponível em: [http://www.inema.ba.gov.br/servicos/mapas-tematicos/?dl\\_page=2](http://www.inema.ba.gov.br/servicos/mapas-tematicos/?dl_page=2)>. Acesso em: 29. set. 2018.

SÁ, I.B.; TAURA, T.A.; Cunha, T.F.; SA, I.I.S. Mapeamento e caracterização da cobertura vegetal Bacia Hidrográfica do São Francisco. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal - RN. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, v. 1. p. 321-328, 2009.

## SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA APLICADO AO PLANEJAMENTO URBANO

### **Madjany Modesto Pereira**

Discente da Faculdade Paraíso do Ceará  
Juazeiro do Norte - Ceará

### **José Eduardo de Carvalho Lima**

Docente da Faculdade Paraíso do Ceará  
Juazeiro do Norte - Ceará

### **Sávio de Brito Fontenele**

Docente da Faculdade Paraíso do Ceará  
Juazeiro do Norte - Ceará

**RESUMO:** Diante das restrições orçamentárias enfrentadas pelas gestões municipais brasileiras e as dificuldades geradas na tomada de decisão, este estudo realizou uma apreciação, com base em análise feita pelo software Iramuteq, para identificar as aplicações do SIG em dois dos principais eixos da gestão pública no Brasil, planejamento urbano e infraestrutura. A pesquisa desenvolveu-se de forma teórica, com abordagem quantitativa descritiva. A análise ocorreu em cima de fontes acadêmicas (publicações técnico-científicas de periódicos e eventos acadêmicos), escritas em língua portuguesa e no período de 2004 a 2018. Mediante os estudos feitos através do software Iramuteq observou-se uma maior aplicação de uso do SIG tratando-se de uso e ocupação do solo. A partir desta observação, buscou-se conhecer aplicações que tratam deste viés e que

auxiliem a gestão pública. Ademais, salienta-se que grande parte dessas aplicações não foram realizadas pelos gestores municipais, tendo apenas cunho teórico, com intuito de comprovar a real importância da ferramenta, tornando claro seu uso no subsídio a tomada de decisões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoprocessamento; Infraestrutura; Gestão pública; Iramuteq.

**ABSTRACT:** In the face of the budget networks faced by the Brazilian municipal administrations and as generated in decision making, this study had an analysis, based on an analysis made by Iramuteq software, for the study of GIS applications in two of the main urban planning and infrastructure. The research was developed in a theoretical way, with the quantitative descriptive. The analysis of the academic species (information technical information and events academic students), written in a language and a period of 2004, to 2018. Through the studies done in a greater application of GIS in the use and occupation of the soil. From this observation, we sought to know what this resource is and that the aid is a common task. In addition, it was remarked that the applications were not carried out by the municipal managers, having only a theoretical character, in order to prove a real importance of the tool, making it clear that there are no subsidies for decision making.

**KEYWORDS:** Geoprocessing; Infrastructure; Public administration. Iramuteq.

## 1 | INTRODUÇÃO

Restrições orçamentárias são enfrentadas por diversos países em desenvolvimento, como o Brasil. Diante dessa realidade, a gestão pública têm a necessidade de investir de forma consciente, priorizando áreas essenciais à população de forma a solucionar os problemas mais críticos.

Para isso, os profissionais dessa área necessitam de conhecimento multidisciplinar sobre o território. Afinal, ações importantes requerem informações atualizadas sobre o espaço, como o cadastro da população e de imóveis, plano diretor de desenvolvimento urbano – PDDU, economia, infraestrutura, meio ambiente, dentre outros. Diante dessa demanda, torna-se fundamental que o serviço público atualize seu modo de trabalho com investimentos em geotecnologias e pessoal capacitado.

Em uma mentalidade atualizada de gestão pública, a variável locacional é essencial, ao considerar que cerca de 85% de todas as informações da gestão estão de alguma forma relacionadas ao espaço geográfico. Além disso, uma parcela expressiva de seus recursos financeiros é oriunda de elementos relacionados a geografia local (ASSUMPÇÃO, 2001).

O geoprocessamento, como instrumento de espacialização dos problemas, é capaz de detectar a expansão urbana e as alterações que o meio ambiente tende a sofrer com o crescimento desordenado das cidades, dentre outras análises. Dessa forma, essa ferramenta pode subsidiar às decisões e o monitoramento dos impactos das políticas e da gestão pública como um todo (DOMINGUES, 2005; FARINA, 2006).

Dentre as ferramentas de geoprocessamento introduzidas na esfera pública destaca-se o sistema de informações geográficas – SIG, que possibilita o armazenamento, gerenciamento e visualização de dados georreferenciados, além de permitir análises complexas sobre as realidades existentes no espaço geográfico. Este é um recurso que vêm sendo difundindo no território brasileiro a fim de possibilitar, embasado em coordenadas geográficas, escolhas assertivas para o desenvolvimento urbano, populacional e territorial dos municípios, bem como suprir suas carências (ROSA, 2013). O uso de diversas fontes de dados e a capacidade de representação multivariada em um mesmo mapa possibilitam aos gestores um planejamento mais elaborado, definindo estratégias de curto, médio e longo prazo mais eficazes e com eficiência.

Segundo Richa et al. (2018), o SIG torna-se uma ferramenta de auxílio à gestão pública, que tem como premissa alcançar eficiência e eficácia na prestação de serviços à população, buscando a integração entre as quatro funções ou processos fundamentais que a compõem: planejamento (define os objetivos e recursos a serem

gastos), organização (determina a disposição dos recursos em uma estrutura), execução (realiza o que foi planejado) e controle (verifica os resultados obtidos). A fixação desse recurso geotecnológico como ferramenta de gestão tende a colaborar com a capacidade pública de atender a um índice, cada vez maior, das necessidades de um determinado município ou território, além de possibilitar o cumprimento efetivo da legislação vigente.

Ante as diversas vertentes da gestão pública, o planejamento urbano de uma forma geral é o meio capaz de fazer o município alcançar suas metas acerca do seu desenvolvimento, de maneira salubre. Ademais, é o primeiro processo fundamental à gestão, devendo ser norteado através de um conjunto de decisões. Tais definições devem ser baseadas de acordo com características sociais, econômicas e ambientais e as ações municipais devem ser orientadas às necessidades da sociedade e compatíveis com a realidade dos municípios. Através desse conhecimento, buscar estratégias para execução dos projetos, que é a base para uma boa infraestrutura municipal (MEDEIROS, 2012; OLIVEIRA; PEREIRA, 2015).

A ação direta do planejamento urbano gera a infraestrutura municipal, definida como conjunto de obras que serve de base para o funcionamento das cidades, formado pelas redes básicas de distribuição e condução, dependendo intrinsecamente de um planejamento urbano. Um projeto de infraestrutura pública admite como premissa que é uma “simulação do futuro”, com base na aprendizagem de experiências concretas recentes. Dela fazem parte: rodovias, usinas hidrelétricas, portos, aeroportos, rodoviárias, sistemas de telecomunicações, ferrovias, rede de distribuição de água e tratamento de esgoto, sistemas de transmissão de energia, entre outros.

Diante desse contexto, esse estudo busca realizar, através de uma análise de literatura estruturada, a apresentação de aplicações do SIG para o âmbito de planejamento urbano e a importância da utilização dessa geotecnologia no auxílio à tomada de decisão na gestão municipal.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa realizou-se de forma teórica, com abordagem quantitativa descritiva, através de uma verificação do estado da arte das aplicações do SIG no planejamento urbano e infraestrutura em território brasileiro. O estudo foi realizado em cima de uma base de dados acadêmica (publicações técnico-científicas de periódicos e eventos técnico-científicos), construída a partir de pesquisas realizadas no *google scholar* utilizando as palavras-chave: sistema de informações geográficas, planejamento urbano, infraestrutura, geoprocessamento e gestão pública.

A base de dados foi composta por cerca de quarenta publicações, em língua portuguesa, no período de 2004-2018. As publicações pesquisadas possuíam, em comum, a utilização do geoprocessamento como ferramenta de gestão pública, com

ênfase em planejamento urbano e infraestrutura.

Dessa base de dados, fez-se um corpus textual, que, para Trask (2004), corpus é “um conjunto de textos escritos ou falados numa língua, disponível para análise”. A base foi analisada e a descrição quantitativa foi obtida através de distribuições de frequência obtidas a partir de exames do *software* Iramuteq (*Interface de R pour les Analyses Multidimensionnelles de Textes et de Questionnaires*). O Iramuteq é um software gratuito, criado inicialmente em língua francesa, e adaptado para o português (2011-2013) (CAMARGO e JUSTO, 2013).

Por meio do seu ambiente R, oferece um conjunto de tratamentos e ferramentas de análise estatística que apontam o posicionamento, a estruturação e as relações de palavras no texto, sempre auxiliado por imagens. Ele apresenta um viés quantitativo para dados qualitativos. Pode ser aplicado à análise de textos (corpus textual) e tabela de dados (matriz de dados), dispostas em duas abas distintas (CAMARGO e JUSTO, 2013).

Suas análises utilizam-se de lematização, por meio da qual as palavras são buscadas e relacionadas por sua raiz, ignorando o tempo verbal, o gênero da palavra ou o plural, por exemplo. Ele transforma textos em segmentos de texto, identifica frequências das palavras, cria dicionário de formas (adjetivos, substantivos, verbos, advérbios etc.) que podem ser classificadas pelo pesquisador em ativas, suplementares ou eliminadas.

O *software* dispõe de cinco possíveis análises de dados textuais:

1. Estatísticas textuais clássicas (identifica quantidade e frequência de palavras, palavras únicas (coeficiente de Hapax), identifica e busca palavras de acordo com as classes gramaticais e busca palavras com base na raiz (lematização);
2. Pesquisa de especificidades de grupos;
3. Classificação hierárquica descendente (por consequência Análise Fatorial de Correspondência);
4. Análises de similitude;
5. Nuvem de palavras.

Para a análise em questão, foram obtidas apenas duas das cinco disponíveis. Utilizou-se assim, análise de similitude e a nuvem de palavras. A análise de similitude possibilita identificar as coocorrências entre as palavras e seu resultado traz indicações da conexidade entre as palavras, auxiliando na identificação da estrutura da representação. E a nuvem de palavras agrupa as palavras e as organiza graficamente em função da sua frequência. É uma análise lexical mais simples, porém graficamente interessante (CAMARGO e JUSTO, 2013).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Corpus Textual criado continha cerca de quarenta publicações, que discorriam sobre aplicações de planejamento urbano e infraestrutura utilizando o geoprocessamento como principal ferramenta (Tabela 1).

No *software* Iramuteq, através do ambiente R, foi compilado o *corpus* e ele gerou as análises. A análise de Similitude é apresentada na Figura 1.

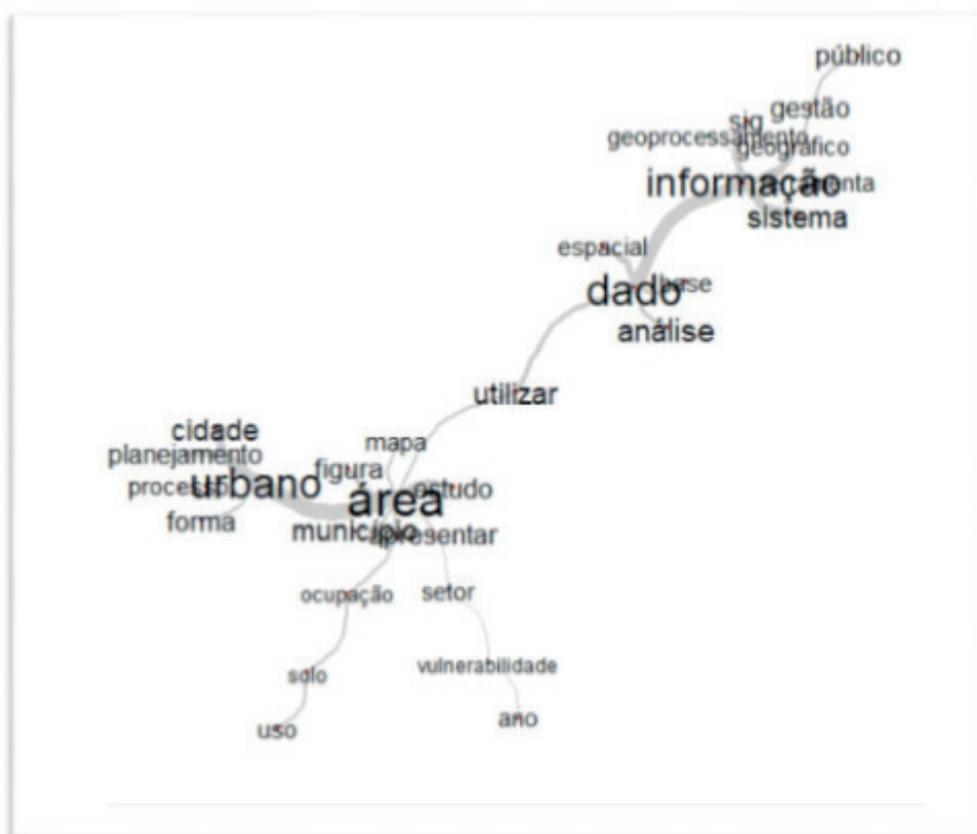


Figura 1: Gráfico de Análise de Similitude

Fonte: Autoria Própria

Essa análise apresenta a seleção das trinta palavras com mais ocorrências nos textos. A partir disso e com base na teoria dos grafos é possível identificar as ocorrências entre as palavras e as indicações da conectividade entre elas, auxiliando na identificação da estrutura do conteúdo de um *corpus* textual.

Título	Autor	Ano	PUBLICAÇÃO
Utilização Do geoprocessamento para verificação do potencial construtivo segundo a legislação vigente no município de João Pessoa-PB	SOUZA T.R.P ET AL	2016	VI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO
Regularização fundiária: O caminho para uma gestão eficaz de parques nacionais brasileiros	ALMEIDA G.A.G. E LOCH C.	2012	Revista Brasileira de Cartografia
Uso do geoprocessamento na modernização da gestão da informação na administração pública municipal: Estudo de caso da integração de cadastros municipais da prefeitura municipal de Itaboraí-MG	ALVARENGA G.F E CARDOSO L.	2011	e-Scientia
Planejamento e implantação de um programa de coleta seletiva: utilização de um sistema de informação geográfica na elaboração das rotas	BERNARDO M. E LIMA R.S.	2017	Revista Brasileira de Gestão Urbana
Mapeamento da vulnerabilidade a inundações e deslizamentos de terra no Estado do Paraná	GRASSI ET AL	2013	Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR
SIG aplicado a roteirização do transporte público exclusivo para pessoas portadoras de necessidades especiais	LEITE ET AL	2012	Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde
O uso da análise multicritério no mapeamento do desenvolvimento do saneamento básico do município de Viçosa-MG, entre os anos de 2000 e 2010	MIRANDA ET AL	2014	Revista Brasileira de Estudos Populacionais
Geoprocessamento na gestão urbana municipal – a experiência dos municípios mineiros Sabará e Nova Lima	CARVALHO E LEITE	2009	Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto
Geoprocessamento aplicado a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário: estudo de caso, consórcio Brejo Madre de Deus e Justuba- PE	ROCHA ET AL	2015	Revista GEAMA
Avaliação da conformidade de Sinais de Trânsito para melhorar a segurança rodoviária em meio urbano: uma aplicação no Centro de Guimarães, Portugal	RODRIGUES ET AL	2017	urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)
Arquitetura da informação para integração de dados alfanuméricos e espaciais para apoio à tomada de decisão	CHOAS ET AL	2010	Revista Brasileira de Cartografia
Geoprocessamento aplicado a gestão territorial urbana de Pedro Velho/RN	CORREIA, GALVÃO E ARAÚJO	2015	GEOCONEXÕES
O Geoprocessamento aplicado ao Planejamento e Monitoramento do Plano de Desenvolvimento do Estado do Paraná – PDE e PAC	DIAS JÚNIOR ET AL	2009	Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto
Sistema De Informação Geográfica (SIG) na gestão pública: Caso do município de Caucaia-CE	MEDEIROS	2008	II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Elaboração da carta de vazios urbanos em São Sebastião do Paraíso (MG)	OLIVEIRA E PEREIRA	2016	CIÊNCIA ET PRAXIS
Planejamento e gestão territorial usando um SIG em ambiente Web	MEDEIROS	2012	IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Análise da distribuição dos hidrantes urbanos no município do Natal/RN através do estimador de densidade Kernel	ROSA E SILVA	2016	REVISTA HOLOS
Seleção de áreas adequadas para a instalação de aterro sanitário utilizando SIG e análise multicritério – estudo de caso: UGRHI 5 (Piracicaba/Capivari/Jundiaí)	SPIGOLON ET AL	2015	Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR
Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública	PEGORARO, GUBIANI E PHILIPS	2013	Simpósio Argentino de Informática y Derecho, SID 2013
Implantação de um SIG ambiental na gestão municipal	REZENDE	2012	III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
O geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana	RIBEIRO E SCHIEBELBEIN	2014	REVISTA TECHNOENG
Proposta de mobilidade coletiva para a Região Metropolitana de Florianópolis pensada a partir de imagens do Satélite GeoEye e banco de dados de software SIG	SCHMITT ET AL	2013	Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR
Ferramenta SIG de cálculo de estimativa populacional para o planejamento urbano na cidade do Rio de Janeiro	MANDARINO ET AL	2013	Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR
Geotecnologias Aplicada ao Planejamento Urbano: Um Estudo de Caso Sobre a Acessibilidade na Comunidade Alto Bela Vista, Pacoti - Ceará.	VALDIVINO, MATOS E OLIVEIRA	2016	Xavier et al., REGNE
Utilização dos SIG no planejamento urbano: Evolução e barreiras	BUGS	2013	JORNADA DE MORFOLOGIA E MODELAGEM URBANA
Os sistemas de informação geográfica e o planejamento urbano saudável na Amadora	SANTANA, COSTA E LOUREIRO	2014	Revista do Departamento de Geografia – USP
Evolução da vulnerabilidade à erosão costeira na Praia de Massaguapé (SP), Brasil	RIBEIRO ET AL	2013	Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management
Análise exploratória-espacial do município de Santo Antônio de Goiás - Go	QUIRINO, CLEMENTINO E CASAROLI	2017	Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR
O geoprocessamento no planejamento e execução de programas municipais: O caso do programa de melhoria habitacional Morar Melhor em Salvador, Bahia.	PEREIRA NETO E GUIMARÃES	2016	4º GeoAlagoas – Simpósio sobre as geotecnologias e geoinformação no Estado de Alagoas
Estudo De Ferramentas De Informação Geográfica Para Otimizar O Uso E Ocupação Do Solo No Entorno De Aeroportos	SANTOS, SANROS E ELLER	2010	Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR
Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió, AL	MARTINS, BONHOMME E ADOLPHE	2013	Ambiente Construído, Porto Alegre
Aplicação de técnicas de geoprocessamento para a adequação da delimitação espacial dos setores censitários, caso da cidade de Alcobaça, BA	SPANGHERO P.E.S.F. ET AL	2017	Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR
A implantação da infraestrutura estadual de dados espaciais do Rio Grande Do Sul: considerações iniciais	MORAES F.D.; CUNHA L.F. E BARBOSA M.S.R.	2018	BOLETIM GEOGRAFICO DO RIO GRANDE DO SUL
Sistema de Informações Georreferenciadas (SIG) para análise de serviços de saneamento da cidade de Curitiba	JORGE M.T.E.	2008	II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
Ferramenta de Gestão Urbana: O uso do SIG na detecção dos problemas das construções irregulares, um estudo de caso de Natal, RN/Brasil.	MACEDO Y.M. E MACIEL A.B.C	2011	Base de Pesquisa de Estudos Geoambientais
Uso de geotecnologias para análise geomorfológica usando o uso e cobertura de terra no município de Niterói-RJ	Costa, B.L.; Marins, L.S.; Neto, D.S.;	2014	REVISTA GEONORTE
Identificação de áreas com impactos ambientais causados pelo uso e ocupação do solo urbano do município de Pato Branco - PR	TABALPA N.L. E SCHENATTO F.J.A	2004	CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
Aplicação de geoprocessamento e sensoriamento remoto no refinamento de análises espaciais demográficas: a situação habitacional do Litoral Norte Paulista	ROSEBACK R.G. ET AL	2017	ANAIS DO XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR
Potencial de uso e ocupação urbana do solo no município de Campos dos Goytacazes - RJ, utilizando mapeamento geológico-geotécnico e técnicas de geoprocessamento	COSTA A.N. E ALVES M.G.	2006	REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA
Áreas aptas à expansão na zona urbana do Município de São José dos Campos-SP	BENTO M.P. E SIMI JUNIOR R.	2015	Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -SBSR
Avaliação e verificação do raio de abrangência dos equipamentos comunitários urbanos de segurança da cidade de Angicos/RN	MEDEIROS C.A. ET AL	2018	Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC 2018

Tabela 1: Publicações utilizadas no Corpus

Observa-se que há quatro palavras que mais se destacam: “informação”, “dado”, “utilizar” e “área”. Essas palavras justificam a contextualização de um sistema de informações geográficas. Delas se ramificam outras que apresentam expressão significativa, como “sistema”, “análise”, “urbano” e “município” (Figura 1). Nessas ramificações já se apresentam as aplicações em ambiente urbano, propício a análise de planejamento e infraestrutura

Nesse sentido, pode-se inferir que, de uma forma geral, os discursos das publicações, apresentam referências que, de acordo com a literatura exposta, são inerentes ao processo de implantação de um SIG em um município, como forma de ferramenta auxiliar ao processo de gestão pública. Estes também demonstram onde possuem maior aplicabilidade, como pode ser visto a recorrência das palavras “vulnerabilidade”, “cidade” e “solo”. Revelam também outros aspectos fundamentais para a compreensão mais ampla acerca do assunto. Entre elas, está a ligação da palavra “geoprocessamento”, com a palavra “informação” e derivadas, aparecem “gestão” e “público”. Uma outra relação observada na imagem é a força apresentada entre as palavras. Tal força, pode ser verificada a partir da espessura das ligações. Quanto mais forte a relação entre as palavras, maior a espessura. É o caso das palavras relação entre as palavras: “urbano”, “área” e “cidade”.

Através da análise e das relações entre as palavras informação e área, podemos observar a aplicação em São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais. Nesse caso foi elaborado o mapeamento dos vazios urbanos, no âmbito do perímetro urbano e áreas verdes legalizadas. O objetivo era buscar a compreensão da descontinuidade no processo de urbanização (OLIVEIRA e PEREIRA, 2016).

Uma outra aplicação similar pode ser observada com a implantação da Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado do Rio Grande do Sul (IEDE-RS). A obtenção das informações para a infraestrutura de dados tem como objetivo tornar-se uma importante ferramenta para os processos de planejamento e gestão governamental, bem como um elemento de melhoria na gestão de dados geoespaciais (MORAES, CUNHA e BARBOSA, 2018).

Em seguida, analisou-se a nuvem de palavras obtida por meio da seleção das 200 palavras com mais ocorrência no Corpus textual (Figura 2).

A análise por meio de nuvem de palavras mostra as palavras estruturadas em forma de nuvem, com tamanho diferentes, (onde o tamanho está relacionado a frequência com que a palavra aparece no corpus textual) onde as palavras maiores são aquelas que detêm certa importância no corpus textual (a partir de um simples indicador de frequência).

Observou-se que uma das maiores aplicações ocorridas se trata do planejamento acerca do uso e ocupação do solo (cerca de 192 ocorrências, cada palavra). Dessa forma, pode-se buscar, no *corpus* criado, exemplos de aplicações que estejam interligadas ao estudo de uso e ocupação do solo e relacionar as informações delas obtidas para que sirvam de alicerce para tomadas de decisão. Como por exemplo, a aplicação discutida por Correia; Galvão e Araújo (2015), que se trata da gestão territorial urbana, um estudo de caso de Pedro Velho – RN, em que foi utilizado o geoprocessamento para discutir acerca da qualidade do solo e das lagoas de estabilização do município.



ambos os gráficos obtidos, concretizando os resultados.

Realçou-se, então, que o uso do geoprocessamento constitui uma ferramenta importante para o acompanhamento das evoluções e transformações que passam os territórios e populações, e que busca a interação da prestação de serviços concomitantemente às necessidades da população, fazendo-se, assim, cada vez mais necessária à administração pública.

Mediante o estudo feito observou-se grandes ocorrências de aplicações do SIG para planejamento urbano e infraestrutura, que tratam da importância de se estudar e verificar o uso e ocupação do solo, bem como o crescimento geográfico do seu território para aplicações de recursos e tomadas de decisões mais acuradas.

Ademais, salienta-se que grande parte dessas aplicações não foram realizadas pelos gestores municipais, tendo cunho teórico, com intuito de comprovar a real importância da inserção do geoprocessamento como ferramenta de gestão, tornando claro seu uso como um auxiliar no subsídio a tomada de decisões.

Posto isso, pode-se considerar a ocorrência de um descaso ou falta de conhecimento da aplicação dessa ferramenta por parte da gestão pública. Dessa forma, publicações técnico-científicas podem ajudar a difundir o uso prático do SIG na gestão pública.

## REFERÊNCIAS

ASSUMPÇÃO, ALINE. **RECADADO AOS PREFEITOS: COMO ARRECADAR MAIS COM A GEOINFORMAÇÃO**. INFOGEO, CURITIBA, v.3, n.17, p.40-45, JAN./FEV. 2001.

CAMARGO, B. V., JUSTO, A. M. (2013). **IRAMUTEQ: UM SOFTWARE GRATUITO PARA ANÁLISE DE DADOS TEXTUAIS**. TEMAS EM PSICOLOGIA, 21 (2), 513-518.

CORREIA, L. A. M. B.; GALVÃO, M. L. M.; ARAÚJO, A. L. C.. **GEOPROCESSAMENTO APLICADO A GESTÃO TERRITORIAL URBANA DE PEDRO VELHO/RN**. GEOCONEXÕES, NATAL, v. 1, n. 1, p.44-50, DEZ. 2015.

DOMINGUES, C. V. **APLICAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NO PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO DA GESTÃO MUNICIPAL**. 2005. 100 F. DISSERTAÇÃO (MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL.

FARINA, FLAVIA C.. **ABORDAGEM SOBRE AS TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO APLICADOS AO PLANEJAMENTO E GESTÃO URBANA**. EBAPE, CANOAS, v. 4, n. 4, p.1-13, DEZ. 2006.

MEDEIROS, CLEYBER NASCIMENTO DE. **PLANEJAMENTO E GESTÃO TERRITORIAL USANDO UM SIG EM AMBIENTE WEB**. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 8., 2012, RECIFE. ANAIS... . RECIFE: SEPLAG, 2012. p. 001 - 009.

MORAES, Fernando Dreissig de; CUNHA, Laurie Fofonka; BARBOSA, Maria do Socorro Ramos. **A IMPLANTAÇÃO DA INFRAESTRUTURA ESTADUAL DE DADOS ESPACIAIS DO RIO GRANDE DO SUL: CONSIDERAÇÕES INICIAIS**. *Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, v. 1, n. 31, p.120-143, 2018.

OLIVEIRA, EVERARDO ANGELO JOSE. **METODOLOGIA PARA PROJETOS DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA**. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.DER.MG.GOV.BR/IMAGES/TRABALHOSACADEMICOS/EVERARDO.PDF](http://www.der.mg.gov.br/images/trabalhosAcademicos/everardo.pdf)>.

OLIVEIRA, GUSTAVO FIALKOWSKI DE; PEREIRA, DANIELA DOS SANTOS. **FUNÇÃO SOCIAL DA CIDADE E O PLANEJAMENTO URBANO**. DISPONÍVEL EM: <[HTTP://WWW.UEL.BR/POS/MESTRADOSERVICOSOCIAL/CONGRESSO/ANAISTRABALHOS/EIXO9/ORAL/30\\_FUNCAO\\_SOCIAL\\_DA\\_CIDADE....PDF](http://www.uel.br/pos/mestradoservicosocial/congresso/ANAISTRABALHOS/EIXO9/ORAL/30_FUNCAO_SOCIAL_DA_CIDADE....PDF)>.

ROSA, Roberto. **INTRODUÇÃO AO GEOPROCESSAMENTO**. 2013. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Universidad e Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.

TRASK, R.L. 2004. **DICIONÁRIO DE LINGUAGEM E LINGÜÍSTICA**. SÃO PAULO, CONTEXTO, 364 P.

## MODAL ÔNIBUS NA CIDADE DE MOGI GUAÇU/SP - ESTUDO E PROPOSIÇÕES

**Antoniane Arantes de Oliveira Roque**

Faculdades Integradas Maria Imaculada - FIMI  
Mogi Guaçu - SP

**Luiz Carlos Rossi**

Faculdades Integradas Maria Imaculada – FIMI  
Mogi Guaçu - SP

**RESUMO:** O transporte público pelo modal ônibus vem passando por um círculo vicioso de diminuição de demanda e aumento de custo, resultando em insatisfação do usuário e impactando a mobilidade urbana. Este trabalho procurou analisar a logística do transporte público na cidade de Mogi Guaçu/SP a fim de diagnosticar sua situação atual. A avaliação foi feita através de vetorização das linhas existentes na área de estudo, sobre imagens de sensoriamento remoto disponibilizadas de forma gratuita no ambiente Google Earth, concomitantemente com análises realizadas no *software* QGIS 3.2. Os resultados demonstraram que, apesar de haver uma assistência adequada às áreas de demandas pelo transporte, com boa acessibilidade às linhas, algumas medidas de racionalização e distribuição de itinerários podem melhorar a dinâmica do sistema, visando uma futura redução de custo com possíveis reflexos positivos aos usuários. A tarifa mostrou-se elevada, principalmente quando se considera a quantidade de quilômetros

rodados em cada itinerário. O modelo de organização dos itinerários é estruturado em Linhas Independentes que circulam as regiões periféricas e se dirigem ao centro através de determinadas avenidas, onde ocorre a maior sobreposição de linhas. Esta sobreposição pode ser evitada através da adoção de terminais de integração e adoção de corredores de ônibus que interliguem os terminais periféricos ao terminal central.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transporte público, corredor de ônibus, bilhete único, geoprocessamento.

### MODAL BUS IN THE CITY OF MOGI GUAÇU / SP - STUDY AND PROPOSITIONS

**ABSTRACT:** Public transportation by the modal bus has been going through a vicious cycle of decreasing demand and cost increase, resulting in user dissatisfaction and impacting urban mobility.. This work sought to analyze the logistics of public transportation in the city of Mogi Guaçu / SP in order to diagnose its current situation. The evaluation was made through vectorization of the existing lines in the study area, on remote sensing images made available for free in the Google Earth environment, concomitantly with analyzes performed in QGIS 3.2 software. The results showed that, although there is adequate assistance to the areas of transport demands,

with good accessibility to the lines, some measures of rationalization and route distribution can improve the dynamics of the system, aiming at a future cost reduction with possible positive users. The rate has been high, especially when considering the number of kilometers routed in each itinerary. The itinerary organization model is structured in Independent Lines that circulate the most peripheral regions and go to the center through certain avenues, where the greatest overlap occurs. This overlap can be avoided by adopting integration terminals and adopting bus lanes that interconnect the peripheral terminals to the central terminal.

**KEYWORDS:** Public transport, bus corridor, single ticket, geoprocessing.

## 1 | INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno complexo que pode ser observado em quase todos os países do mundo. Com o crescimento das cidades, a necessidade de deslocamento de seus habitantes mostrou-se imprescindível para a dinâmica econômica e social destes centros urbanos. Por isso, ao longo do tempo, foram se desenvolvendo vários tipos de transporte e meios de locomoção, envolvendo desde a utilização de veículos individuais como automóveis e motocicletas, assim como trens, metrô, ônibus, taxis e, mais recentemente, os aplicativos de celulares (Leite; Rocha; & Souza, 2013).

Parra (2006) levanta que o transporte público vem se posicionando como um eixo importante para o planejamento, desenvolvimento e gestão das cidades em diversos lugares do mundo, com diversas experiências implantadas pelo Estado para melhorar a qualidade de vida dos seus cidadãos, aperfeiçoar seus níveis de produtividade, aumentar a justiça social e, conseqüentemente, se tornarem sustentáveis.

De acordo com IPEA (2011), nas áreas urbanas dos municípios com mais de 60 mil habitantes, são realizados por dia cerca de 148 milhões de deslocamentos, sendo que, 35% destes deslocamentos são feitos a pé, 32% por transporte coletivo e 28% de automóvel. Observando que 84% dos deslocamentos por transportes coletivos são feitos de ônibus.

No entanto, Andrade et al. (2004) ressalta que a maioria das cidades brasileiras foi adaptada para o uso eficiente do automóvel, onde as ampliações do sistema viário visavam garantir boas condições de fluidez, e paralelamente, os sistemas de transporte público, apesar de alguns investimentos, permaneceram insuficientes para atender a demanda crescente.

Porém, ao longo das últimas décadas, políticas de investimento priorizaram o transporte privado em detrimento do público, ocasionando o sistemático encarecimento das tarifas praticadas, aliado ao barateamento de meios de transportes privados como automóveis e motocicletas, prejudicando a competitividade do setor, ocasionando a perda de passageiros, e o aumento da frota de automóveis, resultando em um

círculo vicioso de redução dos passageiros e aumento da tarifa do transporte público (IPEA, 2011).

Para reverter este quadro, Vasconcellos (2000) salienta serem necessárias mudanças nos paradigmas que norteiam as políticas de transporte público. As políticas de circulação devem analisar fluidez, segurança, acessibilidade, nível de serviço dos transportes, custo e a qualidade ambiental, pois são elementos essenciais ao controle da circulação, considerando também que os usuários possuem necessidades diferentes de deslocamento e demandas conflitantes.

Para garantir cidades mais sustentáveis, políticas de priorização de transporte público são necessárias, de forma a garantir uma circulação mais eficiente, traduzindo-se em taxa de ocupação para os veículos compatíveis com padrões de conforto do usuário. O incentivo para atrair o usuário para o transporte público passa diretamente pela compreensão de que o serviço por transporte em ônibus é um produto (Alves; Silva; & Waerden, 2012).

Existem iniciativas práticas que tentam reverter esta falta de atratividade do transporte público através da redução das tarifas e elevação do nível de satisfação dos usuários. Neri (2010) apresenta uma iniciativa do governo do Estado do Rio de Janeiro, em que se implantou o Bilhete Único, proporcionando redução no custo da viagem, refletindo diretamente sobre o orçamento e o bem-estar de cada clientela potencial, pela transferência de renda e pela ampliação de escolha do seu público.

Além dos problemas já citados, o transporte público possui impacto ambiental como efeito negativo adicional, em virtude da utilização de combustíveis fósseis nos veículos a combustão. Guenther e Padilha (2016) salientam que além de consumir quase um terço da energia nacional, o transporte representa a maior fonte de poluição urbana, sendo o transporte a diesel o causador de quase a totalidade da emissão de material particulado (MP) e óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ).

Ainda, segundo o IPEA (2011), o uso crescente de combustíveis fósseis como fonte energia para o transporte coletivo e individual aumenta muito as emissões poluentes apesar da indústria ter se empenhado em produzir veículos menos poluidores. Esta situação causa prejuízos à saúde humana e ao meio ambiente.

O presente estudo procurou analisar a viabilidade de se racionalizar o transporte público na cidade de Mogi Guaçu/SP, identificando a sobreposição de linhas, disponibilidade de horários, regiões assistidas, visando o diagnóstico e proposição de medidas que impactem positivamente na mobilidade urbana predominantemente com referência ao transporte público por ônibus.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

O município de Mogi Guaçu (Figura 1) localiza-se no interior do Estado de São Paulo, na região de Campinas, seu território abrange uma área de 812,75 km<sup>2</sup>. É

considerado um município de porte médio, segundo o último levantamento do censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2010) e possui uma população de 137.245 habitantes, dos quais 95% residem na área urbana.



Figura 1 – Região de estudo.

Fonte: Autores, 2019.

Para desenvolver este estudo, tornou-se necessário identificar as linhas de transporte público da cidade de Mogi Guaçu (Figura 2) e os respectivos itinerários. A partir da descrição dos itinerários fornecidos pela empresa responsável pelo transporte da cidade, foram possíveis a vetorização e o mapeamento das regiões abrangidas pelo referido sistema.

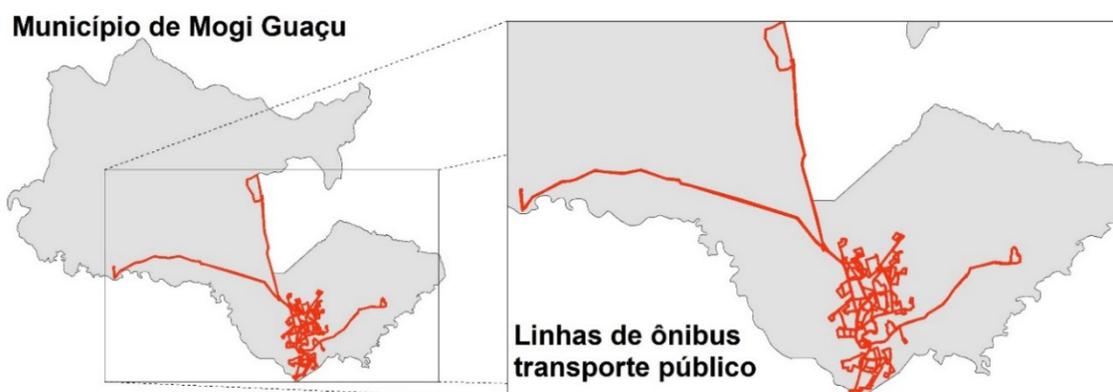


Figura 2 – Itinerários percorridos pelas diferentes linhas de ônibus.

Fonte: Autores, 2019.

A descrição de itinerários permitiu a verificação de sobreposições de linhas, rotas utilizadas, regiões de origem e destino de viagens e confrontação de regiões assistidas, utilizando-se como base para esta análise combinada de abrangência, as vetorizações e classificações apresentadas por Roque, Abreu Junior e Ribeiro (2019).

A manipulação dos dados, vetorizações e cruzamentos geoespaciais foram realizados em ambiente de SIG (Sistemas de Informações Georreferenciadas)

utilizando-se o *software* QGIS versão 3.2, com uso combinado das imagens de sensoriamento remoto disponibilizadas pela plataforma Google Earth, e processamentos geoespecializados avançados do SAGA GIS 2.3.2.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cada itinerário existente possui um nome de linha de transporte de acordo com a região de destino (Figura 3), e recebeu um número de identificação, perfazendo um total de 18 linhas com a descrição de número de veículos em circulação, nos respectivos percursos e horários disponíveis à população.

Observando-se o mapa da Figura 3, com a vetorização das linhas e seus itinerários, nota-se a intensa sobreposição de linhas e a intersecção das rotas de todos os referidos itinerários. A disposição das linhas indica que foram desenhadas com o intuito de se direcionar a todas as regiões (Leste, Oeste, Norte e Sul.)

Verifica-se também que determinadas avenidas da cidade se transformaram em corredores radiais pelo fato de receberem o fluxo dos veículos de transporte público oriundos das regiões mais periféricas que se dirigem ao Terminal dos Ingás, localizado no centro da cidade. Neste quesito, destacam-se: Avenida 09 de Abril, Avenida Bandeirantes, Avenida dos Trabalhadores, Avenida Suécia, Avenida Emília Marchi Martini e Avenida Padre Jaime.

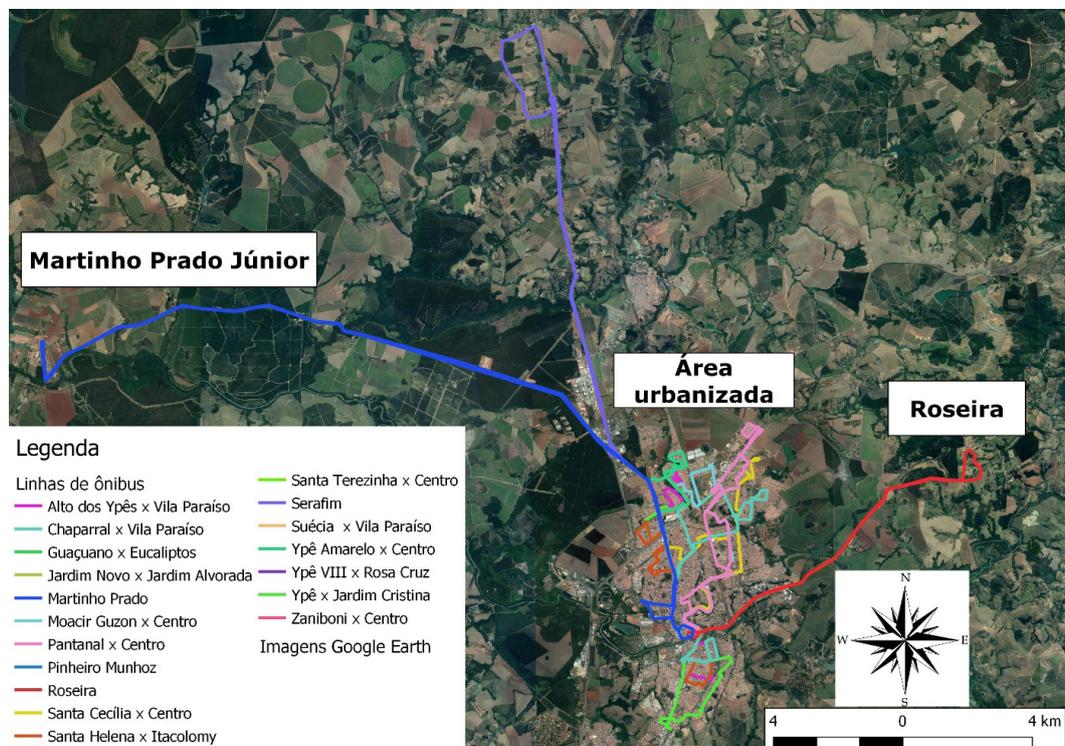


Figura 3 - Linhas de ônibus e seus itinerários geoespecializados.

Fonte: Autores, 2019.

Para cada desenho de itinerário foi delimitada uma área de influência (buffer) ao longo das linhas num valor correspondente à medida de 300 metros. Este parâmetro foi definido de acordo com os estudos executados por Pianucci (2011), onde foi considerado um padrão de qualidade do transporte público que classifica a acessibilidade como boa (até 300 metros), regular (entre 300 e 500 metros), ou ruim (acima de 500 metros) em função da distância de caminhada do usuário ao embarque.

Esta área de influência é apresentada no mapa da Figura 4, notando-se sua boa cobertura relativa a área urbanizada do município e suas conexões com o distrito de Martinho Prado Júnior e os bairros rurais. Efetuou-se ainda sua intersecção com os padrões de ocupação urbana realizados por Roque, Abreu Junior e Ribeiro (2019).

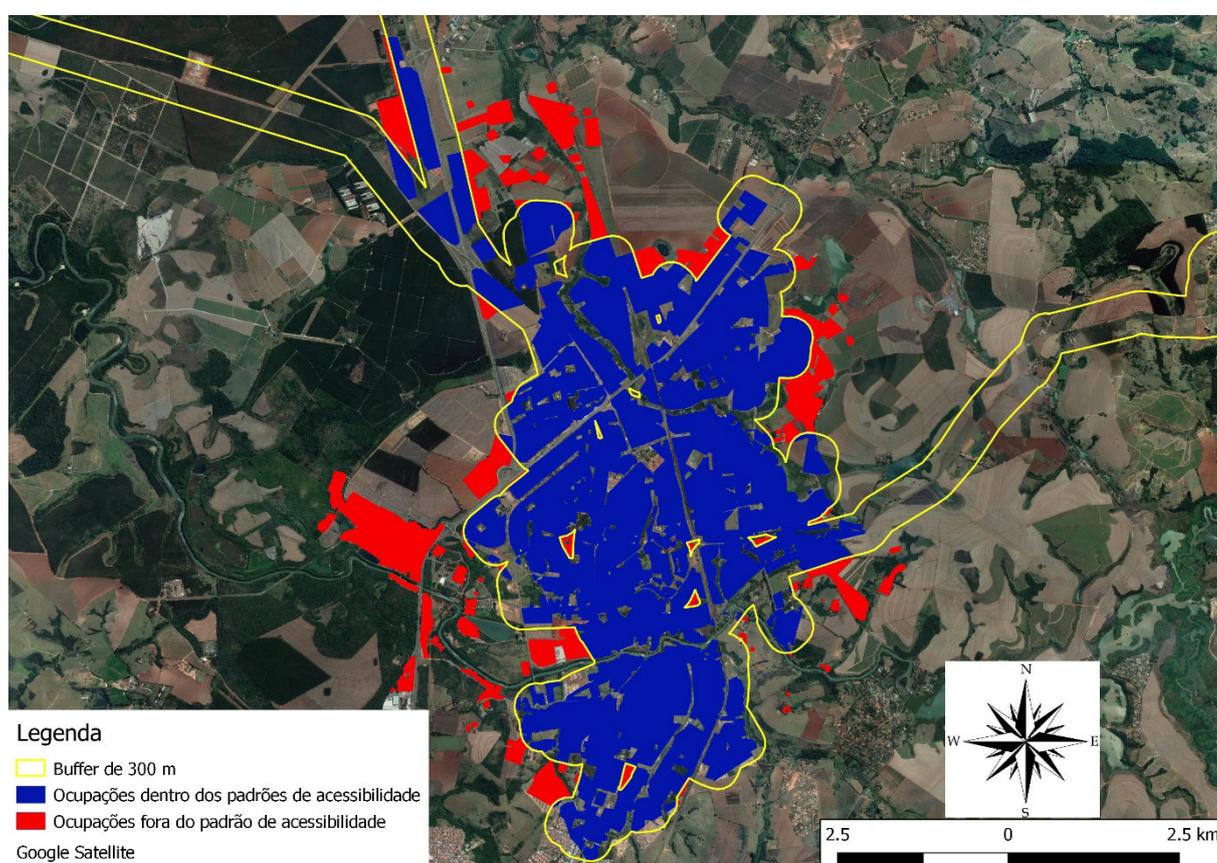


Figura 4 - Atendimento do Sistema de Transporte Público.

Fonte: Autores, 2019.

No mapa da Figura 4, o referido Buffer está desenhado em amarelo e pode-se notar que, seu desenho de abrangência adquiriu um formato com braços de prolongamento apenas nas linhas que acessam a área rural do município. Com a delimitação desta área de influência considerada de boa acessibilidade, efetuou-se o cruzamento com os padrões de ocupação do solo urbanizado, visando-se o comparativo com a população atendida pelo transporte público por ônibus.

Devido ao fato de haver três linhas rurais além das linhas urbanas na composição do Buffer, ao se comparar a área de abrangência deste trabalho com o descrito por

Roque, Abreu Junior e Ribeiro (2019), constatou-se uma diferença de 40,12 km<sup>2</sup>, indicando um potencial de crescimento do urbanizado levando-se em consideração o atendimento por transporte público por ônibus.

A área coberta dentro dos padrões de boa acessibilidade, bem como o padrão de ocupação destas áreas é apresentado na Tabela 1.

Verifica-se que a região de médio padrão é a melhor atendida pelo transporte público por ônibus, representando 90,6% deste padrão de ocupação, seguida por 88,0% das áreas de baixo padrão.

Intersecção com 300 m de acessibilidade		
Ocupação	Área (km <sup>2</sup> )	%
Alto Padrão	0,482	51,4
Baixo Padrão	7,793	88,0
Industrial	3,931	59,1
Médio Padrão	11,998	90,6

Tabela 1 – Padrões de ocupação do solo com boa acessibilidade ao transporte público por ônibus.

Fonte: Autores, 2019.

Dentre as áreas não cobertas na área de abrangência classificada como de boa acessibilidade, destaca-se as de alto padrão, com 48,6% de suas áreas não abrangidas com um bom acesso ao transporte por ônibus. As áreas não cobertas com boa acessibilidade são apresentadas na Tabela 2.

Não cobertura por 300 m de acessibilidade		
Ocupação	Área (km <sup>2</sup> )	%
Alto Padrão	0,456	48,6
Baixo Padrão	1,064	12,0
Industrial	2,721	40,9
Médio Padrão	1,243	9,4

Tabela 2 - Padrões de ocupação do solo não abrangidos com boa acessibilidade ao transporte público por ônibus.

Fonte: Autores, 2019.

Analisando-se as Tabela 1 e Tabela 2, constata-se que, os setores em que encontramos características de ocupação como sendo de Baixo Padrão e Médio Padrão, são as áreas melhores assistidas com referência à acessibilidade, perfazendo um total de 88% e 90,6% respectivamente. Roque, Abreu Junior e Ribeiro (2019) descrevem estas ocupações de Baixo Padrão como regiões de maior densidade populacional e menor poder aquisitivo. E, como se pode observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, estão localizados nas regiões mais periféricas da

cidade seguindo um padrão de crescimento ao longo do eixo Norte, Nordeste e Leste do município.

Estes dados corroboram a afirmação de que, para a maioria das cidades, onde a necessidade de oferecimento de transporte público para a população de mais baixa renda que, geralmente, reside em regiões mais distantes do centro da cidade, a solução mais viável ainda é o transporte público através da utilização de ônibus (IPEA,2011).

No entanto, com referência à acessibilidade ser ligeiramente maior na região de Médio Padrão, no caso específico de Mogi Guaçu, esta situação se justifica pelo simples fato de que as ocupações com esta determinada características se concentram preferencialmente nas regiões mais antigas da cidade, com lotes de porte médio, ao redor da região centro-sul, local para onde convergem todos os ônibus.

Com relação às regiões Industrial e de Alto Padrão, a acessibilidade é menor com 59,1% e 51,4% respectivamente. Isto se deve, muito provavelmente ao fato de haver uma demanda menor por este tipo de serviço nestes locais. Muito provavelmente o meio de transporte mais utilizado ocorra através de veículos particulares, quer seja por maior poder aquisitivo desta população nas regiões de Alto Padrão ou, no caso das indústrias de maior porte, com disponibilização de ônibus fretados aos seus funcionários. Segundo Scherer (2016), muitas indústrias têm oferecido transporte exclusivo aos seus funcionários como forma de impactar positivamente a qualidade de suas organizações.

Um total de 5 linhas com uma distância entre pontos menor que 300 metros, consideradas como boas, foram encontradas, porém, as 10 linhas restantes, consideradas como regulares, apresentaram valores muito próximos de 300 metros e apenas uma delas apresentou um valor de 401,68 metros. Estes resultados indicam que a acessibilidade do usuário do transporte público na cidade de Mogi Guaçu pode ser considerada como de boa qualidade, excetuando-se as linhas rurais.

Segundo Souza e Torres (2015) existem basicamente três modelos de organização de linhas de ônibus. O primeiro modelo é estruturado em Linhas Independentes que circulam as regiões mais periféricas e se dirigem ao centro através de um corredor radial, sem nenhum tipo de integração entre as linhas. Neste caso, ocorre a sobreposição de vários itinerários. O segundo modelo é o Sistema Tronco-Alimentado e utiliza um sistema em que as linhas que percorrem determinadas regiões convergem para um terminal estrategicamente comum e, através de um corredor, utilizando-se de uma única linha, dirige-se ao centro. O terceiro modelo, Sistema em Rede, é mais complexo e prescinde de um número maior de terminais nas regiões periféricas conjuntamente com conexões perimetrais que se interconectam aos corredores radiais.

Ao se analisar as rotas das linhas dos ônibus urbanos, pode-se constatar que o sistema adotado no transporte público da cidade de Mogi Guaçu assemelha-se ao

modelo de Linhas Independentes, sendo o Terminal dos Ingás o destino da região central para onde convergem todos os itinerários. Na Tabela 3 são apresentadas as avenidas consideradas como corredores radiais e o número de ônibus disponibilizados pelo sistema de transporte que trafega em cada uma delas.

<b>CORREDOR RADIAL</b>	<b>NÚMERO DE VEÍCULOS</b>
Avenida Bandeirantes	19
Avenida 09 de abril	29
Avenida dos Trabalhadores	23
Avenida Emília Marchi	09
Avenida Suécia	10
Avenida Padre Jaime	18

Tabela 3 - Identificação de corredores centrais.

Fonte: Autores, 2019.

Diante deste quadro, pode-se sugerir que os administradores municipais executem estudos para se implementar um sistema de integração. Segundo Godinho e Miranda (2014) a implantação do sistema integrado deve ser considerada quando a cidade começa a apresentar situações de crescimento acentuado; necessidade de utilização de duas ou mais conduções por viagem, linhas que já não conseguem atender aos desejos dos usuários; demanda que ultrapassa o limite operacional do modo de transporte, corredor de tráfego saturado; queda da qualidade do serviço e degradação ambiental. Dos critérios utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, constata-se que a cidade de Mogi Guaçu apresenta ao menos dois requisitos para se considerar a implantação de um sistema integrado: velocidade de crescimento urbano e saturação dos corredores por onde trafegam os ônibus devido à sobreposição de linhas.

Ainda, segundo Godinho e Miranda (2014), a integração tem como objetivo aumentar a acessibilidade dos usuários ao sistema de transporte e aos destinos desejados. A forma e o local para a integração se realizar dependem dos modos envolvidos, da solução tarifária e institucional e dos volumes de veículos e passageiros. Quando a integração ocorre com o sistema de ônibus é comum a implantação de terminais urbanos. Diante disso, a integração é uma possibilidade para reorganizar o sistema, pois elimina a superposição de linhas e as reorganiza, constituindo o planejamento prévio no que tange ao traçado de itinerários, sendo então, um fator de grande importância para o bom funcionamento do sistema integrado.

No caso específico de Mogi Guaçu, considerando as regiões que requerem maior assistência pelo transporte público, poderia ser adotado um Terminal Norte. Segundo Souza e Torres (2015), para estes tipos de terminais deve haver integração com bilhete único entre as linhas que promovam o transporte das regiões adjacentes

ao terminal e deste para um terminal central através de corredores de ônibus, como por exemplo os BRT, VLT ou Trólebus.

Para se evitar a sobreposição de rotas, apresenta-se uma proposição de corredores centrais, baseado na análise combinada de linhas atuais e cobertura local, bem como a instalação de dois novos terminais (Leste e Norte), sendo os corredores de ônibus nas avenidas classificadas como radiais na Tabela 3.

Das opções para introdução de corredores de ônibus, os denominados BRT (*Bus Rapid Transit*) aparece como uma das soluções para o transporte de passageiros, com investimentos baixos e rapidez. Essa substituição para veículos de maior capacidade reduz o número de partidas dos terminais, e assim há menos veículos transitando na canaleta segregada, mantendo a via livre e com fluidez (Reis et al; 2013).

Segundo Carvalho e Pereira (2009), nos últimos anos tem ocorrido no Brasil um crescimento acima da inflação das tarifas de transporte público por ônibus. O principal componente de custo no transporte público urbano por ônibus no Brasil é a mão de obra com seus encargos sociais, seguido pelos gastos com combustível, principalmente o diesel, enquanto que pelo lado da demanda, observa-se que o volume de passageiros pagantes caiu bastante em relação ao final do século passado. A conjunção desses dois fatores — elevação dos custos e redução dos níveis de passageiros pagantes — provocou a elevação do preço das tarifas em termos reais.

Segundo o Diário Oficial da União, publicado em 29/12/2017, o valor do salário mínimo corresponde a R\$954,00 para o ano de 2018, enquanto que o valor da passagem de ônibus em Mogi Guaçu para este mesmo ano corresponde a R\$4,20 na catraca e R\$ 4,00 para os que utilizam o bilhete eletrônico. Se considerarmos duas viagens ao dia, cinco dias por semana, por quatro semanas, obteremos os valores apresentados na Tabela 4.

	<b>Custo do transporte</b>	<b>% do salário mínimo</b>
<b>Bilhete</b>	R\$160,00	16,7%
<b>Catraca</b>	R\$168,00	17,6%

Tabela 4 - Relação custo mensal com transporte público e salário mínimo.

Fonte: Autores, 2019.

Estes dados podem ser comparados aos estudos de mobilidade executados pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2013) que fez um levantamento sobre o peso do transporte público frente ao salário mínimo de vários países ao redor do mundo, considerando um deslocamento de 10 quilômetros, ida e volta, por 20 dias úteis. Constata-se que o impacto econômico do transporte público encontrado para a cidade de Mogi Guaçu aproxima-se dos dados

aferidos para a cidade de São Paulo e, por consequência, posiciona-se num dos patamares mais elevados para este quesito, principalmente quando comparado com o peso dos transportes para outras cidades do mundo.

Considerando que as 18 linhas de ônibus de Mogi Guaçu perfazem um total aproximado de 440 quilômetros, aferiu-se uma distância média percorrida de 24,4 quilômetros por linha. Sendo a menos extensa de 14,5 km e a mais extensa de 26,8 km para as linhas urbanas; lembrando que a maioria das linhas interligam regiões distintas através do Terminal Central dos Ingás, dificilmente um usuário da área urbana utilizaria o transporte por uma extensão maior que essa numa única viagem.

Já para as linhas rurais, a mais extensa foi de 57,7 km e a menos extensa de 23,7 km, porém, como as linhas foram dimensionadas se considerando o trajeto completo do Terminal Central até o bairro e vice-versa, a maior extensão entre o centro da cidade e a localidade rural mais distante deve ser considerada em aproximadamente 28,8 km.

No entanto, cabe ressaltar que comparações feitas entre a cidade de Mogi Guaçu e um conglomerado urbano como São Paulo podem introduzir distorções nas análises, visto que existem desproporções nas dimensões das cidades, porém, não deixa de ser sugestivo considerar que a tarifa de transporte público no Município de Mogi Guaçu esteja demasiadamente elevada para o usuário do sistema.

Alguns estudos já vinham sugerindo que o custo do transporte público estava se tornando inviável. Para Vasconcelos e Mendonça (2010) a população vem buscando alternativas de transporte que possam suprir a necessidade de deslocamento e, ao mesmo tempo, possuam menor custo de utilização.

## 5 CONCLUSÕES

A análise deste trabalho direciona para algumas conclusões que podem ser elencadas a seguir:

a) Com referência ao atendimento à população, o sistema de transporte público do município de Mogi Guaçu assiste adequadamente às regiões que demandam por tal serviço, principalmente as áreas mais densamente povoadas e com menor poder aquisitivo;

b) A acessibilidade, no que tange à distância aos pontos de embarque e desembarque, pode ser considerada como adequada para os ônibus que circulam pela área urbana. Enquanto que para as linhas classificadas como rurais, a referida acessibilidade encontra-se comprometida;

c) O modelo de organização dos itinerários é estruturado em Linhas Independentes que circulam as regiões mais periféricas e se dirigem ao centro

através de determinadas avenidas que acabam por se tornar corredores radiais, onde ocorre a maior sobreposição de linhas. Esta sobreposição pode ser evitada através da adoção de terminais de integração e adoção de corredores de ônibus que interliguem os terminais periféricos ao terminal central;

d) O custo das tarifas permanece elevado e pode comprometer uma parcela significativa dos rendimentos dos usuários, principalmente aqueles com menor poder aquisitivo;

e) Os resultados deste trabalho podem contribuir para estudos posteriores no que concerne à avaliação da vida útil da frota de ônibus utilizada em função da quilometragem adotada por cada veículo em seu respectivo itinerário.

## REFERÊNCIAS

ALVES, V.F.B., SILVA, A.N.R.D., & WAERDEN, P.V.D. Técnicas exploratórias para localizar potenciais usuários de transporte público urbano. **Journal of Transport Literature**, 6 (3), 180-203, 2012.

ANDRADE, K.R., PAULA, V.A.D., MESQUITA, A.P., & VILLELA, P.A. Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio. In: **Seminário Internacional da Lares**, 2004.

CARVALHO, C. H.R.; PEREIRA, R. H. M. **Gastos das Famílias Brasileiras com Transporte Urbano Público e Privado no Brasil: Uma Análise da POF 2003 e 2009**. Ipea, 2012 (Texto para Discussão IPEA N° 1803).

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO 2017. Disponível em: <http://www.in.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2018.

GODINHO, J.M.; MIRANDA, L.M. Aplicação de método de análise multicritério na escolha de traçado de linhas de ônibus de transporte público utilizando Sistema de Informação Geográfica. **E&S Engineering and Science**, v. 1, n. 1, p. 89-102, 2014.

GUENTHER, P.R.; PADILHA, T.D. Estudo de viabilidade para substituição de veículos a combustão por veículos de tração elétrica em uma linha de ônibus de Curitiba. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Elétrica). Paraná: UFPR, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo Demográfico do Município de Mogi Guaçu 2010**. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=353070>. Acesso em: 5 mai. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Transporte e mobilidade urbana**. São Paulo: IPEA, 2011.

LEITE, D.F.B.; ROCHA, J.H.; SOUZA, B. C. Busão: um sistema de informações móvel para auxílio à mobilidade urbana através do uso de transporte coletivo. In: **IX Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação**, p. 170-181, 2013.

NERI, M.C. **Impactos sociais do bilhete único intermunicipal no grande Rio**. Rio de Janeiro: FGV, 2010.

ORGANIZAÇÃO PARA COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – OCDE 2013. **As tarifas de transporte público pelo mundo**. Disponível em: <http://www.oecd.org>. Acesso em 10 out. 2018.

PARRA, F.R. Aportes para a melhoria da gestão do transporte público por ônibus de Bogotá, a partir das experiências de Belo Horizonte e Curitiba. **Papel político**, v. 11, n. 2, p. 557-594, 2006.

REIS, J.G.M., LIMA, J.O., MACHADO, S.T., & FORMIGONI, A. Bus Rapid Transit (BRT) como solução para o transporte público de passageiros na cidade de São Paulo. **Journal of Engineering and Technology Innovation**, São Paulo, v. 1, n. 1, p.83-98, 2013.

ROQUE, A.A.O.; Abreu Junior, J.; Ribeiro, S.R.M. Mapeamento e categorização dos padrões de ocupação do solo urbanizado de Mogi Guaçu/SP. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** Campinas, GALOÁ, 2019.

SCHERER, A.F.A. Redução de custos no transporte fretado: Estudo de caso realizado em uma montadora de veículos no Paraná. **Monografia de Especialização** (Sistemas Logísticos). Universidade Federal do Paraná. UFPR. Curitiba,2016.

SOUZA, O.P; TORRES, R.S. **Novos padrões de redes para a reorganização dos serviços de ônibus em São Paulo** 2015. Disponível em:< <http://www.antp.org.br>>. Acesso em: 10 out.2018.

VASCONCELLOS, E.A. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento: reflexões e propostas**. São Paulo: Annablume,2000.

VASCONCELLOS, E.A.; MENDONÇA, A. Política Nacional de Transporte Público no Brasil: organização e implantação de corredores de ônibus. **Revista dos Transportes Públicos**, Ano 33, 3º quadrimestre, 2010.

## VERIFICAÇÃO DA INFLUÊNCIA DE ALTITUDES EM LEVANTAMENTO DE DEFEITOS EM PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS COM AUXÍLIO DE VANT

### **Paulo de Souza Lima Neto**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes  
Fortaleza – Ceará

### **Francisco Heber Lacerda de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes  
Fortaleza – Ceará

### **Arielle Elias Arantes**

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia de Transportes  
Fortaleza – Ceará

### **Daniel Dantas Moreira Gomes**

Universidade de Pernambuco, Laboratório de Geoprocessamentos e Modelagem Ambiental  
Garanhuns – Pernambuco

**RESUMO:** A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) está em ascendência no mundo e o emprego destes como ferramenta para obtenção de imagens fotogramétricas é uma realidade no contexto da Engenharia de Transportes. Dessa maneira, neste artigo foram utilizados um VANT Multirotor para obtenção de imagens de pavimentos flexíveis e softwares de plano de voo e processamento de imagens de uma determinada via da cidade de Fortaleza – CE. Assim, por meio de interpretação visual, foi possível identificá-las e medi-las no pavimento. Os voos foram feitos em três alturas sendo 30,

40 e 50 metros, e sem a utilização de pontos de controle, sendo possível verificar a variação das medidas obtidas pelo levantamento, para que, futuramente, um método possa ser proposto. Concluiu-se que as diferentes alturas de voo interferem no fotolevanteamento dos defeitos de pavimentos, além ser possível perceber que o tamanho do defeito influencia na porcentagem de erro da mensuração.

**PALAVRAS-CHAVE:** VANT, rodovias, defeitos, fotogrametria, método.

### VERIFICATION OF THE INFLUENCE OF ALTITUDES IN ROAD PAVEMENT DEFECTS SURVEY WITH AID OF UAV

**ABSTRACT:** The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) is in ascendancy in the world and the use of these as a tool to obtain photogrammetric images is a reality in the context of Transport Engineering. In this article a Multirotor UVA was used to obtain images of flexible pavements and flight plan software and image processing of a certain highway in the city of Fortaleza -CE. Thus, through visual interpretation, it was possible to identify and measure them on the pavement. The flights were made in three heights, them being 30, 40 and 50 meters, and without the use of control points, being possible to verify the variation of the measurements obtained by the survey. It

was concluded that the different flight heights interfere with the photoleaving of the pavement defects, besides it is possible to perceive that the size of the defect influences the percentage of error of the measurement.

**KEYWORDS:** UAV, highways, defects, photogrammetric, method.

## 1 | INTRODUÇÃO

Como principal modo de transporte do país, as rodovias devem estar em constante avaliação, sendo avaliado seu estado para que os usuários possam utilizá-las de uma forma mais segura, com conforto e menor custo operacional. Segundo pesquisa feita pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), em 2018, o Brasil possuía uma malha rodoviária de 1,72 milhões de km, representando 61,1% da movimentação anual de cargas e passageiros; dessa malha, apenas 12,3% é pavimentada. Além disso, 58,2% das rodovias estaduais e federais analisadas apresentavam algum problema no pavimento, sinalização ou geometria.

A identificação dos defeitos tem por finalidade avaliar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos, permitindo um diagnóstico da situação funcional e, com isso, estabelecer soluções tecnicamente adequadas, indicando as melhores alternativas para a manutenção ou restauração do pavimento. (MARCON, 1996)

No Brasil geralmente são empregados 3 métodos mais usuais, o primeiro, Levantamento Visual Contínuo (LVC), tem uma baixa precisão mas rápida obtenção de dados e baixo custo, o segundo, Avaliação Objetiva de Pavimentos, tem alta precisão com um grande período de obtenção de dados e um custo relativo e, por último, existe a varredura a laser que tem uma alta precisão, rápida obtenção de dados mas um alto custo e difícil acesso para todas as regiões do País. Com isso, existe a necessidade de novos métodos que sejam acurados, rápidos e de baixos custos para obtenção de dados, sendo o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), uma tecnologia que preenche os requisitos descritos anteriormente.

A utilização do VANT vem sendo cada vez mais empregada para vários serviços. Estudos de Pessoa (2017) e Komazaki et al (2017) mostraram que são possíveis bons resultados tanto qualitativos, como quantitativos, aplicando estes veículos no auxílio dos levantamentos aerofotogramétricos.

A carência de publicações nacionais e até mesmo internacionais sobre a aplicação do VANT para auxílio no levantamento de defeitos de pavimentos, faz com que exista a necessidade de outros estudos para verificar as limitações dessa nova tecnologia. Principalmente quando a maioria dos trabalhos presentes no atual estado da arte não explicam os motivos por adotarem certas alturas, velocidades, quantidades de pontos de controle entre outras variáveis. Além de a maioria utilizar VANT do tipo asa fixa, um tipo menos acessível por conta do seu alto custo e que é inadequado para levantamentos urbanos já que esse necessita de uma grande área para pouso, ao invés de multirotores, que são mais simples e mais acessíveis.

Assim, adotando uma ferramenta como o VANT para levantamento de defeitos de uma certa via, é possível obter imagens de alta precisão, sendo possível compará-las ao decorrer do tempo, verificando os avanços da deterioração dos pavimentos e auxiliando um Sistema de Gerência de Pavimentos em suas tomadas de decisão.

Dessa maneira, o presente estudo de caráter metodológico-descritivo e qualitativo, tem como objetivo identificar a influência de três alturas de voo em um levantamento de defeitos de pavimento flexível sem a utilização de pontos de controle para determinar se a ausência dos mesmos pode ser aceitável.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar a mesma área, sobre diferentes alturas os mesmos equipamentos e *softwares* foram utilizados como será descrito nesta seção.

### 2.1 Área de Estudo

Como área de estudo, foi escolhido um trecho urbano de cerca de 400 metros de extensão, da Avenida Corrêa Lima. A via possui quatro faixas de tráfego, pavimentada em concreto asfáltico e com canteiro dividindo em duas pistas (Figura 1).



Figura 1. Trecho de estudo da Avenida Corrêa Lima.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A região onde está localizada essa via é de grande importância pois serve para interligar dois bairros que estão em desenvolvimento na cidade de Fortaleza, sendo eles Sapiranga e Edson Queiroz. Dessa maneira, a via apresenta um fluxo de tráfego leve e predominante de veículos de passeio.

### 2.2 Materiais

As ferramentas foram selecionadas para emprego no levantamento devido a serem empregadas em diversos segmentos como cartografia, geologia, filmagens aéreas, entre outros, além da maior facilidade e menor custo para se obter no atual mercado.

### 2.2.1 VANT

Para a coleta de imagens foi utilizado o VANT quadricóptero Phantom 4 Pro. O equipamento compreende uma plataforma aérea com sensores e câmera acoplados que possibilitam a obtenção de imagens fotogramétricas, sensores que aumentam a estabilidade da aeronave, como também a transmissão de dados para que seja possível o acompanhamento em tempo real da missão.

O VANT escolhido já vem acoplado com uma câmera que segundo a própria fabricante, tem as seguintes especificações: um sensor de 1 polegada atualizado com capacidades fotográficas de 20 megapixels. Esse sensor maior lhe permite 11,6 pontos de alcance dinâmico, o que mantém uma grande precisão, mesmo em situações ruins de iluminação, além de a mesma já ser acoplada a um *Gimbal* avançado de 3 eixos que elimina vibrações e movimentos indesejados durante o voo, permitindo que a câmera capture imagens suaves e fluidas mesmo durante manobras complexas. Maiores especificações se encontram na Tabela 1.

<b>Sensores</b>	5 sensores de colisão
<b>Câmera</b>	20 MP com sensor de 1 “
<b>Velocidade</b>	Máxima de 50 KM/H
<b>Bateria</b>	Duração de 20 à 30 min
<b>Gimbal</b>	Contem 3 eixos
<b>GPS</b>	Acurácia de 0,5m Vertical e 1,5 m Horizontal

Tabela 1. Especificações Phantom4 Pro.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

### 2.2.2 Softwares

Para o planejamento de voo foi utilizado o *software* Pix4D. Neste é possível selecionar a área que deseja sobrevoar e determinar o plano de voo e a altura desejada. Assim, o mesmo calcula automaticamente o *Ground Sample Distance* (GSD) que o levantamento terá. Sua interface é bastante rica, pois durante o voo é possível verificar onde estão sendo retiradas as imagens e o trajeto que o VANT irá fazer (Figura 2).

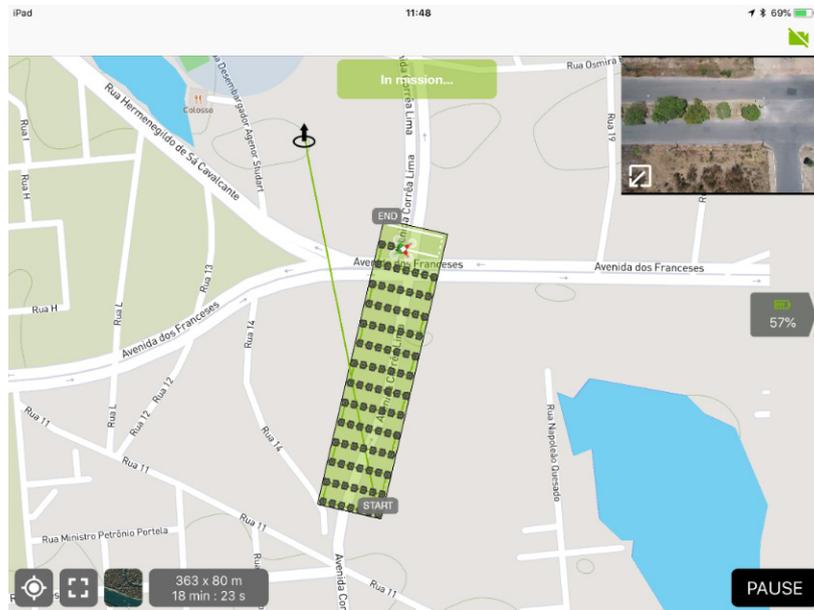


Figura 2. Plano de voo no *software* Pix4D.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já os processamentos de imagens e geração de mosaicos ortoretificados foram feitos por meio da utilização do *Agisoft Photoscan*. Esse é um dos *softwares* mais utilizados do mercado por ter um bom custo e uma boa qualidade de processamento. O *software* utiliza os pontos capturados pelo GPS da aeronave para associar as imagens e montar o ortomosaico.

## 2.3 Metodologia

Primeiramente foi identificado a localidade de voo para que assim fosse possível determinar o plano de voo. Em seguida foram mensurados *in loco* os defeitos, que seriam obtidos no levantamento, sendo painelas e remendos os escolhidos para estudo, para que fosse possível comparar os valores reais com os levantados.

Antes do voo foram selecionadas as alturas de 30,40 e 50m de voo, velocidade e sobreposição das fotos, o *software* Pix4D estabelece, automaticamente. O tempo de levantamento, o GSD, quantidade de baterias necessárias e de imagens obtidas. Para o presente artigo foi estabelecido um único plano de voo para identificação dos defeitos de pavimento em um trecho de 400m de extensão, mantendo as mesmas faixas de sobreposição de 70 x 80 e velocidade rápida, variando somente as alturas.

Após o levantamento das imagens foram gerados os ortomosaicos. Para que isso fosse possível, empregou-se o *software* *Agisoft Photoscan*. Assim é possibilitando a remoção de alguns erros e distorções provenientes do processo de levantamento de imagens.

Assim, após os processos de correção, as imagens puderam ser georreferenciadas pelo mesmo *software*, que obtém os pontos de GPS levantados juntamente com as imagens e de acordo com as coordenadas orienta todas para

a formação de um mosaico georreferenciado. Com a obtenção deste mosaico foi possível fazer mensurações como volume, área e perímetro. Desta maneira, com os dados obtidos, foram comparadas as diferenças medidas entre o levantamento fotogramétrico e levantamento *in loco* e calculou-se as porcentagens de erros.

### 3 | RESULTADOS

Para analisar os defeitos presentes na via, os mosaicos fotogramétricos foram interpretados e mensurados. Dessa forma foi possível verificar defeitos do tipo panelas e remendos, visto que esses são os mais presentes na localidade, foram analisadas 7 panelas e 10 remendos na localidade. A Figura 3 apresenta um comparativo entre a imagem de uma panela na localidade (1) e a mesma quando processado o mosaico (2), esses defeitos são geralmente originados pela degradação do pavimento por diversos fatores, como sub dimensionamento da estrutura e condições ambientais.



Figura 3. Comparação entre imagens de panelas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Também foi possível verificar as regiões com a presença de remendo pela Figura 4. Esse defeito é uma restauração asfáltica, ou seja, na localidade panelas eram presentes e foram feitos serviços para repará-las. Caracteriza-se como defeito, pois esse muda o nivelamento do pavimento, causando desconforto para o usuário da via.



Figura 4. Regiões com remendo visualizadas no mosaico.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para facilitar a visualização dos resultados obtidos foram elaborados os Quadros 1 e 2, sendo o primeiro para dados de painelas e o segundo para remendos. Nestes se encontram as variações de alturas e os erros percentuais das medições, estes foram cálculos pela relação entre tamanho real medido e tamanho mensurado na medição do mosaico.

Alturas de Voo (m)	Erro Médio Largura (%)	Erro Médio Comprimento (%)
30	5,70	5,16
40	7,68	5,57
50	7,92	5,83

Quadro 1. Erros médios para painelas.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Alturas de Voo (m)	Erro Médio Largura (%)	Erro Médio Comprimento (%)
30	3,29	3,68
40	3,47	4,23
50	3,62	4,47

Quadro 2. Erros médios para remendos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

## 4 | DISCUSSÃO

Segundo os Quadros 1 e 2, é perceptível as alterações nas médias dos erros dos levantamentos quando ocorrem alterações nas alturas, tendo uma menor variação na mensuração dos remendos que nas painelas. Essa diferença deve ocorrer por motivos de os defeitos de remendos serem maiores que os de painelas. Dessa maneira, o primeiro estará presente em diversas imagens que quando sobrepostas e processadas fornecerão mais dados de localização ao programa, aumentando o nível de precisão e diminuindo a porcentagem de erros.

Como mostrado anteriormente nos Quadros 1 e 2, é possível perceber que existe um aumento do erro de acordo com o aumento da altura. Isso ocorre, provavelmente pela menor quantidade de imagens sobrepostas das localidades com defeitos, visto que quanto maior a altura menor a quantidade de imagens para sobreposição, já que a área de abrangência da captura da imagem será maior. Assim com a menor quantidade de imagens sobrepostas menor será a precisão e a qualidade do processamento e do mosaico de imagens, causando um maior erro quando esse é medido.

Além das taxas de sobreposição é perceptível que quanto menor a altura de voo maior a qualidade das imagens, facilitando assim a medição dos defeitos e diminuindo o percentual de erro humano das mensurações feitas.

Mesmo com essas diferenças percentuais, é possível perceber que a taxa de erro nos levantamentos é pequena variando de 5,16% à 7,92% para painelas e de 3,3% à 4,47% para remendos, sendo possível verificar a similaridade dos valores do levantamento e processamento com os valores reais.

## 5 | CONCLUSÕES

Com os dados obtidos neste artigo foi possível verificar que existe uma pequena diferença entre os dados levantados em campo com os dados obtidos com os processamentos. Isso mostra que mesmo sem o emprego de pontos de controle na localidade é possível fazer a verificação de defeitos em pavimentos rodoviários com o emprego deste tipo de VANT.

Além disso, também verificou-se que as diferenças de alturas de voo e de tamanhos dos defeitos presentes nos pavimentos influenciaram no processamento das imagens e nos valores medidos.

É importante salientar que essa metodologia tem o intuito de agregar dados aos outros levantamentos que são feitos para verificação de defeitos em pavimentos flexíveis, visto que proporciona mosaicos que podem ser medidos, possibilitando o acompanhamento da evolução dos defeitos.

Por fim, é possível afirmar que a metodologia é promissora, possibilitando a análise de um método alternativo e tecnológico de levantamento de defeitos em pavimentos urbanos, além de proporcionar medições que podem ser utilizadas para estimar condições funcionais (conforto e segurança) de pavimentos.

## REFERÊNCIAS

CNT; SEST; SENAT. **Pesquisa CNT de rodovias 2018: Relatório Gerencial**. Brasília: Cnt, 2018. 405 p.

Marcon, A. F., **Contribuições ao Desenvolvimento de um Sistema de Gerência de Pavimentos para a Malha Rodoviária Estadual de Santa Catarina**, Tese de Doutorado, Instituto Tecnológico da Aeronáutica de São José dos Campos, (1996).

Pessoa G. G., Carrilho A. C., Miyoshi G. T – **Análise da Qualidade Posicional de Modelo Digital de Superfície Gerado a Partir de Correspondência de Imagens Aéreas Obtidas por RPAs**, Artigo XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia, 2017.

Komazaki J. M., Camargo P. O., Galo M., **Amorim A. – Avaliação da Qualidade Geométrica de Modelos Digitais do Terreno Obtidos a Partir de Imagens Adquiridas com VANT**, Artigo XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia: 2017.

## ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE URBANA PELO MODELO PRESSÃO-ESTADO-RESPOSTA E PROGRAMAÇÃO POR COMPROMISSO

### **Camila Frandi Cecagno**

Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) – CEATEC, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Rodovia Dom Pedro I Km 136, Parque das Universidades CEP: 13086-900. Campinas – SP

### **Vinícius Marques Müller Pessôa**

Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) – CEATEC, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Rodovia Dom Pedro I Km 136, Parque das Universidades CEP: 13086-900 Campinas – SP

### **Danilo Mangaba de Camargo**

Universidade Estadual Paulista-UNESP Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – IGCE/RC Av. 24 A, 1515. CEP: 13506-900 Rio Claro – SP

### **Mara Lúcia Marques**

Pontifícia Universidade Católica de Campinas (PUC-Campinas) – CEATEC, Faculdade de Geografia e Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Rodovia Dom Pedro I, Km 136 Parque das Universidades, CEP: 13086-900 Campinas – SP

**RESUMO:** O estudo teve por objetivo elaborar um índice de sustentabilidade de desenvolvimento urbano a partir do modelo Pressão-Estado-Resposta, empregando

o método multicritério Programação por Compromisso (CP) para a análise e integração de indicadores de sustentabilidade da região-norte-noroeste do município de Campinas – SP. Os indicadores foram compostos por dados socioeconômicos, demográficos, físicos-ambientais e instrumentos reguladores do território. Na região analisada, aproximadamente 88% da área apresentou bons índices de sustentabilidade, indicando um equilíbrio entre o processo de ocupação e o ambiente. O resultado obtido demonstrou que áreas periurbanas devem ser planejadas e geridas para uma futura expansão, com vista na manutenção do nível de sustentabilidade apresentado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desenvolvimento Sustentável, SIG, Modelo Multicriterial.

**URBAN SUSTAINABILITY ANALYSIS PRESSURE-STATE-RESPONSE MODEL AND PROGRAMMING BY COMMITMENT**

**ABSTRACT:** The objective of this study was to elaborate an urban development sustainability index based on the Pressure-State-Response model, using the multicriteria Commitment Programming (CP) method for the analysis and integration of sustainability indicators of the north-northwest region of the municipality

of Campinas - SP. The indicators were composed of socioeconomic, demographic, physical-environmental data and territorial regulatory instruments. In the analyzed region, approximately 88% of the area presented good sustainability indexes, indicating a balance between the occupation process and the environment. The result obtained demonstrated that periurban areas should be planned and managed for future expansion, with a view to maintaining the level of sustainability presented.

**KEYWORDS:** Sustainable Development, GIS, Multicriterial Model.

## 1 | INTRODUÇÃO

A análise do desenvolvimento urbano pelo índice de sustentabilidade avalia o nível de integridade e de resiliência desse sistema, portanto, pode ser considerada como uma abordagem que auxilia a gestão das áreas urbanas, pois possibilita a compreensão das relações entre os padrões espaço-temporais de urbanização, promovidos pelos processos socioeconômicos (MAHINY; CLARKE, 2012). Sendo assim, a análise dos padrões urbanos a partir de indicadores de desenvolvimento, exige uma exploração das características sociodemográficas, de uso e ocupação do solo, e de instrumentos de gestão territorial (WU, 2014).

O modelo Pressão-Estado-Resposta (PER) procura avaliar a relação entre a atividade humana e o ambiente, constituindo-se em uma forma de definir e mensurar indicadores de sustentabilidade do ambiente urbano. Dentre os fundamentos do modelo, a Pressão é entendida como as forças econômicas e sociais que atuam no território: uso do solo urbano, crescimento e distribuição da população e também a distribuição das atividades econômicas. O Estado avalia condição atual do território, a partir de indicadores sociodemográficos e ambientais. Por último, a Resposta corresponde à atuação de instrumentos de indução/regulação do desenvolvimento urbano, tais como os planos diretores, leis de parcelamento do solo, zoneamento econômico e ecológico, leis de proteção ambiental (BRAGA et al., 2009).

No diagnóstico dos indicadores de sustentabilidade, a programação por compromisso (CP) constitui-se em um método multicritério que analisa alternativas de resolução de um problema, em um contexto, onde inúmeras variáveis contribuem para sua compreensão.

O objetivo do estudo foi aplicar o modelo de Pressão-Estado-Resposta a partir da estruturação de um índice de sustentabilidade baseado no método de Programação por Compromisso, tendo como objeto de estudo a região norte-noroeste do município de Campinas.

A área de estudo foi definida devido a rápida expansão urbana ocorrida a partir da década de 1970, promovida pelo recebimento de migrantes da Região Metropolitana de São Paulo, dentro do processo de desconcentração industrial, tornando Campinas uma área metropolitana (BAENINGER, 2001; DOTA; CAMARGO, 2015).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Inserção e Contextualização da Área de Estudo

A área de estudo corresponde a região norte-noroeste do município de Campinas, localizada no interior do estado de São Paulo (Figura 1). Possui declividade predominante entre 3-8%, com áreas de colinas que apresentam altimetria entre 709 a 769m. A região é banhada por vários corpos d'água, destacando o Ribeirão Anhumas, afluente da margem esquerda do Rio Atibaia. Encontra-se em alguns pontos, áreas verdes preservadas, parques e bosques, destacando-se o Parque Portugal - Lagoa Taquaral.

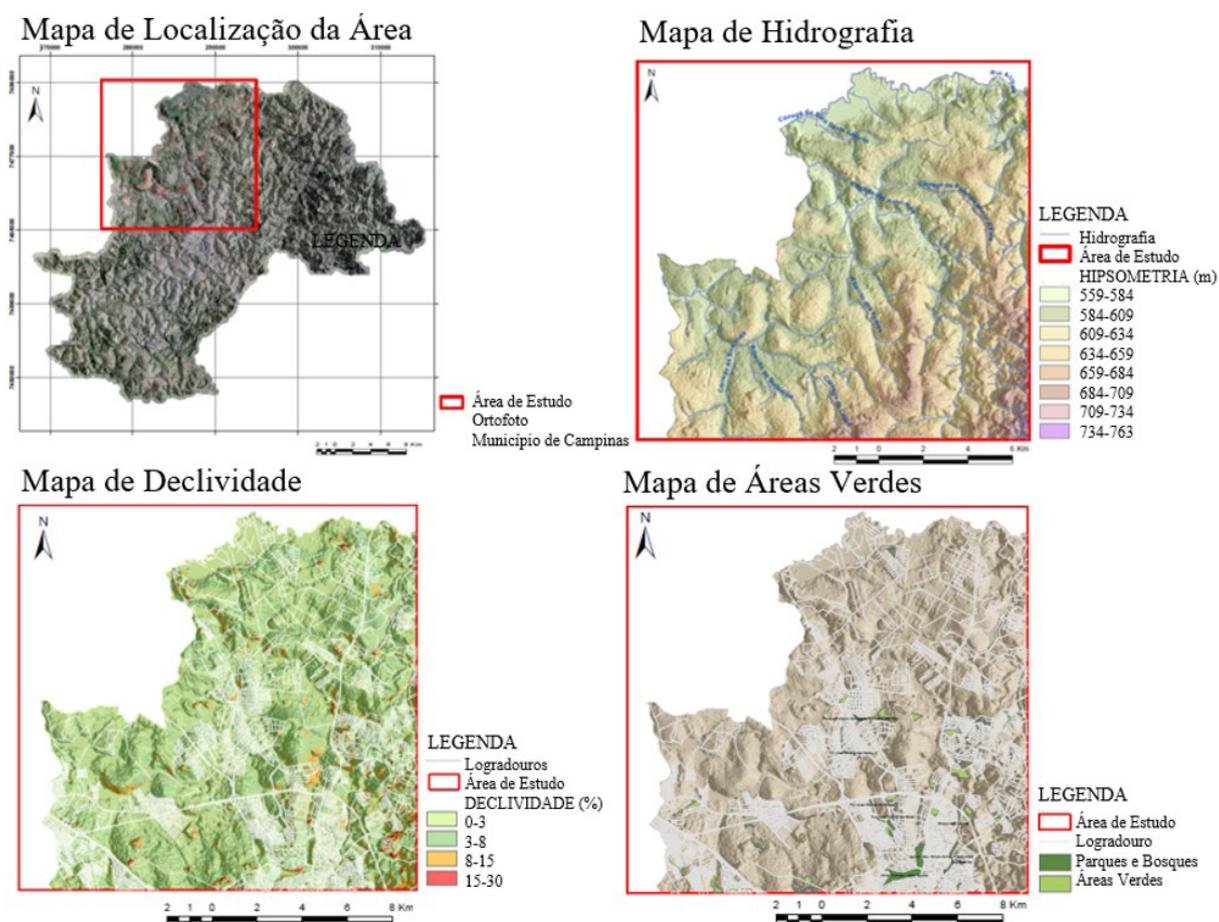


Figura 1. Inserção da área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos fluxos viários, as rodovias principais são: Anhanguera (SP – 330), Dom Pedro I (SP – 065), Professor Zeferino Vaz (SP – 332), Governador Doutor Adhemar Pereira de Barros (SP – 340). A população é de 232.035 habitantes, com baixa densidade de ocupação. Com rendimento médio, variando entre 1 e 27 salários mínimos (IBGE, 2011). Por ser uma área com potencial de expansão no município, torna-se de grande importância a avaliação do índice de sustentabilidade

do desenvolvimento urbano.

## 2.2 Indicador de Pressão

A Pressão foi analisada pelo mapeamento do uso e ocupação do solo, realizado a partir da classificação digital da imagem orbital do sistema LANDSAT – 8 OLI (Operational Land Imager), adquirida em oito de agosto de 2018. As bandas multiespectrais e pancromáticas foram georreferenciadas e fusionadas empregando o algoritmo Gram-Schmidt, onde as bandas multiespectrais são decompostas em bandas pancromáticas simuladas e a primeira banda simulada é substituída pela banda pancromática com maior resolução espacial, foram utilizadas as bandas multiespectrais 2, 3, 4, 5, 7 e a banda pancromática com 15m de resolução (JENSEN,1983).

O método de classificação por região foi empregado para o mapeamento das classes de cobertura dos solo, utilizando as classes: vegetação arbórea, vegetação rasteira, solo preparado para cultivo, solo exposto, cobertura cerâmica, cobertura concreto, cobertura alumínio, cobertura asfáltica, água.

Inicialmente, a imagem foi segmentada em áreas homogêneas definidas pelos limiares de área, textura, média e variância dos valores de reflectância espectral, foram atribuídos os valores para os parâmetros: similaridade 20; área 2; tamanho 1, delimitando o conjuntos de pixels contíguos e similares. Sobre a imagem segmentada foram identificadas amostras de treinamento representativas de cada classe e, posteriormente, foi realizada a classificação em função dos atributos espectrais e espaciais dos segmentos (MENESES, 2012).

O resultado da classificação digital foi validado pela análise da matriz de confusão e índice Kappa, a partir de 1000 amostras de referência para cada classe pelo método aleatório estratificado (CONGALTON 2009; GREEN 2009). O mapa de cobertura do solo foi corrigido visualmente e reclassificado em classes de uso e cobertura do solo e ponderadas pelos critérios: capacidade de infiltração, área construída, perda de solo e cena (refúgio urbano).

## 2.3 Indicador do Estado

O indicador do Estado foi analisado a partir da elaboração do Índice de Vulnerabilidade Social ( $IV_{\text{social}}$ ), os setores censitários foram utilizados como unidade de mapeamento. Foram extraídos oito parâmetros do Censo Demográfico de 2010 - IBGE, os quais definiram seis indicadores. Os indicadores foram escalonados em índice de 0 a 1 e ponderados pelo Índice de Desenvolvimento Humano de Campinas, conforme a Equação 1 (GOERL et al., 2012; FRITZSCHE et al., 2014; MARQUES; SILVA; CAMARGO, 2017).

$$IV_{social} = \frac{D_d + N_m + M_m + TxDEP + TxE + TxR_{carente}}{IDHM} \quad (1)$$

Onde  $D_d$  é Densidade Demográfica,  $N_m$  é Número de Moradores no setor censitário,  $M_m$  é Média de Moradores por Domicílio,  $TxDEP$  é taxa de população  $\geq 65$  anos e  $< 12$  anos,  $TxA$  é taxa de pessoas analfabetas acima de 12 anos,  $TxR_{carente}$  é taxa de responsáveis sem/com até 1 salário mínimo e o  $IDHM=0,805$  (PNUD, 2013).

## 2.4 Indicador de Resposta

O indicador de Resposta, referente as políticas públicas e instrumentos reguladores do território, foi avaliado pelo Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo, pela digitalização da base cartográfica do zoneamento de acordo com a nova Lei de Parcelamento, Uso e Ocupação do Solo, proposta em 2018 (CAMPINAS, 2018).

## 2.5 Índice de sustentabilidade baseado na Programação por Compromisso (CP)

O método CP propõe a distância métrica (teorema de Pitágoras) entre dois pontos com coordenadas conhecidas ZELENY (1982). Busca-se a diminuição da distância do conjunto de pontos, em relação ao chamado “ponto ideal”, sendo este definido pelo tomador de decisão (DM – Decision Maker) (ZUFFO et al., 2002). Pela dificuldade de se obter o chamado “ponto ideal”, adota-se um “ponto meta” que seja menor ou igual ao “ponto ideal” (CAMARGO, 2019; ZUFFO et al., 2002; GERSHON; DUCKSTEIN, 1983).

Assim, os parâmetros componentes dos indicadores PER, foram ponderados em escala de 1 a 8, definidos de acordo com sua maior relevância no aspecto sustentabilidade. A atribuição dos pesos para cada componente foi escalonada entre 1-7 e dividido pelo total dos pesos, de acordo com a proposta de Bana e Costa (2005). Para o Uso do Solo foi atribuído 0,33; para Vulnerabilidade Social, 0,40; e Zoneamento do Uso e Ocupação do Solo, 0,27 (Figura 2).

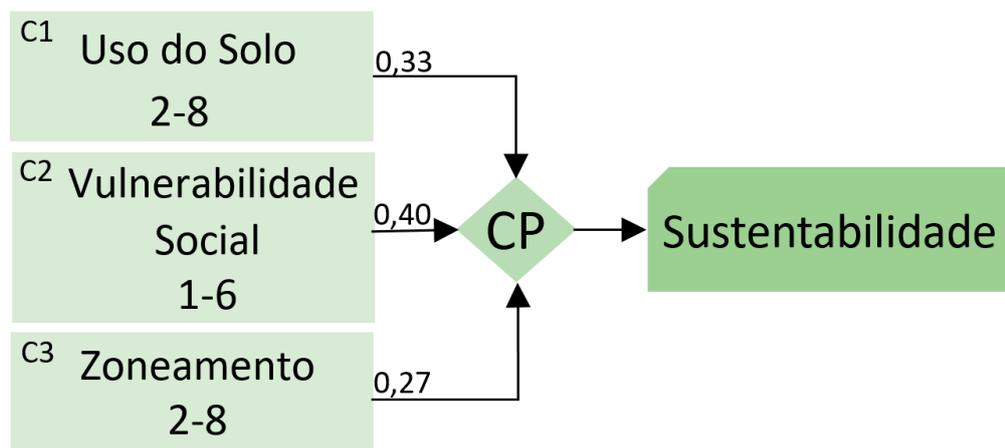


Figura 2. Ponderação e pesos para os componentes do CP.

Fonte: Elaborado pelos autores.

A avaliação dos parâmetros componentes descritos na Figura 2 foi realizada a partir da análise multicritério CP com base em sua distância multidimensional em relação ao ponto ideal, de acordo com a Equação 2.

$$I_s(x) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left| \frac{f_i^* - f_i(x)}{f_i^* - f_{i,w}} \right| \quad (2)$$

onde,  $I_s$  é a distância do valor da solução tida como ideal;  $\alpha_i$  é o peso atribuído por processo de preferências para cada um dos componentes;  $f_i^*$  é o melhor valor obtido para o critério  $i$ ; e  $f_{i,w}$  é o pior valor obtido para o critério  $i$ ;  $f_i(x)$  é o resultado da implementação  $x$  em relação ao  $i$ -ésimo critério, correspondente ao valor associado a cada pixel do mapa matricial.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O mapeamento de uso e ocupação do solo de 2018, apresentou o índice de acerto geral de 90,2%, com o coeficiente Kappa de 0,89, demonstrando ter forte concordância. Pela ponderação da sustentabilidade das classes de uso e ocupação foi possível identificar que a área analisada, majoritariamente sofre alta pressão, principalmente pela alteração do ambiente para o ambiente urbano.

A análise do Estado realizada pelo mapa de vulnerabilidade social, conseguiu detectar zonas com altos índices de vulnerabilidade, mesmo a área dispondo de setores com padrão alto de renda das classes.

As áreas vulneráveis abrangem 4048,32ha do total de 28341,52ha da área de estudo, em sua maioria, são áreas rurais, que apresentam o rendimento mensal baixo e pouca taxa de alfabetização de sua população residente. Com a análise do zoneamento urbano, buscou-se detectar a influência do plano de gestão do uso do solo no processo de desenvolvimento, constatando-se que majoritariamente a área analisada está inserida nas zonas: de atividades mistas; de atividade econômica e periurbana (Figura 3).

Como pode ser observado na Figura 4, 88, 12% da área analisada possui índice de sustentabilidade Boa, 7,31% Razoável e 4,57% Ruim. Evidencia-se portanto que grande parte da área de estudo está classificada com boa sustentabilidade. O predomínio de área com bom índice de sustentabilidade, pode ser explicado pela análise do processo de urbanização do município, que apesar da intensa expansão urbano-industrial, a elaboração e implementação dos planos diretores municipais na

década de 90, promoveram uma melhor configuração do uso e ocupação do solo e distribuição de serviços e infraestrutura (BADARÓ, 1996).

A área estudada possui um potencial de crescimento urbano, e assim, o estudo de indicadores de sustentabilidade foi importante na avaliação da pressão das atividades antrópicas no meio. Constatou-se que a área possui uma boa sustentabilidade o que demonstra um equilíbrio no processo de ocupação do espaço. Porém, por se tratar de uma área periurbana, que estão expostas a alterações, principalmente a intensificação da urbanização, torna-se relevante o planejamento e aplicação das leis de uso do solo urbano para futuras expansões, priorizando um desenvolvimento sustentável.

Em trabalho realizado por SILVA et al.(2009), também foi proposto um método de construção de um índice de desenvolvimento sustentável. A proposta procurou elaborar um índice integrado de indicadores, econômico, ambiental e social, utilizando-se para tal o método analítico AHP para analisar a importância de cada critério. Possuindo como objetivo, auxiliar a implementação de políticas territoriais de gestão para um futuro desenvolvimento e crescimento sustentável. A área de estudo abordada no artigo foi Campina Grande – PB, que apresentou sustentabilidade aceitável, mas demonstrou áreas em condições de alerta.

No trabalho foram realizadas pesquisas de opiniões através de informações relatadas por colaboradores locais, em divergência com esse referente artigo que utilizou-se dados indiretos obtidos pelos órgãos de levantamentos demográficos e pela Prefeitura da cidade de Campinas-SP. Entretanto, mesmo coletando dados de diferentes formas, esse trabalho obteve-se um índice que demonstrou a espacialização das áreas com boa sustentabilidade e aquelas que requerem maior atenção por apresentarem um baixo índice de desenvolvimento sustentável.

### Componentes da Programação por Compromisso

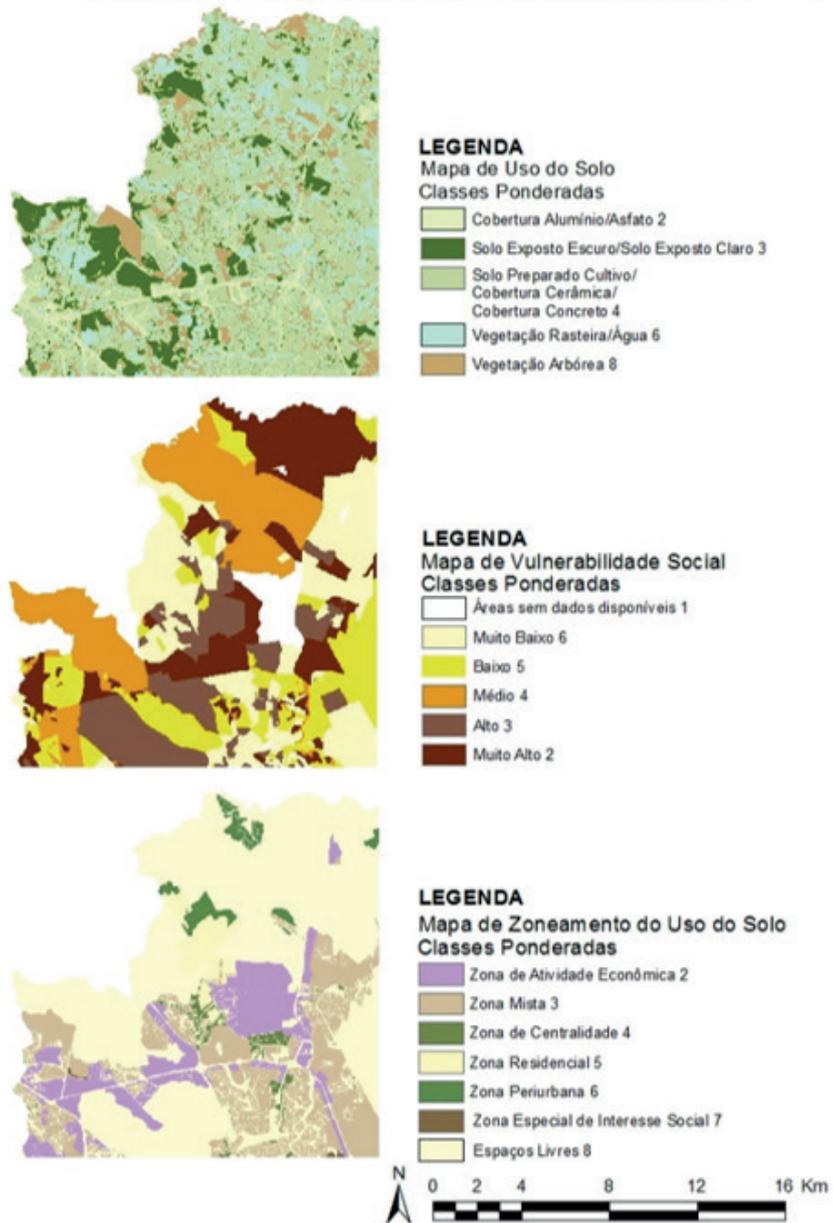


Figura 3. Componentes do CP para análise da sustentabilidade urbana na área de estudo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

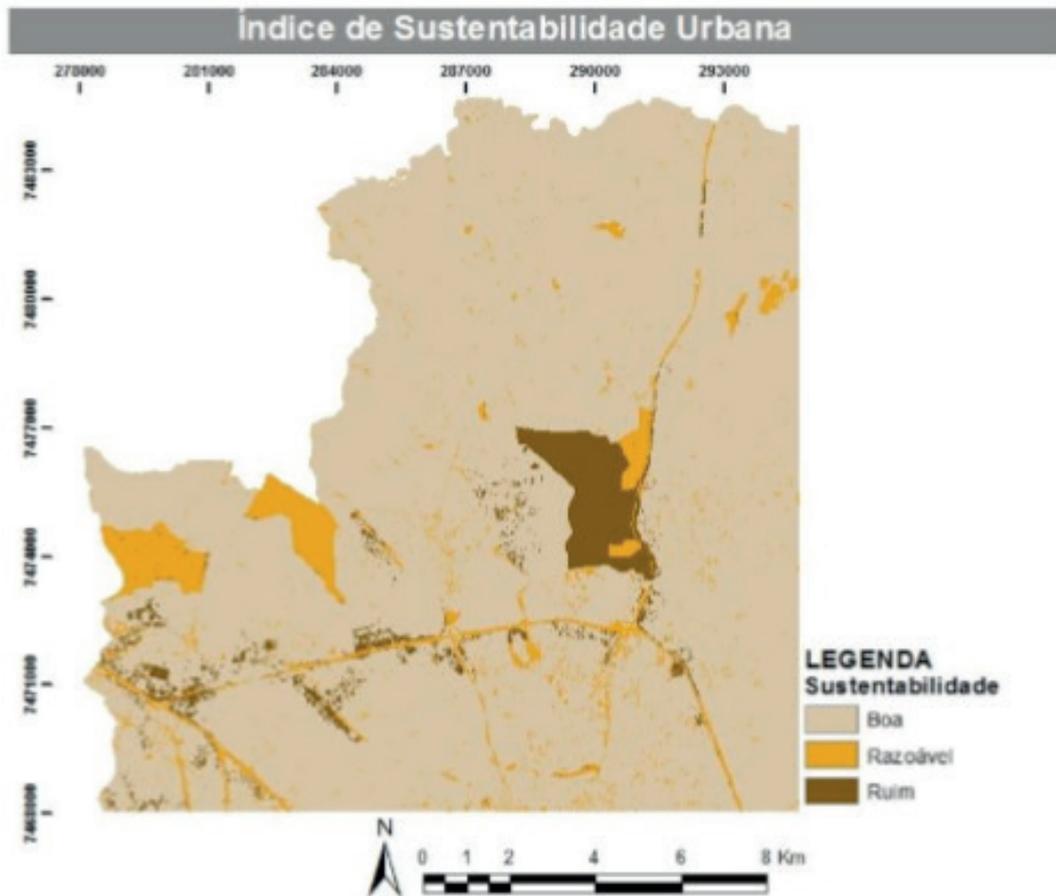


Figura 4. Índice de sustentabilidade urbana.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4 | CONCLUSÕES

O método de Programação por Compromisso (CP), associado aos indicadores de pressão-estado-resposta, revelou-se bastante eficaz para a verificação da sustentabilidade urbana. O resultado obtido no estudo, demonstrou que áreas periurbanas devem ser bem planejadas e geridas para uma futura expansão, com vista na manutenção do nível de sustentabilidade apresentado.

Em estudo futuro, a implementação e avaliação de diferentes indicadores do desenvolvimento urbano dos componentes de pressão, estado e resposta promoverá o aprimoramento da proposta de análise e geração de índice de sustentabilidade mais refinado. Com vista ao melhor diagnóstico e promoção de previsões de cenários para o monitoramento e proposição de ações, principalmente, nas áreas identificadas com sustentabilidade ruim.

## REFERÊNCIAS

BADARÓ, R. S. C. **Campinas: o despontar da modernidade**. Campinas: CMU/UNICAMP, 1996, 161 p.

BAENINGER, R. **Região Metropolitana de Campinas: expansão e consolidação do urbano paulista**. In: *Migração e ambiente nas aglomerações urbanas*. Campinas: Nepo/Unicamp, p. 321-348, 2001.

BANA E COSTA, C. A. On the Mathematical Foundations of Macbeth. In: FIGUEROA, J.; GRECCO, S.; EHRGOTT, M. (ed.). *Multiple Criteria decision analysis: state of art surveys*. Boston, USA: Springer Science, Business Media. p.409-442, 2005.

BRAGA, T.M.; FREITAS, A.P.G.; DUARTE, G.S.; CAREPA-SOUSA, J. Índices de sustentabilidade municipal: o desafio de mensurar. *Nova Economia*, v. 14( 3), 2009.

CAMARGO, D. M. **Sensibilidade Ambiental ao Óleo na Bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas-SP: proposta metodológica para análise conjunta de ambientes terrestres e fluviais**. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2019. 105 f.

CAMPINAS. **Projeto de Lei de Parcelamento, Ocupação e Uso do Solo do município de Campinas**. Prefeitura Municipal de Campinas, 2018. Disponível em: < <https://zoneamento.campinas.sp.gov.br/>> Acesso: 10 agosto 2018.

CONGALTON RG; GREEN K **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 2009, 183p.

DOTA, E. M.; CAMARGO, D. M. Regionalização, mobilidade pendular e os desafios metropolitanos: o caso da RM de Campinas. *Revista Política e Planejamento Regional*. Rio de Janeiro, v.2, n.1, 2015.

FRITZSCHE, K.; SCHNEIDERBAUER, S.; BUBECK, P.; KIENBERGER, S.; BUTH, M.; ZEBISCH, M.; KAHLENBORN, W. **The Vulnerability Sourcebook: concept and guidelines for standardised vulnerability assessments**. Verlag nicht ermittelbar. 180 p., 2014.

GERSHON, M.; DUCKSTEIN, L. **Multiobjective approaches to river basin planning**. Journal of Water Planning and Management, 109(1), jan., p.13-28, 1983.

GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M.; PELLERIN, J.R.G.M. Proposta metodológica para mapeamento de áreas de risco a inundação: estudo de caso do município de Rio Negrinho-SC. *Boletim de Geografia*, v. 30 (1), p. 81-100, 2012.

IBGE - Censo Demográfico 2010. Resultados do universo por setores censitários, 2011. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>> Acesso: 07 agosto 2018.

JENSEN, J.R Urban/Suburban Land Use and Analysis. In: Cowell, R.N. **Manual of Remote Sensing**. Falls Church: American Society of Photogrammetry, p.1571-1666, 1983.

MAHINY, A.S.; CLARKE, K.C. SLEUTH land-use/land-cover change modeling using multicriteria evaluation: Towards dynamic sustainable land-use planning. **Environment and Planning B: Planning and Design**. 39(5), p. 925-944, 2012.

MARQUES, M.L.; SILVA, M.C.; CAMARGO, D.M. Spatial analysis of socio-environmental vulnerability in Campinas, SP, Brazil. *Revista Brasileira de Cartografia*. v.69, n.9, p.1711-1723, 2017.

MENESES, P.R. ALMEIDA T.D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, p. 01-33, 2012.

PNUD - Programa das Nações Unidas Para O Desenvolvimento. **Ranking IDHM Municípios 2010**. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, 2013 Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/>> Acesso: 1 agosto 2018.

SILVA, M.G.da; MARTINS, M.F.; CÂNDIDO, G.A. Método de construção do índice de desenvolvimento

local sustentável: uma proposta metodológica e aplicada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.1, p.55-72, 2009.

WU, J.G. Urban ecology and sustainability: the state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**. 125, p. 209-221, 2014.

ZELENY, M. **Multiple criteria decision making**. McGraw-Hill Book Company. p.563, New York. 1982.

ZUFFO, A.C.; REIS, L.F.R.; SANTOS, R.F.; CHAUDRY, F.H. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n.1, p. 81-102, 2002.

## ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO E A TRANSMISSÃO DA LEISHMANIOSE TEGUMENTAR NO MUNICÍPIO DE ULIANÓPOLIS – PARÁ

**Alcione Ferreira Pinheiro**

Universidade Federal do Pará - UFPA  
Belém-Pará

**Ricardo José de Paula Souza e Guimarães**

Instituto Evandro Chagas - IEC  
Ananindeua-Pará

**Gabriella Ferreira Damasceno Santiago**

Universidade Norte do Paraná- UNOPAR  
Belém-Pará

**Sergio Luís Barbosa da Silva**

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Belém-Pará

**Edna Aoba Yassui Ishikawa**

Universidade Federal do Pará – UFPA  
Belém-Pará

**Alessandra Rodrigues Gomes**

Centro Regional da Amazônia- CRA/Instituto  
Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE  
Belém-Pará

**RESUMO:** O município de Ulianópolis-PA, apresenta alta incidência de casos de Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA), sendo transmitida por vetores e condicionada as condições ambientais favoráveis. O objetivo deste estudo é analisar o uso e cobertura do solo e a transmissão da LTA, no período de 2010 a 2015, no município de Ulianópolis. Foram utilizados dados de LTA disponibilizados

pelo SINAN, imagem de satélite, dados de Uso e Cobertura do Solo do INPE e bases cartográficas do IBGE, sendo inter-relacionados para gerar as expressões visuais. Os resultados mostram que a incidência não foi homogênea, mas ocorrendo em todo o município. A análise do uso e cobertura da terra mostrou condições favoráveis e sugeriu adaptação do transmissor em áreas não silvestres, os casos apresentaram prevalência da classe de Pastagem com adjacência à de Vegetação Secundária e Vegetação Primária. Por ter elevados registros e condicionantes favoráveis, a mesma necessita de atenção da Vigilância epidemiológica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Leishmaniose Tegumentar, Uso do Solo, Epidemiologia, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento.

**ANALYSIS OF USE AND LAND COVER AND THE TRANSMISSION OF CUTANEOUS LEISHMANIASIS IN THE MUNICIPALITY OF ULIANÓPOLIS – PARÁ**

**ABSTRACT:** The municipality of Ulianópolis-PA, presents a high incidence of cases of American Cutaneous Leishmaniasis (ATL), being transmitted by vectors and conditioned by favorable environmental conditions. The objective of this study is to analyze the use and coverage of soil and the transmission of LTA, in the period from 2010 to 2015, in the municipality of Ulianópolis. LTA data provided by SINAN,

satellite image, INPE Soil Use and Coverage data and IBGE cartographic bases were used, being interrelated to generate the visual expressions. The results show that the incidence was not homogeneous, but occurred throughout the city. The analysis of the land use and cover showed favorable conditions and suggested adaptation of the transmitter in non-wild areas, the cases presented prevalence of the Pasture class with adjacency to the Secondary Vegetation and Primary Vegetation. Because it has favorable records and favorable conditions, it requires the attention of epidemiological surveillance.

**KEYWORDS:** American Cutaneous Leishmaniasis, Use of the soil, Epidemiology, Remote Sensing, Geoprocessing.

## 1 | INTRODUÇÃO

Leishmaniose Tegumentar Americana (LTA) é uma enfermidade que manifesta lesões na pele e/ou mucosas com diversas formas clínicas. A LTA é transmitida pela picada do flebotômíneo, antes considerada uma doença de zoonoses de animais silvestres que acometia pessoas em contato com a floresta passa a assumir mudanças em seu perfil epidemiológico, surgindo em zonas rurais praticamente desmatadas e regiões periurbanas, assim assumindo um duplo perfil epidemiológico (BRASIL, 2010). As ações humanas provocam grandes transformações no ambiente ocasionando uma considerável dinâmica no uso e cobertura do solo. Desse modo, surgiram novos cenários epidemiológicos e, associados às questões ambientais, faz-se necessário à compreensão do processo saúde-doença relacionados a essas variáveis (MEDRONHO *et al.*, 2009).

O município de Ulianópolis está em uma área com elevados níveis de desmatamento (INPE/PRODES, 2013) e, devido a diversos fatores, há uma intensa mudança no uso e cobertura da terra ocasionando enormes áreas de pastagens e agricultura, além de pertencer à regiões com elevados números de caso de LTA (SINAN, 2015). O uso de geotecnologias e do Sensoriamento Remoto permitem a integração e análise de dados ambientais, socioeconômicos e de saúde, possibilitando a identificação ou predição de grupos populacionais em áreas de risco (SANTOS; PINA; CARVALHO, 2000).

Desta forma, o objetivo do trabalho foi analisar a mudança de uso e ocupação do solo e a transmissão da LTA no município de Ulianópolis, no período de 2010 a 2015, contribuindo para tomadas de decisões quanto à implantação da vigilância epidemiológica.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de Estudo

O município de Ulianópolis (Figura 1), pertence ao estado do Pará, localizado na mesorregião Sudeste Paraense e na microrregião Paragominas, as margens da Rodovia BR-010, que liga Belém a Brasília. Ulianópolis apresenta vegetação predominantemente de florestas ombrófilas densas e floresta densa de planície aluvial e possui uma área de 5.088,46 km<sup>2</sup> com uma população de 43.341 habitantes, sendo 28.525 pessoas na área urbana e 14.816 na área rural (IBGE, 2014).

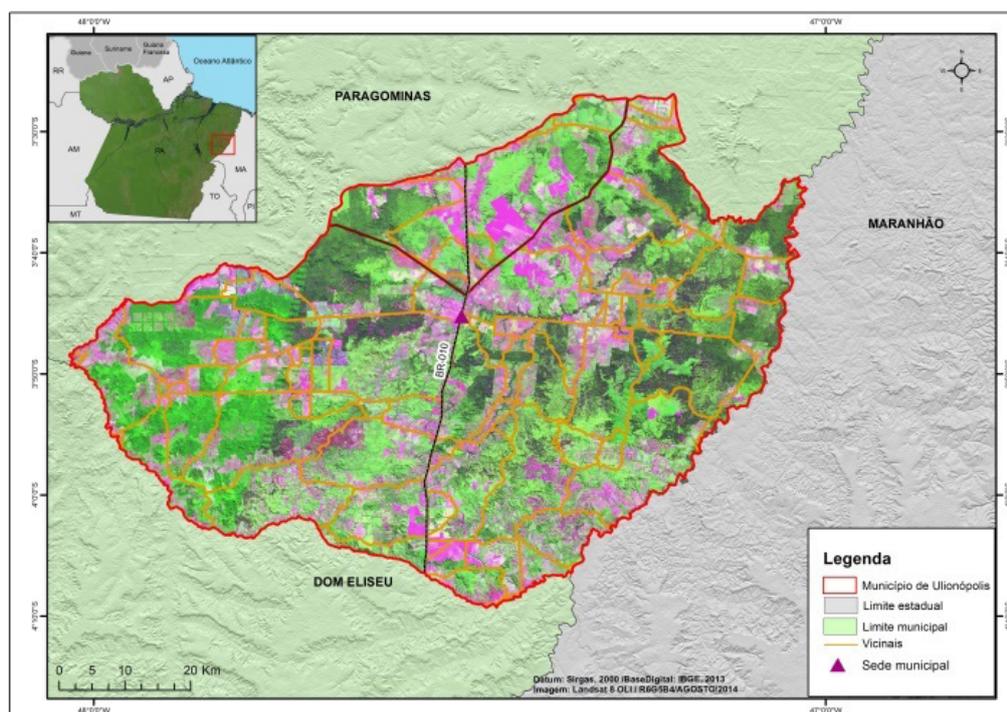


Figura 1. Mapa de localização do município de Ulianópolis-PA.

### 2.2 Materiais

Foram adquiridos os dados de LTA do Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN), da Secretária Municipal de Ulianópolis referentes ao local provável de infecção dos casos de LTA. O período de estudo foi entre os anos de 2010 a 2015. O georreferenciamento dos casos positivos de LTA foi realizado utilizando o receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS) Garmin Montana 650. Para subsidiar o desenvolvimento e expressar visualmente as relações espaciais relacionadas aos casos de LTA foram utilizadas as bases cartográficas de limites municipais e estaduais, sede, localidades e estradas do município, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); as imagens de satélite do LandSat-8 do sensor OLI, RGB do mês de agosto e ano 2014, nas órbitas pontos 222/062, 222/063, 223/062 e 223/063 fornecidas pelo Serviço Geológico dos

Estados Unidos (USGS). Foram obtidos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) os dados de classificação do Uso e Cobertura do Solo do Projeto TerraClass (ALMEIDA *et al.*, 2016), referente aos anos de 2010, 2012 e 2014.

## 2.3 Métodos

Inicialmente para a criação do referencial teórico conceitual foi realizado uma revisão da literatura dos seguintes temas: epidemiologia, LTA, características ambientais e socioeconômicas da área de estudo; Sistemas de Informações Geográficas e Sensoriamento Remoto aplicado a Vigilância em Saúde Pública. Os dados epidemiológicos da LTA obtidos do SINAN foram depurados para filtrar o conjunto de variáveis utilizadas na execução das análises e exportados para o Software Excel 2010. A identificação dos pacientes foram geocodificados para garantir a privacidade dos indivíduos.

Foi criado um Banco de Dados Geográfico (BDGEO) com as informações dos casos notificados (tabela Excel) em relação ao seu local de infecção (georreferenciamento). O BDGEO foi importado para o software ArcGis 10 junto com as imagens digitais de satélites para o processamento dos dados e para a análise da distribuição espacial dos casos de LTA.

Para a caracterização e análise ambiental do Uso e Cobertura do Solo foram utilizados e manipulados os arquivos vetoriais do mapeamento dos anos de 2010, 2012 e 2014 e através do Software Excel 2010 foi realizada a construção da tabela dinâmica para análise da matriz das classes de uso e cobertura do solo. Utilizou-se o software ArcGis 10 para construir as expressões visuais.

## 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no georreferenciamento realizado no município de Ulianópolis/PA, as localidades foram pontuadas e inter-relacionadas com os dados de Uso e Cobertura do Solo, pelas coordenadas geográficas para uma melhor expressão visual. A Figura 2 mostra a distribuição espacial das localidades com casos notificados de LTA no período de 2010 a 2015, segundo o local de infecção, com um total equivalente de 438 casos, sendo 86 casos em 2010 (19,63%), 73 casos em 2011 (16,66%), 64 casos em 2012 (14,61%), 66 casos em 2013 (15,06%), 117 casos em 2014 (26,71%) e 32 casos em 2015 (7,30%). Pode-se observar que a espacialização dos casos de acordo com as 50 localidades notificadas com pacientes infectados no período de estudo foi extensa, abrangendo todo o município de Ulianópolis. Também, verificou que a espacialização dos casos não foi constante para todos os anos, mas foi possível identificar uma concentração da doença na parte central-norte do território, onde a presença da classe Vegetação Natural Florestal Primária apresenta-se em grande extensão.

Ao analisar a dinâmica do Uso e Cobertura do Solo nas localidades espacializadas que apresentaram casos de infecção de LTA no período de estudo, podemos verificar que no ano de 2010 a principal classe foi a Pastagem Cultivada Herbácea (56%) e Pastagem Cultivada Arbustiva (20%). No ano de 2012, as localidades com casos de LTA se localizavam nas áreas de Pastagem Cultivada Herbácea (50%) e de Pastagem Cultivada Arbustiva (18%). No ano de 2014 as mesmas classes estão pertinentes, porém com uma diminuição significativa de locais com LTA, 32% presente em Pastagem Cultivada Herbácea e 24% em Pastagem Cultivada Arbustiva. Todavia neste ano a classe Não Observada apresentou um percentual significativo com 22% dos locais, vale salientar que esta é determinada pela presença de nuvens, a qual dificulta a interpretação do uso existente no local.

Conforme a análise do uso do solo no período observa-se que aproximadamente a 200 metros em entorno dos locais de infecção a classe pertinente foi Vegetação Natural Florestal Secundária e Vegetação Natural Florestal Primária totalizando em 2010 (78%), em 2012 (80%) e em 2014 (60%). Ressalta-se que o município passou por um intenso desmatamento em 2008, sendo desflorestado cerca de 3.351,5 km<sup>2</sup>, representando um percentual de 65,43% de sua área total. Devido à ação antrópica e a base econômica, que tem como destaque a agropecuária, o agravo perde suas características de transmissão silvestre (CAMPBELL-LENDRUM, 2001), sendo encontrados casos de infecção em indivíduos em atividades ocupacionais principalmente em áreas de fazendas, cujos ambientes algumas espécies de vetores transmissores podem alterar seus hábitos e se adaptarem a um novo ambiente (CAMARGO-NEVES, 2002).

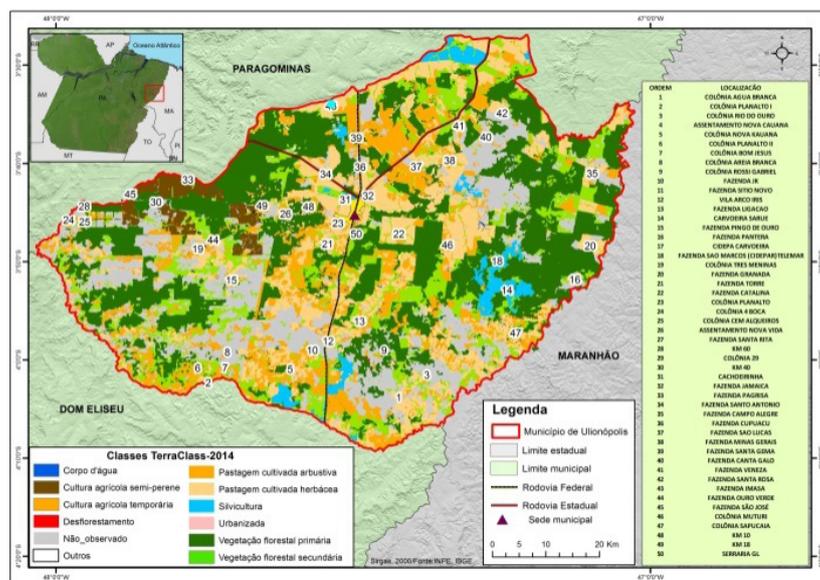


Figura 2. Mapa do Uso e Cobertura do Solo com as localidades que apresentaram casos de LTA, no período de 2010 a 2015, no município de Ulianópolis-PA.

Na análise do Uso e Cobertura do Solo dos casos por biênio (Figura 3), nota-se

que os maiores números de casos de infecção nos anos 2010-2011 (65 casos) estão em área com predominância da classe Pastagem Cultivada Arbustiva, Pastagem Cultivada Herbácea e a Vegetação Natural Florestal Secundária. A classe Pastagem Cultivada Arbustiva foi anteriormente utilizada para práticas econômicas agrárias. No biênio de 2012-2013 (53 casos) prevalece às classes de Vegetação Natural Florestal Secundária, Silvicultura e a Pastagem Cultivada Herbácea. No biênio de 2014-2015 (74 casos), as classes dominantes são a Silvicultura, Pastagem Cultivada Arbustiva e Vegetação Natural Florestal Secundária.

Ressalta-se que no ano de 2015, apesar do número de casos não ser expressivo, ocorreu o surgimento de sete novas localidades (Colônia Muturi, Colônia Sapucaia, Fazenda Ouro Verde, Fazenda São José, Km 10, Km 18 e Serraria GL) com registros de casos de LTA, as quais estão próximas às áreas de Vegetação Natural Florestal Primária e Secundária, e em áreas com ocorrência de desflorestamento. Além de estar presente em áreas adjacente de localidades que apresentaram casos em todos os anos. Por isso, Rebêlo et al., (2001), sugerem que existe uma correlação da transmissão da LTA entre os fatores ambientais e epidemiológicos, e cuja a presença da cobertura vegetal representa um importante indicador de risco.

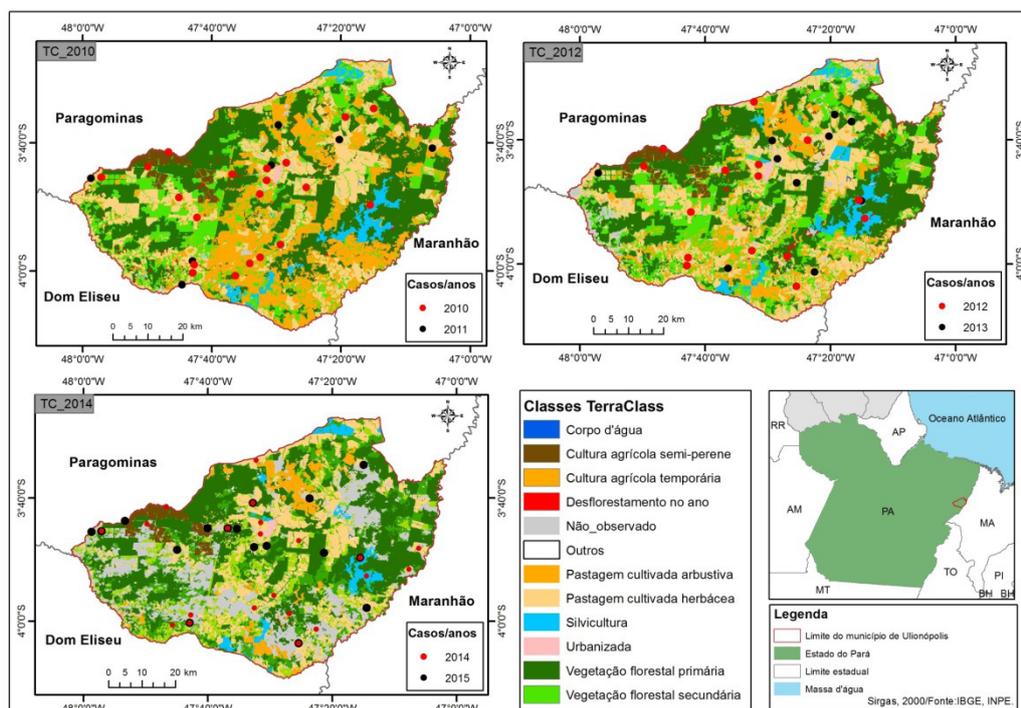


Figura 3. Mapa do Uso e Cobertura do Solo com casos de LTA agrupados por ano, no município de Ulianópolis-PA.

Ao analisar a matriz de transição do Uso e Cobertura do Solo no município de Ulianópolis (Tabela 1) verificou-se que a classe de Vegetação Natural Florestal Primária apresenta 31,18% da área total do território. Essa classe obteve uma redução de área do ano de 2010 para o ano de 2014 de 71,3 km<sup>2</sup>, sendo transformadas

expressivamente nas classes Cultura Agrícola Temporária (21,30 km<sup>2</sup>), Pastagem Cultivada Herbácea (15,21 km<sup>2</sup>), Vegetação Natural Florestal Secundária (9,60 km<sup>2</sup>) e Pastagem Cultivada Arbustiva (8,03 km<sup>2</sup>). Do mesmo modo, a classe Vegetação Natural Florestal Secundária perdeu 157,93 km<sup>2</sup> do total de área no ano de 2014. Também, observa-se que as classes que mais ganharam áreas foram a Pastagem Cultivada Herbácea com 418,54 km<sup>2</sup>, Pastagem Cultivada Arbustiva com 275,95 km<sup>2</sup>, Vegetação Natural Florestal Secundária com 300,94 km<sup>2</sup> e a Silvicultura com 40,69 km<sup>2</sup>.

USO E COBERTURA DA TERRA - ÁREA EM KM <sup>2</sup>															
CLASSES	CORPO D'ÁGUA	CULTURA AGRÍCOLA PERENE	CULTURA AGRÍCOLA SEMI PERENE	CULTURA AGRÍCOLA TEMPORÁRIA	DESFLORESTAMENTO NO ANO	MINERAÇÃO	NÃO OBSERVADO	OUTROS	PASTAGEM CULTIVADA ARBUSTIVA	PASTAGEM CULTIVADA HERBÁCEA	SILVICULTURA	URBANIZADA	VEGETAÇÃO NATURAL FLORESTAL PRIMÁRIA	VEGETAÇÃO NATURAL FLORESTAL SECUNDÁRIA	Total Geral (2010)
CORPO D'ÁGUA	4,75	0,00				0,02	0,01		0,00	0,01		0,00		0,01	4,79
CULTURA AGRÍCOLA SEMI PERENE	0		34,10	0,02			1,55	0,00	0,10	0,10				0,06	35,33
CULTURA AGRÍCOLA TEMPORÁRIA	0			120,59			15,34		2,39	8,46	5,02			0,34	154,35
DESFLORESTAMENTO NO ANO	0		0,12	0,70			5,40	0,04	4,23	2,75	0,69	0,01		4,37	18,32
NÃO OBSERVADO	0		0,00	0,51		0,01	10,89	0,01	8,08	16,35	0,04	0,14	0,00	3,27	39,70
OUTROS	0		0,00	0,20		0,00	1,07	0,47	0,27	0,68	0,10	0,23		0,57	3,59
PASTAGEM CULTIVADA ARBUSTIVA	0	0,03	0,76	26,73		0,19	316,71	0,50	242,85	296,20	11,70	2,34		203,79	1101,80
PASTAGEM CULTIVADA HERBÁCEA	0		13,52	28,39		0,24	272,83	0,73	133,48	466,39	8,70	1,88		46,94	973,08
SILVICULTURA	0			1,91			22,68		8,02	10,67	92,11			31,38	166,96
URBANIZADA	0											10,36			10,36
VEGETAÇÃO NATURAL FLORESTAL PRIMÁRIA	0	0,00	0,79	21,30	1,33	0,12	10,81		8,03	15,21	2,52	1,59	1586,47	9,60	1657,77
VEGETAÇÃO NATURAL FLORESTAL SECUNDÁRIA	0	0,02	4,81	14,31		0,32	245,87	1,01	111,37	67,32	11,92	0,71		402,50	861,37
<b>Total Geral (2014)</b>	<b>4,75</b>	<b>0,05</b>	<b>114,10</b>	<b>215,06</b>	<b>1,33</b>	<b>1,49</b>	<b>904,77</b>	<b>2,76</b>	<b>518,80</b>	<b>884,93</b>	<b>132,80</b>	<b>17,26</b>	<b>1586,47</b>	<b>703,44</b>	<b>5086,02</b>

Tabela1. Matriz de transição das classes do Uso e Cobertura da Terra, no município de Ulianópolis-PA

Neste contexto, a área de estudo apresenta condições favoráveis para a disseminação do vetor e desperta a atenção para a adaptação do flebótomo no meio ambiente. Além disso, apresenta elevados números de casos e, por isso, está entre os municípios do estado do Pará que mais registram pacientes com infecção de LTA (SINAN, 2015).

## 4 | CONCLUSÕES

O município de Ulianópolis sofreu um intenso desmatamento ao longo dos anos, sendo considerado um dos municípios que mais desflorestaram na Amazônia. Ulianópolis faz parte da lista da Operação Arco de Fogo do Ministério do Meio Ambiente, a qual tem o objetivo de coibir o desmatamento ilegal (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2009).

A compreensão da dinâmica do uso do solo é importante, visto que essas classes ambientais são significativas na análise de cenários epidemiológicos, principalmente os relacionados aos flebotômico.

O local de estudo mostrou grandes transformações ambientais, com enormes áreas de pastagem, agricultura, mancha de Floresta Primária e Vegetação Secundária. Esses fatores podem estar influenciando na transmissão do agravo, sugerindo que a elevada incidência da LTA no município esteja relacionada ao extenso desmatamento

e que o flebotomíneo esteja adaptando-se a mudança deste cenário.

Diante da importante fonte de dados gerada pelo Projeto TerraClass na Amazônia Legal, sugere-se testar essa metodologia em outros municípios da Amazônia Legal brasileira para contribuir na compreensão do processo saúde, ambiente e sociedade.

## REFERÊNCIAS

Almeida et al. Acta Amazônia. **High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data**. Volume 46. Nº 3. p. 291-302. Manaus. July/set. 2016.

Brasil. Ministério da Saúde. **“Manual de Vigilância da Leishmaniose Tegumentar Americana”**. 2 ed, Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 180 p., 2010. ISBN 978-85 334-1270-5.

Campbell-Lendrum D, Dujardin JP, Martinez E, Feliciangeli MD, Perez JE, Silans LNMP, Desjeux P. **“Domestic and peridomestic transmission of American cutaneous leishmaniasis: changing epidemiological patterns present new control opportunities”**. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 96:159-162, 2001.

Camargo-Neves VLF et al. **“Correlation of the presence of phlebotominae species (Diptera: Psychodidae) with records of American tegumentary leishmaniasis cases in the State of São Paulo, Brazil”**. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 35(4), 299-306, 2002.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **“Desmatamento por municípios. Projeto PRODES”**. São José dos Campos, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2013. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em 08 de outubro 2018.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **“Base de Informações do Censo Demográfico 2010”**. Brasil: IBGE, 2014.

Medronho, R. A. et al. **“Epidemiologia”**. 2ª Ed. São Paulo: Atheneu, 2009.

Ministério do Meio Ambiente. **Plano de ação para prevenção e controle do Desmatamento na Amazônia**. Operação Arco de Fogo. Junho. 2009.

Rebêlo, J.M.M. et al. **“Flutuação sazonal dos flebotomíneos (Diptera, Psychodidae) em área de colonização recente do Município de Buriticupu, Amazônia maranhense, Brasil”**. *Revista Brasileira de Entomologia*, 45, 11-16, 2001.

Sistema de Informação de Agravos de notificação. **“Dados Epidemiológicos”**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0203&id=29892200&VObj=http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/defthtm.exe?sinannet/cnv/lta>>. Acesso em 04 março de 2015.

Santos, S. M; Pina, M.F.; Carvalho, M.S., 2000. **“Sistemas de Informação geográfica e cartografia aplicada à saúde”**. Ed. Organização Panamericana da Saúde, Ministério da saúde, 2000. 122p.

## ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE FATORES SOCIOAMBIENTAIS E O NÚMERO DE CASOS DE DOENÇA DE CHAGAS NO AMAZONAS, BRASIL

### **Eric Delgado dos Santos Mafra Lino**

Instituto Militar de Engenharia (IME), Seção de Engenharia Cartográfica  
Rio de Janeiro – RJ

### **Raquel Aparecida Abrahão Costa e Oliveira**

Instituto Militar de Engenharia (IME), Seção de Engenharia Cartográfica  
Rio de Janeiro – RJ

### **Samanta Cristina das Chagas Xavier**

Fundação Osvaldo Cruz (Fiocruz), Laboratório de Tripanosomatídeos. Rio de Janeiro – RJ

**RESUMO:** A doença de Chagas (DC) ocorre principalmente na porção norte do território brasileiro e somente o Brasil é responsável por mais de 2/3 dos casos que ocorrem no mundo, tornando-o uma peça chave no cenário de controle epidemiológico atual. Este estudo busca analisar a distribuição temporal e espacial dos casos ocorridos no estado do Amazonas ao longo de dez anos (2004-2014) e testar se os padrões de correlação observados em estudos anteriores para o Pará se repetem, ou seja, se o número de casos de DC no Amazonas está igualmente relacionado com variáveis de distribuição da população humana e o metabolismo e habitat do vetor. Este estudo estende a metodologia anteriormente aplicada pelo autor, pioneira ao incluir dados da produção de açaí e testar estatisticamente sua correlação

com o número de novos casos. O Índice de Moran não indicou forte correlação espacial e a análise de correlação evidenciou que a variável mais correlacionada com o número de novos casos é o grau de urbanização.

**PALAVRAS-CHAVE:** Doença de Chagas, Epidemiologia, Análise espacial, Correlação de Pearson, Índice de Moran.

### CORRELATION ANALYSIS BETWEEN SOCIOECONOMIC FACTORS AND THE NUMBER OF CHAGAS DISEASE CASES IN AMAZONAS, BRAZIL

**ABSTRACT:** Chagas Disease (CD) occurs mostly on the northern region of the Brazilian territory and Brazil itself accounts for over 2/3 of cases globally, making it a key player in the control of the spread of CD. This study analyses temporal and spatial distribution of Chagas disease's cases in Amazonas state on a ten-year span (2004-2014) and test if the correlation observed presents a similar pattern than those observed in previous studies for Pará. This study applies a methodology previously used by the author, that is pioneer on using data of açai production and test whether it is statistically relevant to the scenario. Results from Moran's I didn't show that there is spatial dependence and the correlation analysis demonstrated that the variable that is most correlated to the number of CD cases is related to urbanization levels.

**KEYWORDS:** Chagas Disease, Epidemiology, Spatial Analysis, Pearson's Correlation, Moran's Index.

## 1 | INTRODUÇÃO

Descoberta em 1909 por Carlos Chagas, a doença de Chagas (American trypanosomiasis) é uma enfermidade com ampla distribuição no continente americano, desde o sul dos Estados Unidos até o sul da Argentina, sendo que no Brasil, a maioria dos casos se encontra na região amazônica (CARRASCO, 2012). Ela ocorre a partir da partir da contaminação dos mamíferos com o parasita *Trypanosoma cruzi* ou *T. cruzi*, que por sua vez é um protozoário parasita da família *Trypanosomatida* e ordem *Tripanosomatidae* (MOREIRA, 2004) e seu único agente etiológico. Esta contaminação é feita a partir dos barbeiros, nome popular dado a diversas espécies de triatomíneos vetores da doença de Chagas. Estes são insetos são hematófagos que transmitem o parasita ao realizarem o repasto.

Tradicionalmente, a exposição do ser humano ao triatomíneo aumenta com o surgimento da necessidade por espaço, impulsionada pelo acelerado crescimento populacional. Isto leva ao desmatamento e ocupação de regiões antes intocadas. Por consequência, gera-se desequilíbrio na biodiversidade local com a migração forçada de espécies que não se adaptam à antropização (LOYOLA, 2009) e coloca o homem como um potencial alvo para vetores de doenças, dentre elas, a doença de Chagas (SUTHERST, 2013; MONCAYO, 2017). Além disto, a resiliência à antropização de certas espécies de barbeiro torna o risco de transmissão ainda mais alto (AUFDERHEIDE, 2004).

Apesar dos esforços para controle da transmissão, na última década no Brasil a Doença de Chagas teve elevado número de casos, especialmente na região norte. Ao serem investigados os motivos para tal, pôde-se observar um aumento expressivo no número de casos decorrentes da contaminação por via oral a partir da ingestão da polpa do açaí e outros produtos derivados. (NÓBREGA, 2009). Especificamente no Pará, a contaminação por via oral chega a corresponder a 71% dos casos (SHIKANAI-YASUDA, 2012), caracterizando um cenário bastante particular, cujas medidas padrão de controle e combate à doença não se apresentaram eficazes. Neste cenário epidemiológico, Lino (2018) observou que o grau de urbanização e a densidade populacional figuravam como os principais fatores que contribuíam com o número de casos.

Neste contexto, ainda que não apresente um número de casos tão elevado quanto seu vizinho, o estado do Amazonas apresenta características similares ao Pará: ambos os estados tiveram um aumento no número de casos na última década; ambos sofrem com altos índices de desmatamento conforme evidenciado por mapeamentos recentes (MAPBIOMAS, 2019); e ambos possuem características biológicas e climáticas similares. Características essas previamente apontadas por

Carcavallo (2009) como responsáveis por acelerar o metabolismo e ciclos de vida dos vetores e parasita e assim aumentar o risco de transmissão da Doença de Chagas.

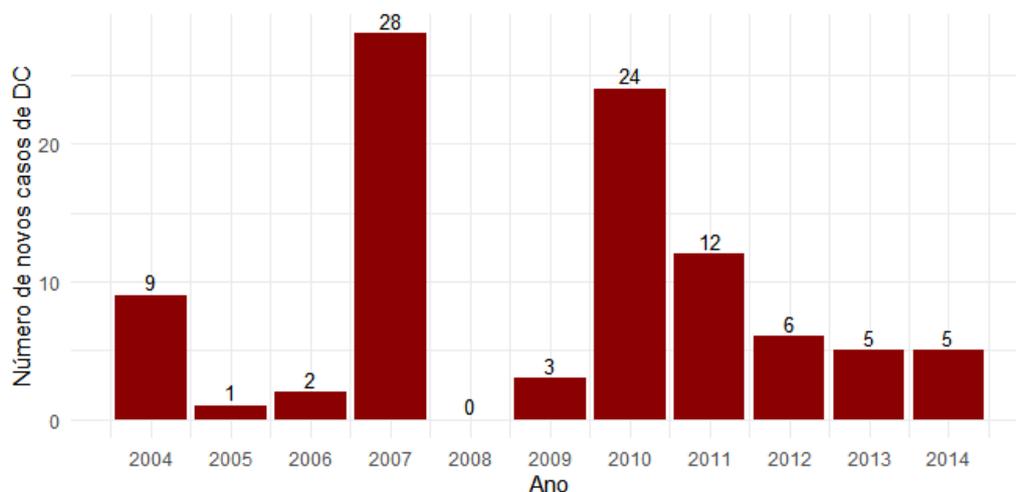


Figura 1.1: Número de infectados pelo *Trypanosoma cruzi* no Amazonas entre 2004 e 2014.

Portanto, levando em consideração o descrito acima, o presente estudo busca analisar se os fatores socioeconômicos, ambientais e climáticos relacionados com o número de infectados por *T.cruzi* no estado do Pará apresentam similar influência para o estado do Amazonas.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A área selecionada para o estudo é o estado do Amazonas. O estado tem como limites Roraima e Venezuela ao norte; Pará a leste, Rondônia e Acre ao sul; e Colômbia e Peru a oeste.

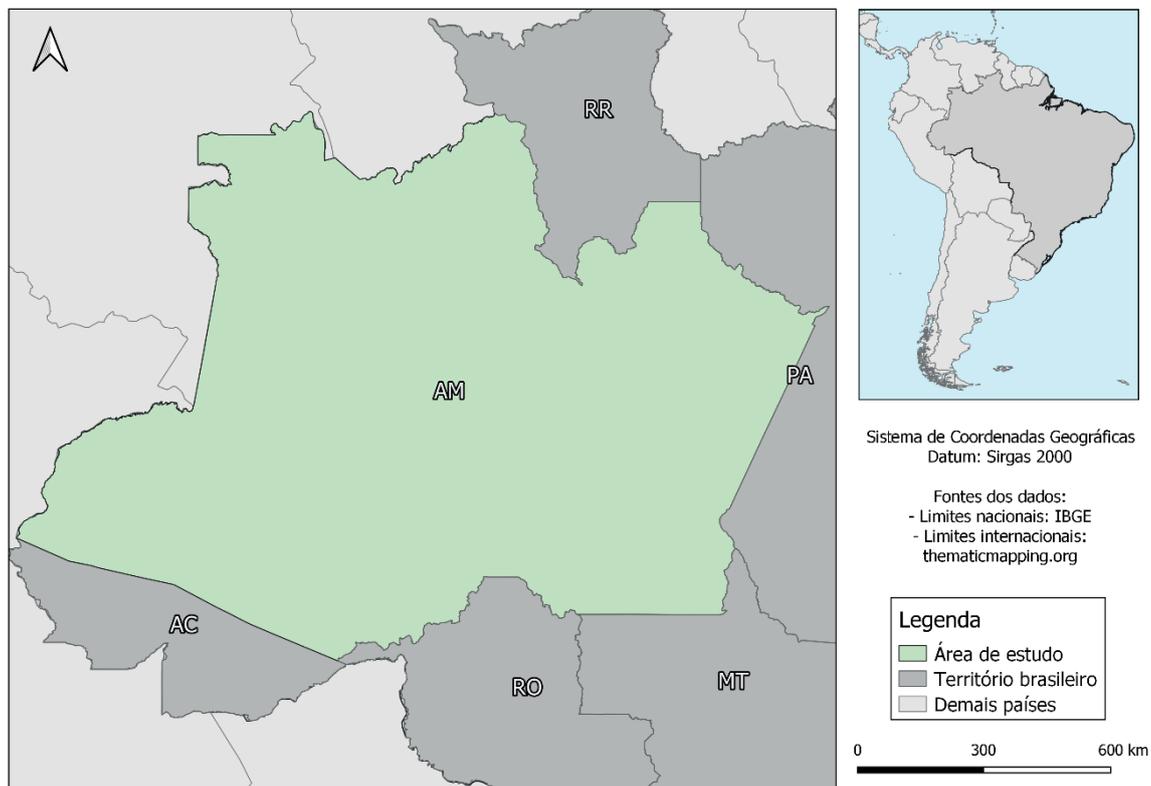


Figura 2.1: Mapa de localização do estado do Amazonas, área de estudo.

O estado é o maior da federação, com uma área de 1.559.147 km<sup>2</sup> (IBGE, 2018) e 3.483.985 habitantes, de acordo com o último censo (IBGE 2010). Suas dimensões são equiparáveis às áreas da Espanha, França, Suécia e Grécia somadas e mais da metade de sua população está concentrada na capital, Manaus. (AMAZONAS, 2010) Em seu território está contida parte da floresta amazônica, cuja contribuição para manutenção dos serviços ecossistêmicos em escala global é notória (NOBRE, 2014). O estado conta com 62 municípios e a segunda menor densidade populacional do país, com aproximadamente 2,23 hab/km<sup>2</sup> (IBGE 2010).

Os dados deste estudo foram coletados desde 2004 até 2014 em escala municipal, com uma observação por ano. Para a seleção de quais variáveis iriam compor o banco de dados analisado, foi realizada pesquisa bibliográfica onde foram identificados estudos (descritos a seguir) que apontavam relação causal entre determinado fator de ordem ambiental, climática ou socioeconômica e o número de casos de doença de Chagas ou alterações metabólicas no vetor ou parasita.

A tabela 2.1 a seguir mostra os fatores observados e as plataformas de onde foram extraídos os dados usados na pesquisa:

Fatores	Representação	Fonte
Temperatura	Temperatura máxima média (Celsius)	Agritempo
	Temperatura mínima média (Celsius)	
	Precipitação média (mm/ano)	
Umidade	Umidade relativa média (%/ano)	INMET
Uso do solo	Área vegetada (%)	Mapbiomas
	Área não vegetada (km <sup>2</sup> )	
	Área de agropecuparia (km <sup>2</sup> )	
Socioeconômico	Produção de açaí (ton)	IBGE
	Densidade da produção (ton/km <sup>2</sup> )	
Epidemiológico	Zona municipal c/ maior nº de casos	DATASUS
	Densidade populacional (hab/km <sup>2</sup> )	IBGE

Tabela 2.1: Relação entre variáveis e bases de dados consultadas.

As variáveis apresentadas acima foram subdivididas em quatro categorias determinadas por afinidade e serão descritas a seguir. São elas: ‘climáticas’ (temperatura e umidade); ‘ambientais’ (uso e cobertura do solo); ‘epidemiológicas’ (zona dos casos e número de novos casos) e ‘demográficas e econômicas’ (produção de açaí e densidade populacional).

## 2.1 Variáveis Climáticas

A inclusão destas variáveis deu-se por conta do efeito que a temperatura e umidade têm no vetor. Carcavallo (2009) reúne estudos de diversas espécies onde fica evidente que temperaturas mais altas e climas menos úmidos aumentam a busca por alimento.

Os dados provenientes do INMET foram originalmente coletados a nível mensal e tiveram seus valores anuais estimados a partir de valores médios para cada ano. Por conta do pequeno número de estações meteorológicas na região, foi necessário realizar interpolação pelo inverso da distância (IDW) para os municípios carentes de observações. Nestes casos, a observação foi extraída do centroide do município. O cálculo da média pode ser descrito por:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

onde 'x' são os valores coletados nas observações e 'N' é o número de observações realizadas. A informação obtida na plataforma Agritempo, por sua vez, foi utilizada na forma original. Cabe ressaltar que os dados disponíveis são provenientes de processos de estimativa realizado por diferentes entidades a partir de técnicas de sensoriamento remoto e dados coletados *in loco* por outros órgãos. Recomenda-se a leitura de Romani (2007) para melhor compreensão dos procedimentos envolvidos.

## 2.2 Variáveis ambientais

Para as variáveis ambientais, foram obtidos os dados de uso e classificação do solo tabulados pelo projeto The Brazilian Annual Land Use and Land Cover Mapping Project (MapBiomas) (MAPBIOMAS, 2015). Deste, utilizaram-se apenas os valores descritos para área destinada à atividade agropecuária, área vegetada e não-vegetada ou urbanizada, resultando em três variáveis por município por ano. Para a área vegetada, calculou-se o percentual de cobertura vegetal a partir do total de área terrestre em cada município. Isto é, foram excluídos do total lagos e rios. Além da ocupação antrópica colocar o ser humano em contato com os vetores de doenças que habitam determinada região, a degradação dos habitats naturais também causa alterações no microclima do local, o que pode gerar aumento na ocorrência de doenças zoonóticas (LINDBLADE, 2000).

## 2.3 Variáveis Demográficas e Econômicas

Os dados usados para representar as variáveis demográficas e econômicas foram respectivamente a densidade populacional e a produção anual de açaí por município, obtidos no site do censo (IBGE, 2010) e na plataforma SIDRA/IBGE (IBGE, 2019), respectivamente. Para as contagens populacionais ocorridas entre os anos de censo, foram utilizadas as previsões geradas pelo referido instituto e enviadas ao Tribunal de Contas da União (TCU). A inclusão destas variáveis dá-se pelo fato de que o consumo do açaí é uma das formas de contaminação (SHIKANAI-YASUDA, 2012) e o comércio deste fruto ocorre principalmente em centros urbanos (XAVIER, 2015).

## 2.4 Variáveis Epidemiológicas

Neste estudo foram analisadas duas variáveis epidemiológicas: o número de casos de infectados por Chagas (variável dependente) e as zonas de maior ocorrência de casos, ambas obtidas na plataforma do DATASUS (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2018). Esta segunda variável possui caráter categórico e indica, para cada município, se a maior parte dos casos ocorreu em zonas rurais (1), periurbanas (2) ou urbanas (3). Quando não foi possível identificar a zona com o maior número de

casos, atribuiu-se o valor 0.

## 2.5 Metodologia da Análise

Todos os dados foram armazenados em planilha de extensão .csv e analisados a partir do software R 3.5.1 (R, 2018). A metodologia aplicada foi apresentada inicialmente em estudo de caso no estado do Pará (ver Lino, 2019) e foi replicada para a Amazônia para ver se as tendências observadas no primeiro estudo de caso constituem um padrão observável no bioma. Para análise de dependência espacial, aplicou-se o Índice Global de Moran, calculado a partir das coordenadas de latitude e longitude do centroide de cada município. O objetivo do índice é avaliar a autocorrelação espacial entre o número de casos, ou seja, ver se a região de ocorrência entre eles possui alguma justificativa. Um tabuleiro de xadrez pode ser considerado um exemplo de uma imagem perfeitamente distribuída, pois as casas pretas e brancas estão distribuídas de forma homogênea. Já um quadrado onde metade do topo é composta por quadrados brancos e metade é composta por quadrados pretos serviria como exemplo de correlação espacial, ou seja, quadrados pretos ocorrem apenas onde seus vizinhos são quadrados pretos e vice-versa (GETIS & ORD, 1992; ANSELIN, 2005).

Além da disposição espacial de casos de Doença de Chagas, buscou-se avaliar separadamente a correlação entre fatores ambientais, climáticos, demográficos e econômicos e o número de casos de Doença de Chagas. Para tal, foi adotado o teste de correlação de Pearson, que busca analisar em pares a correlação linear entre variáveis. O resultado deste teste varia de -1 a 1, sendo -1 um indicativo de correlação inversa, ou seja, uma variável aumenta quando a outra diminui. Um resultado de +1, por sua vez, indica correlação positiva (SCHOBER, 2018).

## 3 | RESULTADOS

A partir da análise de correlação, foi possível gerar um correlograma e observar as seguintes interações:

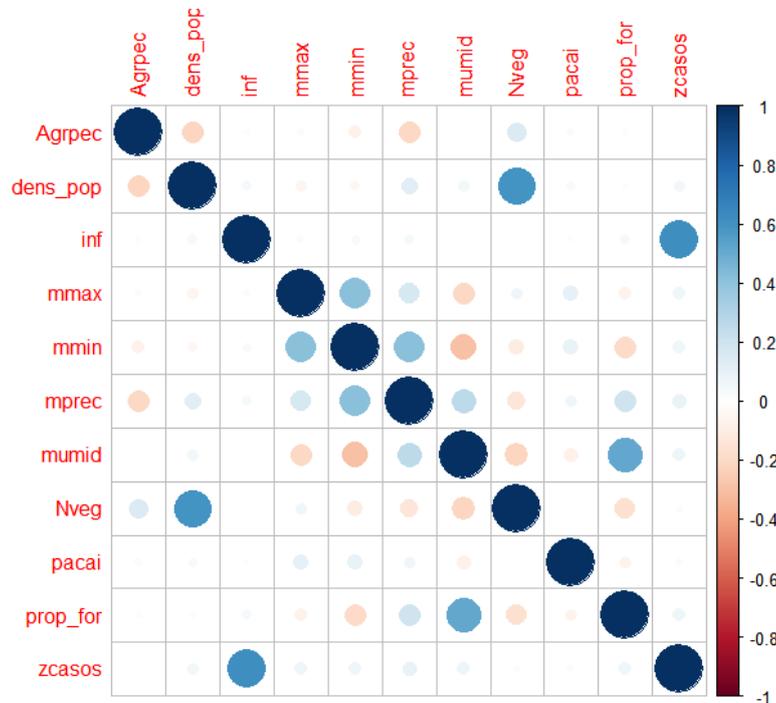


Figura 3.1: Correlograma com as variáveis analisadas.

A figura 3.1 mostra os valores obtidos para o índice de correlação de Pearson das variáveis de forma gráfica, onde os tons de azul representam uma correlação positiva (valores maiores que 0) e o vermelho representa uma correlação negativa (valores menores que 0). De acordo com o eixo Y do correlograma, as variáveis estão apresentadas na seguinte ordem: **área destinada à agropecuária; densidade populacional; número de novos casos de Doença de Chagas; temperatura máxima média; temperatura mínima média; precipitação média; umidade relativa média; área não-vegetada; produção de açaí, percentual de cobertura vegetal nativa e zona predominante de ocorrência dos casos.** Cabe ressaltar que neste artigo serão discutidas exclusivamente as interações entre “inf” (ou n° de infectados) e as demais variáveis. Esta interação pode ser observada tanto verticalmente (3ª linha) quanto horizontalmente (3ª coluna) na imagem.

Já os resultados para o Índice de Moran estão contidos na tabela 3.1 e foram calculados para cada ano:

	Observado	Esperado	Desvio Padrão	p-valor
2004	-0.0311678	-0.03125	0.005830365	0.988745
2005	-0.0354833	-0.03226	0.005634652	0.567056
2006	0.0143565	-0.02222	0.02208563	0.097677
2007	-0.0178723	-0.01724	0.004221679	0.881193
2008	N.A			
2009	-0.0155787	-0.01923	0.02102279	0.862084
2010	0.0151774	-0.01786	0.01449303	0.022647
2011	-0.0161543	-0.01639	0.002983766	0.936108
2012	-0.0109541	-0.01639	0.01901994	0.774892
2013	-0.0290979	-0.01639	0.01864811	0.495698
2014	-0.0255455	-0.01639	0.01631895	0.574917

Tabela:3.1: Resultados para o Índice Global de Moran para cada ano da série temporal

A tabela acima mostra os valores obtidos individualmente para cada ano na coluna “observado”. A sua direita, a coluna “esperado” assinala o valor que representa a hipótese nula. Nas colunas seguintes constam respectivamente os valores de desvio padrão e o p-valor, que indica se a diferença entre “observado” e “esperado” é significativa.

#### 4 | DISCUSSÃO

Contrário à expectativa inicial, apenas parte das interações observadas por Lino (2019) puderam ser observadas. A partir do correlograma, pode-se observar que apenas a variável referente a zona de maior ocorrência (zcasos) possui correlação com o número de novos casos (aprox.. 0,6), indicando que quanto maior o número de contaminados com doença de Chagas em determinado ano, maior probabilidade de que a maioria destes tenha ocorrido em áreas urbanas.

Precipitação e temperatura mínima não apresentaram fortes correlações, mas obtiveram valores ligeiramente positivos (aprox. 0,1). Este resultado é contrário à expectativa inicial apresentada por Carcavallo (2009), de que zonas de menor umidade (e conseqüentemente menor precipitação) apresentariam mais casos. No entanto, o resultado aqui observado pode ter ocorrido pelo fato das variáveis umidade e precipitação surtirem efeito maior nas rotinas dos humanos (ex: confinamento em um ambiente fechado na presença do vetor) se comparado ao efeito nos triatomíneos.

Densidade populacional teve ligeira correlação positiva (aprox. 0,1), acontecimento este que pode ter ocorrido pelo fato de que a área de estudo possui a menor densidade populacional observada em todo o país (IBGE, 2010). Isto pode ser um indicativo de que há um valor mínimo necessário para que a densidade populacional seja um fator relevante para o cenário de transmissão estudado.

A respeito da análise com o Índice Global de Moran, podemos observar que apenas em 2010 foi constatada dependência espacial. O ano em questão é o segundo maior em quantidade de novos casos, e não é o suficiente para determinar que

uma dependência espacial recorrente ocorra na região. Possivelmente por causa da ampla distribuição dos triatomíneos no bioma amazônico e a menor expressividade da contaminação por via oral na Amazônia se comparada ao Pará, o risco de contaminação esteja distribuído igualmente por toda a região.

## 5 | CONCLUSÕES

Conclui-se, portanto, que ainda que haja influência marginal das variáveis climáticas, variáveis referentes à urbanização possuem maior correlação com o número de novos casos e podem oferecer uma abordagem promissora a ser estudado em busca de controle e combate mais eficazes a doença de Chagas. Além disto, o fato de inexistir dependência espacial entre os casos exige que as políticas a serem implementadas contemplem o estado em sua totalidade

## REFERÊNCIAS

ANSELIN, L. **Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook**. [s.l.: s.n.].

AUFDERHEIDE, A. C. et al. A 9,000-year record of Chagas' disease. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s. l.], v. 101, n. 7, p. 2034–2039, 2004. Disponível em: <http://www.pnas.org/lookup/doi/10.1073/pnas.0307312101>

CARCAVALLO, R. Climatic factors related to Chagas disease transmission. **Mem Inst Oswaldo Cruz**, [s. l.], v. 99, n. 4, p. 535–44, 2009.

CARRASCO, H. J. et al. Geographical distribution of trypanosoma cruzi genotypes in venezuela. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 6, n. 6, 2012.

GETIS, A.; ORD, J. K. The Analysis of Spatial Association by Use of Distance Statistics. **Geographical Analysis**, [s. l.], v. 24, n. 3, p. 189–206, 1992. Disponível em: <[http://www.ibci.com.br/Regressao\\_Multipla.pdf](http://www.ibci.com.br/Regressao_Multipla.pdf)>. Acesso em: 9 abr. 2018.

GOVERNO DO ESTADO DO AMAZONAS. **O Amazonas - dados**. 2010. Disponível em: <<http://www.amazonas.am.gov.br/o-amazonas/dados/>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Áreas dos Municípios I IBGE**. 2018. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Censo 2010**. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P6&uf=00>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

LINDBLADE, K. A. et al. Land use change alters malaria transmission parameters by modifying temperature in a highland area of Uganda. **Tropical Medicine and International Health**, [s. l.], v. 5, n. 4, p. 263–274, 2000.

LINO, E. D. dos S. M.; XAVIER, S. C. das C.; OLIVEIRA, R. A. A. C. e. O NÚMERO DE CASOS DE DOENÇA DE CHAGAS NO BRASIL. In: XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO 2014, Santos. **Anais...** Santos: Galoá, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/analise-de-correlacao-de-fatores-ambientais-e-sociais-com-o-numero-de-casos-de-doenca-de-chagas-no-brasil>>

LOYOLA, R. D. et al. Integrating economic costs and biological traits into global conservation priorities for carnivores. **PLoS ONE**, [s. l.], v. 4, n. 8, p. e6807, 2009. Disponível em: <<http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0006807>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

MAPBIOMAS. **O que é o MapBiomias**. 2015. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>>. Acesso em: 9 jul. 2017.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Banco de Dados do Sistema Único de Saúde**. 2018. Disponível em: <<http://datasus.saude.gov.br/>>. Acesso em: 2 jul. 2017.

MONCAYO, Á.; SILVEIRA, A. C. Current epidemiological trends for Chagas disease in Latin America and future challenges in epidemiology, surveillance and health policy. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, [s. l.], v. 104, n. 1, p. 334–6, 2009. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0074-02762009000900005&lng=en&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0074-02762009000900005&lng=en&tlng=en)>. Acesso em: 29 out. 2018.

MOREIRA, D.; LÓPEZ-GARCÍA, P.; VICKERMAN, K. An updated view of kinetoplastid phylogeny using environmental sequences and a closer outgroup: Proposal for a new classification of the class Kinetoplastea. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, [s. l.], v. 54, n. 5, p. 1861–1875, 2004.

NOBRE, A. D. **The Future Climate of Amazonia Scientific Assessment Report**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The\\_Future\\_Climate\\_of\\_Amazonia\\_Report.pdf.AhXCjpAKHRSRCKEQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ccst.inpe.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F11%2FThe\\_Future\\_Climate\\_of\\_Amazonia\\_Report.pdf&usg=AFQjCNERK4Y5Laea2YUwS](http://www.ccst.inpe.br/wp-content/uploads/2014/11/The_Future_Climate_of_Amazonia_Report.pdf.AhXCjpAKHRSRCKEQFggjMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ccst.inpe.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2014%2F11%2FThe_Future_Climate_of_Amazonia_Report.pdf&usg=AFQjCNERK4Y5Laea2YUwS)>

NÓBREGA, A. A. et al. Oral transmission of chagas disease by consumption of Açaí palm fruit, Brazil. **Emerging Infectious Diseases**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 653–655, 2009.

R Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2018. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

ROMANI, L. A. S. et al. Modelo De Estações Virtuais Com Estimativa De Precipitação E Temperatura Para Aprimoramento Dos Mapas No Agritempo. In: XV CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA 2007, Aracaju. **Anais...** Aracaju

SCHOBER, P.; BOER, C.; SCHWARTE, L. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. **Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 5, 2018. ISSN 00032999

SHIKANAI-YASUDA, M. A.; CARVALHO, N. B. Oral transmission of chagas disease. **Clinical Infectious Diseases**, [s. l.], v. 54, n. 6, p. 845–852, 2012.

STEARNS, S. C. Sustaining Life: How Human Health Depends on Biodiversity. **Acta paediatrica**, [s. l.], v. 117, n. 6, p. A266, 2009. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=jlc3AAwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=CHIVIAN,+E.%3B+BERNSTEIN,+A.+Sustaining+Life:+How+Human+Health+Depends+on+Biodiversity.+Oxford+University+Press,+New+York,+NY,+2008&ots=SakAZ431aH&sig=ImzknT1jrF-8Yx39XsXJjxy>>. Acesso em: 17 fev. 2018.

SUTHERST, R. W. **Global change and human vulnerability to vector-borne diseases**. [s.l.: s.n.]. v. 17 Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/603b/a760721244e7e8fda6bdf3aaf53e61de440a.pdf>>. Acesso em: 9 abr. 2018.

XAVIER, S. C. das C. et al. Distantiae Transmission of Trypanosoma cruzi: A New Epidemiological Feature of Acute Chagas Disease in Brazil. **PLoS Neglected Tropical Diseases**, [s. l.], v. 8, n. 5, 2014.

## CONFIGURAÇÃO E SIGNIFICADO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS MAIORES DA SERRA DO ESPINHAÇO MERIDIONAL

**William Medina Leite Féres**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM. Programa de Pós-graduação em Geologia - PPGeo Diamantina – MG

**Pedro Angelo Almeida Abreu**

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM. Centro de Estudos em Geociências - CeGeo  
Diamantina – MG

**RESUMO:** O uso de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) permite investigar lineamentos estruturais presentes em faixas orogênicas, no caso, a Serra do Espinhaço Meridional. Essas estruturas foram vetorizadas utilizando-se imagem de relevo sombreado gerada a partir dos dados SRTM. Os lineamentos vetorizados compreendem cristas e vales. A partir do arquivo vetorial foram gerados diagramas de roseta e histogramas de frequência absoluta e comprimento médio dos lineamentos. Com base na compilação desses produtos foi elaborado um mapa de domínios estruturais. A compartimentação proposta subdivide a região de acordo com a densidade de lineamentos. O domínio estrutural positivo é resultante de condicionantes tectônicas, enquanto o domínio estrutural negativo engloba áreas arrasadas pela morfogênese atual. Esses lineamentos foram reconhecidos como

estruturas primitivas do substrato cratônico.

**PALAVRAS-CHAVE:** Processamento Digital de Imagens, Vetorização de feições lineares, Compartimentação Tectônica, Serra do Espinhaço Meridional.

### MAJOR STRUCTURAL LINEAMENTS OF SOUTHERN ESPINHAÇO RANGE, BRAZIL: CONFIGURATION AND MEANING

**ABSTRACT:** The use of SRTM data (*Shuttle Radar Topography Mission*) allows to investigate structural lineaments present in orogens, in this case, the Southern Espinhaço Range. These structures were vectorized using a shaded relief image generated from SRTM data. Vectorized lineaments comprise ridges and valleys. From the shapefile, rosette diagrams and histograms of absolute frequency and average length were generated. Based on the compilation of these products, a map of structural domains was developed. The proposed compartmentalization subdivides the region according to the density of lineaments. The positive structural domain result from tectonic constraints, while the negative structural domain encompasses areas razed by the current morphogenesis. These lineaments were recognized as primitive structures of the cratonic substrate.

**KEYWORDS:** Digital image processing, Vectoring linear features, Tectonic

compartmentalization, Southern Espinhaço Range.

## 1 | INTRODUÇÃO

A exposição natural de estruturas geológicas em superfície e a modelagem do relevo por processos exógenos determinam a geração de lineamentos morfoestruturais. O estudo desses lineamentos, a partir dos produtos de sensoriamento remoto, constitui importante ferramenta para a análise espacial e configuração de estruturas rúpteis de 1ª ordem no âmbito de faixas orogênicas.

A técnica de vetorização de feições lineares vem sendo amplamente aplicada a partir de imagens de sensoriamento remoto em pesquisas relacionadas à tectônica pré-cambriana (FÉRES, FORTES, 2017), neotectônica (OLIVEIRA et al. 2009) e geologia estrutural aplicada à prospecção mineral (HANNA et al. 2015).

Outra técnica aplicada às investigações de feições lineares consiste na combinação da análise de imagens de satélites com métodos de fotoanálise e fotointerpretação, a exemplo dos estudos realizados por Veneziani et al. (1988) acerca da cinemática de lineamentos estruturais da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM).

Neste trabalho foi realizada a integração de dados gerados a partir da vetorização de lineamentos e métodos fotointerpretativos, visando o reconhecimento da expressão morfoestrutural e o significado de lineamentos da SdEM, sobretudo da sua região noroeste.

## 2 | CONTEXTO GEOLÓGICO

A Serra do Espinhaço constitui a faixa orogênica mais extensa do território brasileiro. Estende-se por 1200 Km na direção-geral N-S no interior dos estados de Minas Gerais e Bahia (Fig. 1). O segmento meridional – SdEM – determina o limite sudeste do Cráton do São Francisco (ALMEIDA, 1977), ressaltando faixa montanhosa de aproximadamente 300 km na parte centro-norte de Minas Gerais. A datação de zircões de diferentes rochas vulcânicas e sedimentares revelaram que a abertura da Bacia Espinhaço e deposição de suas unidades inferiores ocorreu entre 1.75 a 1.68 Ga (MACHADO et al. 1989; DUSSIN et al. 1984; HAGEDORN et al. 2003; BEZERRA-NETO, 2016).

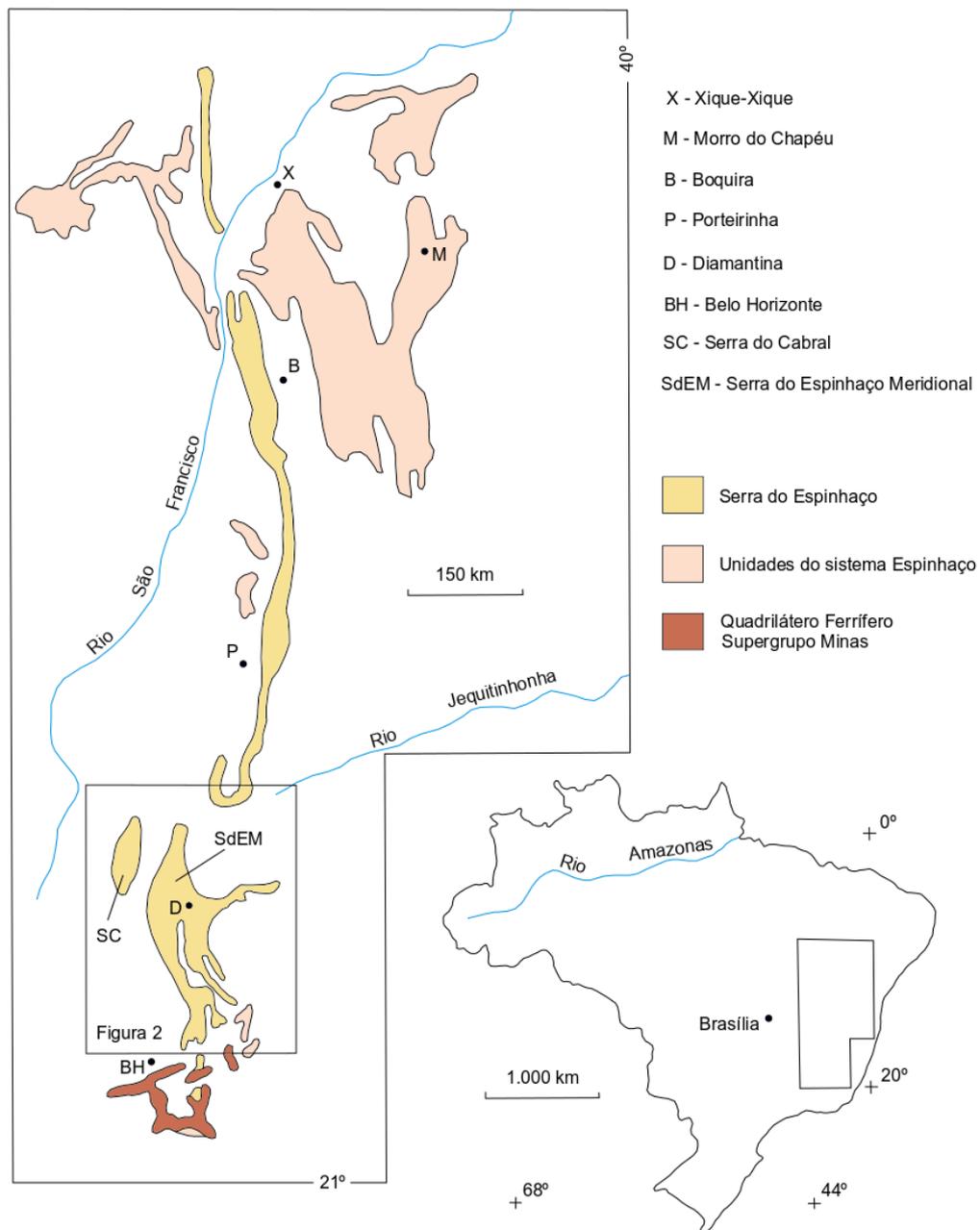


Figura 1. Mapa de articulação e localização da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM).

As litologias quartzíticas que compõem o relevo protuberante da SdEM foram admitidas como depósitos de planície aluvial costeira adjacente à bacia marinha-oceânica da Bacia Espinhaço (ALMEIDA-ABREU, RENGER, 2002, 2007). As unidades continentais da planície costeira exibem interdigitação com unidades da bacia marinha (HERRGESELL, PFLUG, 1986; ALMEIDA-ABREU, RENGER, 2007).

A inversão tectônica da bacia deve ter iniciado antes de 1.5 Ga, haja visto o reduzido tempo de equilíbrio da litosfera oceânica até o final do Mesoproterozoico, em face das relações termais do sistema crosta-manto (MOORES, 1993). Durante a colisão dos dois blocos crustais as unidades da bacia marinha cavalgaram a plataforma da planície aluvial, edificando um *thrust belt* (Fig. 2) na borda oriental da SdEM (HERRGESELL, PFLUG, 1986).

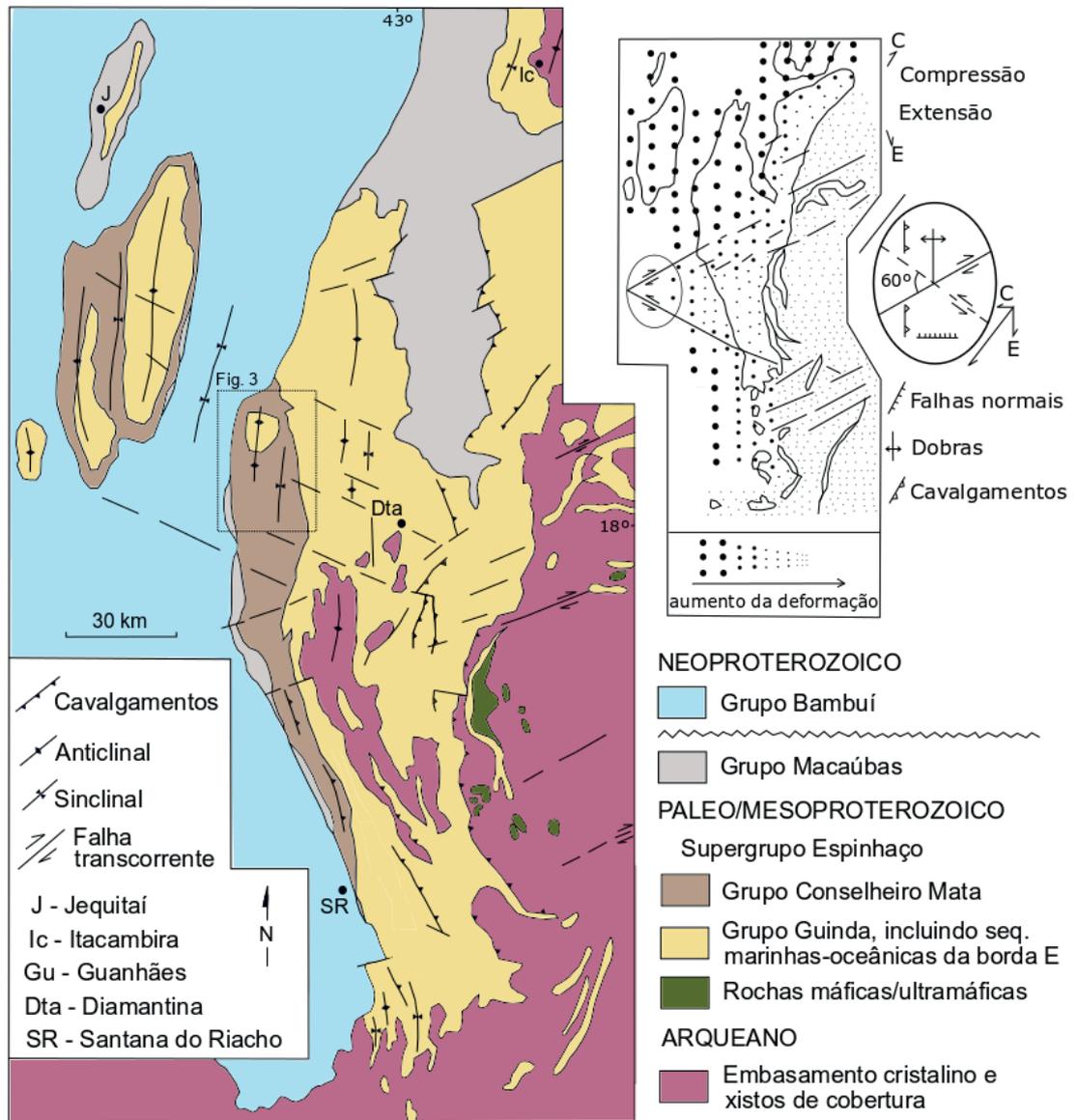


Figura 2. Mapa de estruturação tectônica regional da Serra do Espinhaço Meridional (SdEM).

Unidades do Grupo Conselheiro Mata (Fig. 3) revelaram zircões detríticos de 1.2 Ga (SANTOS et al. 2015) reforçando a proposta de que essa bacia, alocada na parte externa da faixa orogênica, pode ter representado uma calha tipo *foredeep* (ALMEIDA-ABREU, 2001; ALMEIDA-ABREU, RENGER, 2007).

Franjas de rochas glaciogênicas que bordejam o ocidente e nordeste da SdEM são remanescentes de depósitos de uma glaciação de montanhas que ocorreu em cerca de 1 Ga (D'AGRELLA FILHO et al. 1990), que teve a SdEM como centro de dispersão dos glaciares (ALMEIDA-ABREU, RENGER, 2007). Os clastos dos tilitos revelam que o Orógeno Espinhaço já expunha em 1 Ga rochas de diferentes níveis crustais.

Rochas basálticas da Suíte Pedro Lessa (930 Ma, MACHADO et al. 1989), compõem uma LIP intrusiva no âmbito da SdEM e regiões adjacentes. Quando encaixadas em rochas do Supergrupo Espinhaço seccionam as estruturas tectônicas da faixa orogênica.

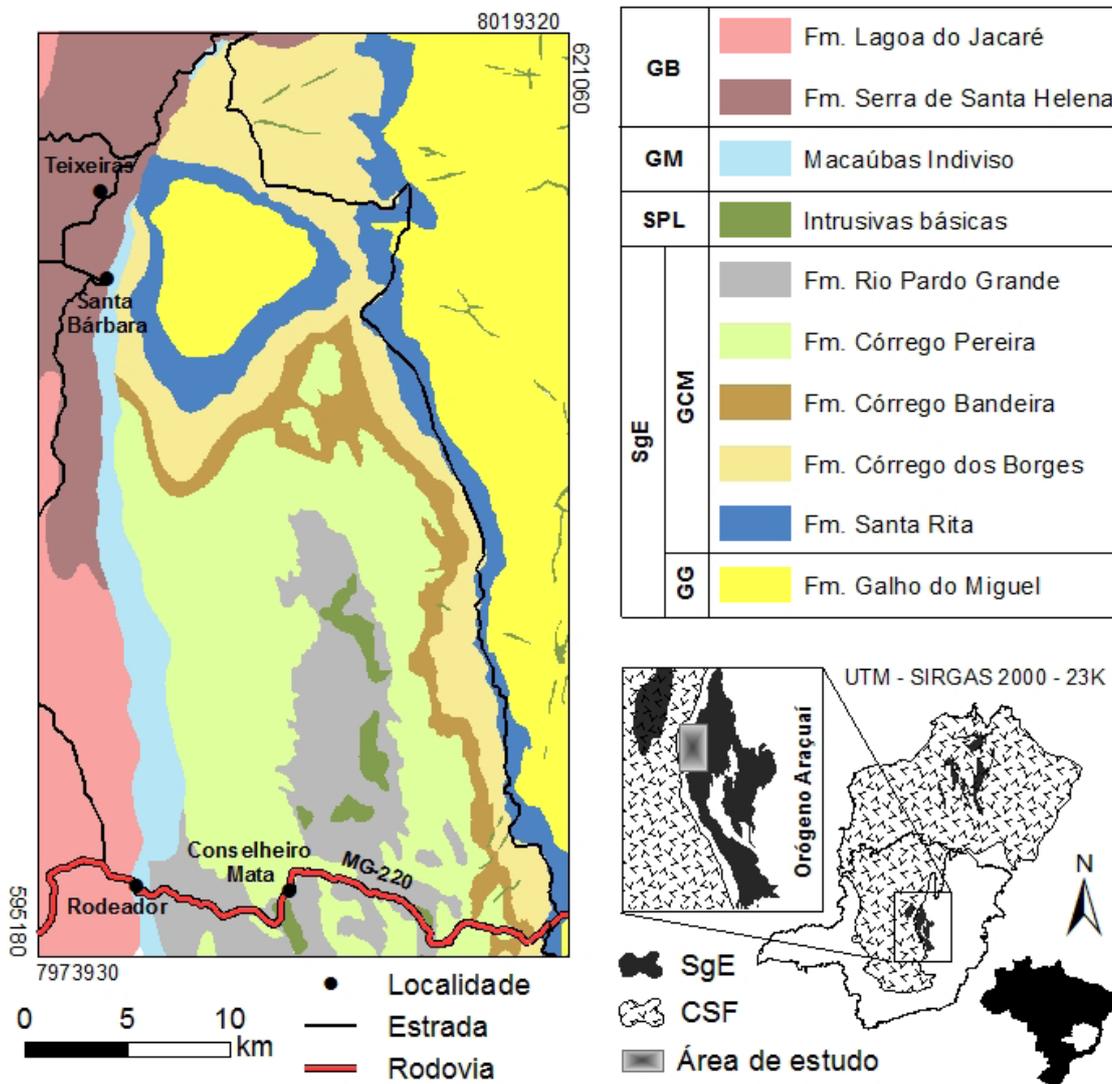


Figura 3. Localização da área de trabalho no contexto da SdEM (Geologia compilada de FOGAÇA, 1997; LOPES et al. 2014; NOCE, 1997; ROMANO et al. 2014). Observe que as sequências do SgE são recobertas, a oeste, por unidades neoproterozoicas do GM e GB.

No noroeste da SdEM (Fig. 3) afloram rochas da Formação Galho do Miguel do Grupo Guinda, assim como todas as formações do Grupo Conselheiro Mata, e que encaixam rochas basálticas pós-tectônicas da Suíte Pedro Lessa. Rochas glaciogênicas do Grupo Macaúbas compõem franjas estreitas ao longo do flanco ocidental da SdEM, recobertas por rochas do Grupo Bambuí.

### 3 | METODOLOGIA

Foram utilizadas imagens de sensoriamento remoto da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e submetidas a processamento digital através dos softwares ArcGis® (versão 10.4 da ESRI - de domínio do Laboratório de Estudos Espeleológicos do CeGeo-ICT-UFVJM) para extração manual de lineamentos na escala 1:50.000 e do Spring® (versão 5.5.3 do INPE) para manipulação dos dados SRTM, assim como para a geração de imagens de relevo sombreado e confecção de diagramas de roseta e histogramas (o fluxograma da Figura 4 indica a rotina

metodológica de aquisição e processamento utilizados).

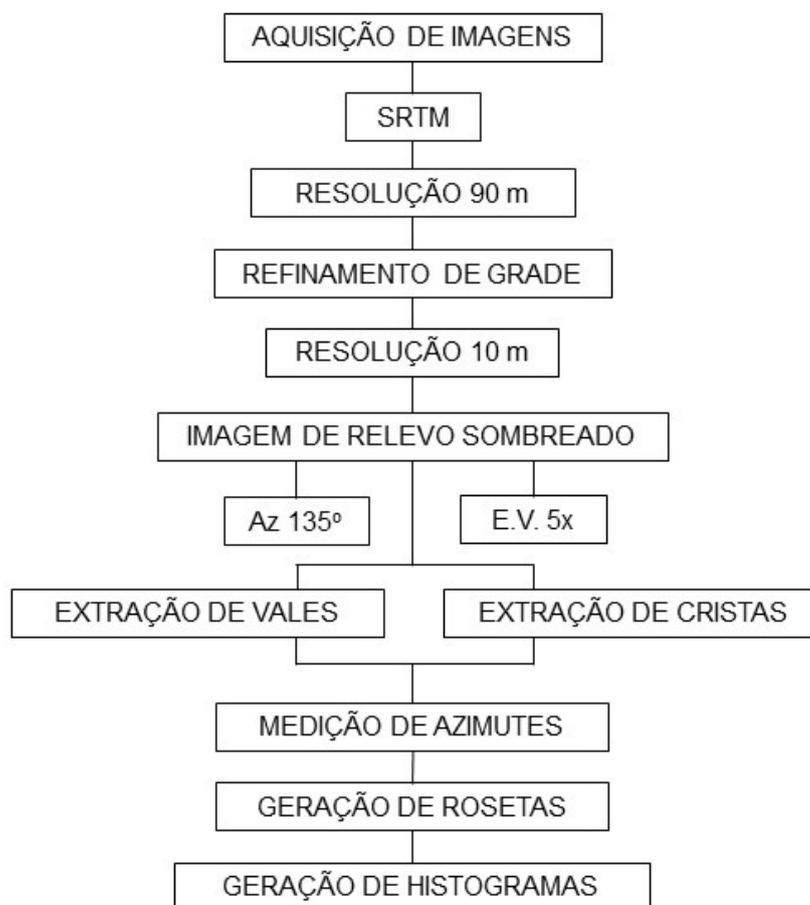


Figura 4. Fluxograma ilustrando a rotina metodológica do processamento digital de imagens.

Os dados originais do projeto SRTM têm resolução espacial de 90 m. Visando otimizar o produto para conversão de sua resolução espacial para 10 m foi realizado o refinamento da grade do modelo numérico de terreno.

Foi gerada, então, imagem de relevo sombreado com exagero vertical de 5 vezes (visando conveniência visual) e azimute de iluminação de 135°, definido graças à qualidade da imagem gerada em relação ao contingente de feições lineares destacadas.

Sobre a imagem de relevo sombreado foram extraídos manualmente lineamentos associados às feições de drenagem (representando vales ou quebras negativas) e às feições de relevo (representando cristas ou quebras positivas). Pela análise exploratória dos *shapefiles* gerados foram confeccionados diagramas de roseta e histogramas de frequência absoluta e comprimento médio dos lineamentos extraídos, de modo a subsidiar discussões e interpretações a respeito dos domínios estruturais.

## 4 | RESULTADOS

Foram analisados um total de 1027 lineamentos estruturais, que juntos contabilizam aproximadamente 1400 km de feições lineares esculpidas no relevo (Tabela 1).

A orientação preferencial de cristas (Fig. 5) e vales (Fig. 6) mostra direção NW-SE, como ilustram os diagramas de roseta de frequência absoluta. Dentre as quebras de relevo positivas, as de orientação N35W são maioria e somam 94 km de lineamentos, enquanto nas feições negativas são mais frequentes as de direção N65W, que somam 63 km. Os histogramas de frequência absoluta ilustram este quadro.

Embora predominem lineamentos de direção NW, os de maior comprimento mostram orientação NE. Os maiores lineamentos registrados estão a N45E, tanto para quebras positivas (cristas com média de 1.77 km), quanto para quebras negativas (vales com média de 3.60 km).

	Cristas	Vales	Total
Lineamentos	561	466	1027
Comprimento Absoluto (km)	660.97	731.77	1392.74
Comprimento Médio (km)	1.18	1.57	-
Azimute Médio (°)	144 +/- 28	149 +/- 38	-

Tabela 1. Estatística descritiva.

A partir da análise da imagem de relevo sombreado e da distribuição e densidade dos lineamentos traçados, destacam-se duas feições de relevo distintas, com características fotointerpretativas contrastantes, conforme expressas na Figura 7: o primeiro domínio (negativo) exhibe tonalidade clara, textura lisa e baixa densidade de feições lineares, enquanto o segundo domínio (positivo) mostra tonalidade escura, textura rugosa e é fortemente estruturado, com lineamentos ordenados em feixes oblíquos ou paralelos.

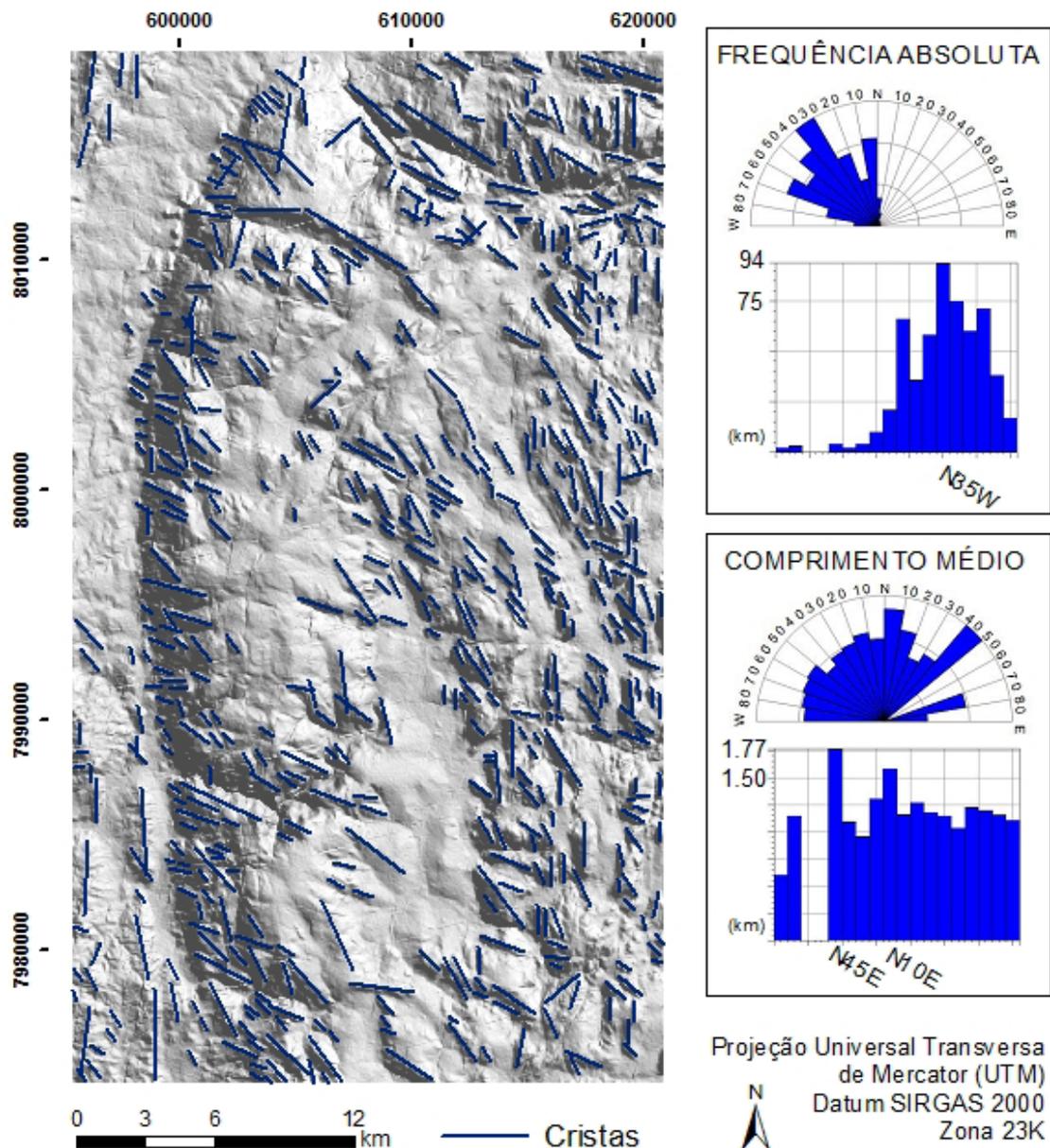


Figura 5. Cristas estruturais, feições positivas do relevo.

No domínio negativo predominam rochas pelíticas das formações Santa Rita, Córrego da Bandeira e Rio Pardo Grande do Grupo Conselheiro Mata, e rochas da Formação Serra de Santa Helena do Grupo Bambuí. O relevo arrasado é resultado das características físicas das litologias aflorantes neste domínio estrutural, enquanto a reologia de suas rochas inibe a expressão rúptil dos lineamentos estruturais, pois observa-se que esses lineamentos geralmente reaparecem após transpostas as faixas de rochas pelíticas (compare as Fig. 5 e 6 com a Fig. 3).

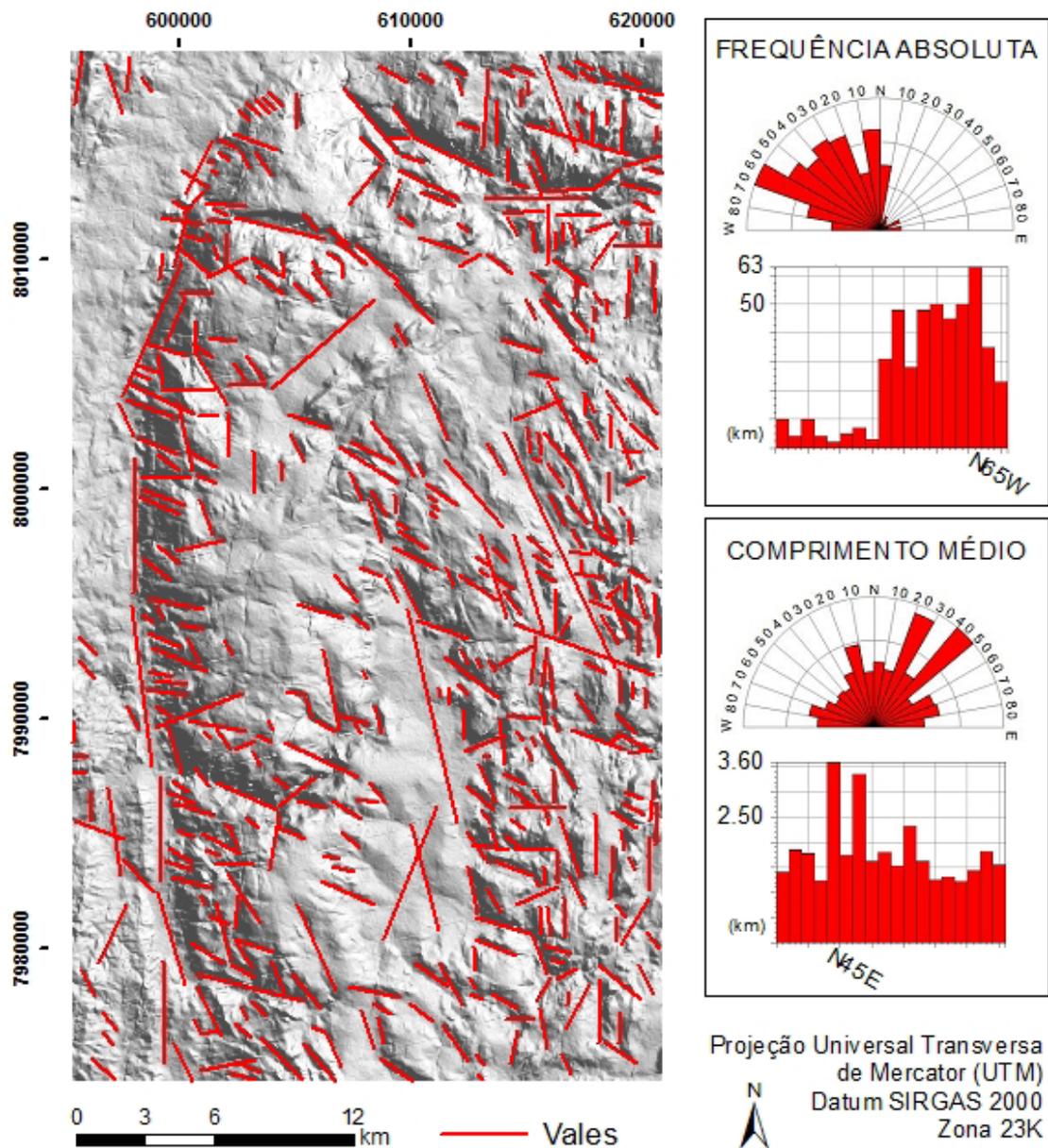


Figura 6. Vales estruturais, feições negativas do relevo.

No domínio de relevo positivo afloram, majoritariamente, rochas das demais unidades estratigráficas expostas na área, predominando rochas de natureza quartzítica. A orientação dos lineamentos deste domínio permite correlacioná-los ao conjunto de zonas de juntas de orientação NW-SE identificado por VENEZIANE et al. (1988) na SdEM.

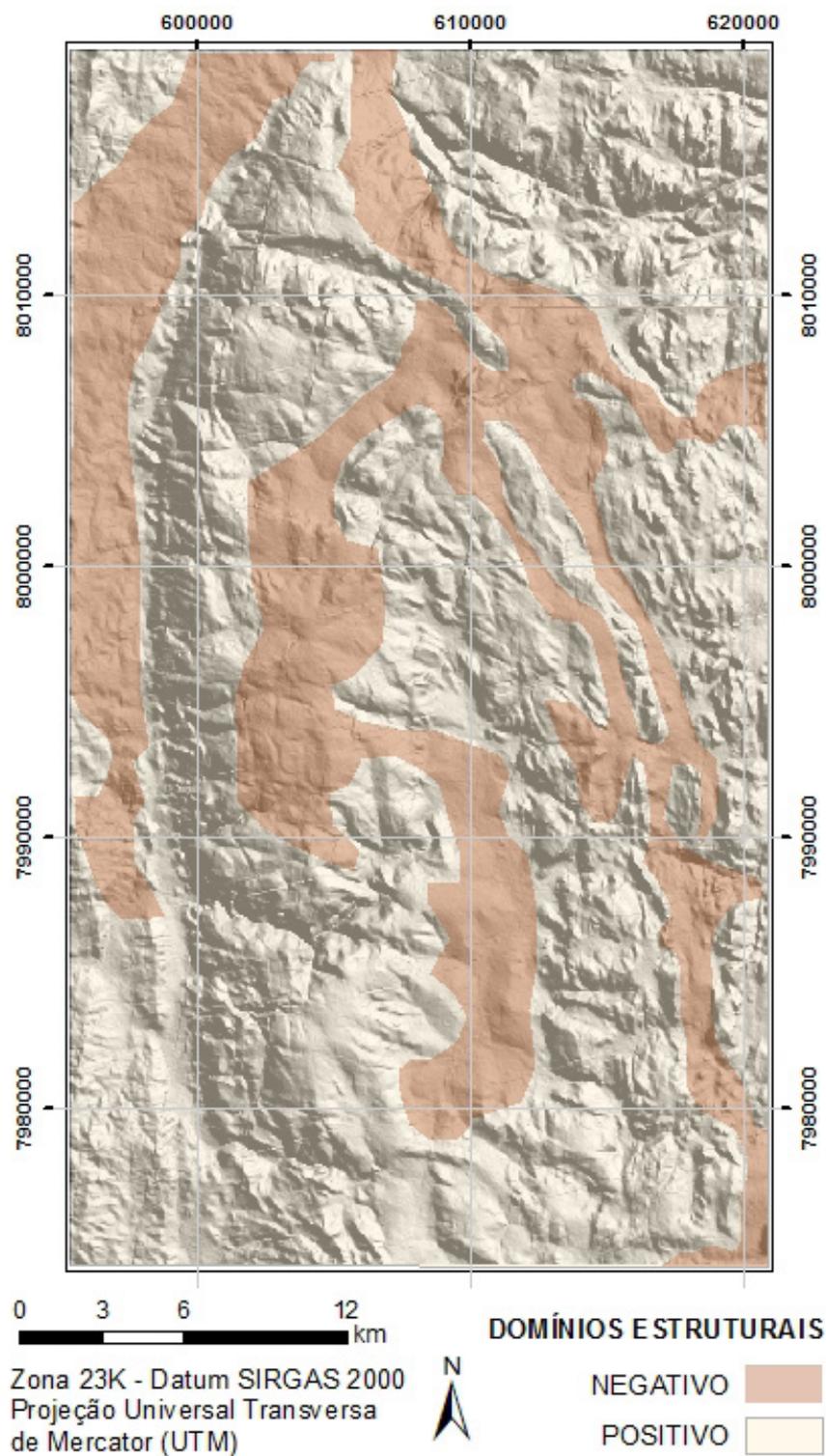


Figura 7. Mapa de domínios estruturais.

## 5 | CONCLUSÕES

Os lineamentos estudados, impressos nas rochas supracrustais, assumem o caráter de linhas de fraqueza primitivas da área cratônica, haja vista sua expressão regional, ou seja, mostram-se mais ou menos contínuos por centenas de quilômetros (especialmente os de direção WNW-ESE, Fig. 2). A atividade tectônica e a reativação frequente dos mesmos é reforçada pelo reconhecimento de sua movimentação na

fase de extensão da bacia Espinhaço (ALMEIDA-ABREU, 1993), pela eventual influência no magmatismo portador dos diamantes da SdEM (MIRANDA et al. 2018), na acomodação de diques do magmatismo pós-tectônico da Suíte Pedro Lessa e ainda pela reativação sofrida no Ciclo Brasileiro, considerando que se apresentam, embora de forma discreta, impressos em rochas do Grupo Bambuí (Figuras 5, 6 e 7). Observa-se na Figura 7 que os lineamentos deslocam domínios negativos expressos em rochas das formações do Grupo Conselheiro Mata, evidenciando sua atividade durante o processo de edificação da SdEM.

A dinâmica e relações cinemáticas entre os lineamentos estruturais de diferentes orientações aflorantes na área abordada, podem ser determinadas através da integração entre o processamento digital realizado e dados estruturais obtidos em campo, considerando também os modelos de Riedel (1929) e SADOWISKI (1983).

Deve ser destacado que os lineamentos de 1ª ordem que seccionam as rochas do embasamento cristalino, i. e., o Cráton do São Francisco, assim como o substrato do bloco ocidental da SdEM, embora reativados seguidas vezes durante a evolução da “bacia Espinhaço” e na edificação do Orógeno Espinhaço não foram efetivamente amarrotados e nem deslocados (Fig. 2). Essa configuração foi observada nas imagens magnetométricas por Almeida-Abreu et al. (2019), revelando estilo tectônico *thin skinned tectonics* para o bloco ocidental da faixa orogênica.

Trabalhos em desenvolvimento reúne dados da cinemática dos lineamentos e das demais estruturas tectônicas impressas nas rochas aflorantes (acamamento, xistosidade, clivagens, lineações e fraturas). A análise integrada dos dados estruturais permitirá a reconstituição da dinâmica dos lineamentos na acomodação da deformação e na estruturação tectônica da SdEM.

## REFERÊNCIAS

Almeida, F. F. M. **O Cráton do São Francisco**. Revista Brasileira de Geociências, 7:349-364. 1977.

Almeida-Abreu, P. A.; Renger, F. E. **Stratigraphy and facies of the southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil**. In Z. dt. Ges. Geowiss. 158/1. p. 9-29. Stuttgart. 2007.

Almeida-Abreu, P.A, **A Evolução Geodinâmica da Serra do Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brasil**, Ph. D. Thesis, Univ. Freiburg, Freiburg, Germany, 150 pp., 1993.

Almeida-Abreu, P.A., Renger, F.E, **Serra do Espinhaço Meridional: um orógeno de colisão do Mesoproterozoico**, Revista Brasileira de Geociências, v. 32, n. 1, pp. 1-14, 2002.

Almeida-Abreu, P.A., Féres, W. M. L., Miranda, R. F. **Tectônica colisional da Serra do Espinhaço Meridional: padrão estrutural distinto dos blocos tectônicos amalgamados**. Anais do XVII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, p. 83, 2019.

Almeida-Abreu, P.A., Queiroz, W.P., Rosière, C.A. e Renger, F.E, **A bacia foredeep do Orógeno Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional em Minas Gerais**, Anais do VIII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, pp. 127-130, 2001.

- Bezerra-Neto, F. E. 2016. **Estudo de rochas exóticas da formação sopa-brumadinho e possíveis implicações para a fonte dos diamantes do Espinhaço Meridional**. xii, 105 f., il. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- D'Agrella-Filho, M. S., Pacca, I. G., Teixeira, W., Onstott, T. C., & Renne, P. R., **Paleomagnetic evidence for the evolution of Meso- to Neoproterozoic rocks in central-eastern Brazil**. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. v. 80, p. 255-265. 1990.
- Dossin, I.A.; Uhlein, A.; Dossin, T.M., **Geologia da faixa móvel Espinhaço em sua porção Meridional – MG**, Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia, v. 7, pp. 3118-3132, 1984.
- Féres, W. M. L. e Fortes, P. T. F. O. **Lineamentos estruturais da porção sul da Serra do Caparaó, ES/MG**, Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 6453-6460, 2017.
- Fogaça, A.C.C. **Geologia da Folha Diamantina, Minas Gerais**, In: Grossi-Sad, J.H.; Lobato, L.M.; Pedrosa-Soares, A.C. e Soares-Filho, B.S., “Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos)”, CODEMIG, pp. 1575-1665, 1997.
- Hagedorn, M. G.; Almeida-Abreu, P. A.; Renger, F. E. **Principais eventos magmáticos a leste do Cráton do São Francisco, norte de Minas Gerais (MG): Caracterização e implicações**. Anais do IX Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos / III International Symposium on Tectonics. Búzios, RJ. p. 91-94. 2003.
- Hanna, M.D.; Costa, M.M.D.; Almeida, T.; Dantas, E.L. e Matos, D. R. **Lineamentos estruturais da área de Vazante-Paracatu, MG**, Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 5371-5377, 2015.
- Herrgesell, G.; Pflug, R. **The thrust Belt of the Southern Serra do Espinhaço, Minas Gerais, Brazil**. *Zbl. Geol. Palaont. Teil I*. p. 1405 – 1414. 1986.
- Lopes, T.C., Leite, M.M., Martins, M.S., Uhlein, A., Karfunkel, J., Fonseca, A., Uhlein, G.J. e Freire, G.R., **Geologia e recursos minerais da folha Serra do Cabral SE.23-X-C-V: estado de Minas Gerais**, CPRM, Escala 1:100.000, 72 pp., 2014.
- Machado, N.; Schrank, A.; Abreu, F.R.; Knauer, L.G. e Almeida-Abreu, P.A., **Resultados preliminares da geocronologia U/Pb na Serra do Espinhaço Meridional**, Anais do V Simp. Geol. Núcleo M.G. e I Simp. Geol. Núcleo Brasília, n. 10, pp. 171-174. 1989.
- Miranda, R.F, Battilani, G.A. e Almeida-Abreu, P.A., **Geologia das metabrechas diamantíferas na Formação Sopa-Brumadinho, Serra do Espinhaço Meridional, MG**, Anais do 7º Simpósio Brasileiro de Geologia do Diamante, 2018.
- Moores, E.M. **Neoproterozoic oceanic crustal thinning, emergence of continents, and origin of the Phanerozoic ecosystem: A model**. *Geology*, 21, 5-8. 1993.
- Noce, C.M., **Geologia da Folha Curimataí, Minas Gerais**, In: Grossi-Sad, J.H.; Lobato, L.M.; Pedrosa-Soares, A.C. e Soares-Filho, B.S., “Projeto Espinhaço em CD-ROM (textos, mapas e anexos)”, CODEMIG, pp. 1199-1250, 1997.
- Oliveira, D.B.; Moreno, R.S.; Miranda, D.J.; Ribeiro, C.S.; Seoane, J.C.S. e Melo, C.L., **Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao norte do rio Doce, ES**, Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, pp. 4157-4163. 2009.
- Riedel, W, **Zur Mechnik Geologischer Brucherscheinungen**, *Centralbl. f. Mineral, Geol. und Pal.*, v. 1929, pp. 354-422, 1929.

Romano, A.W., Friedmann, M., Ferreira, M.P. e Knauer, L.G., **Geologia e recursos minerais da folha Corinto: estado de Minas Gerais**, CPRM, Escala 1:100.000, 2014.

Sadowski, G.R., **Sobre a Geologia de Cinturões de Cisalhamento Continentais**, IG, USP, Tese de livre docência, 1983.

Santos, M.N.; Chemale, F.; Dussin, I.A.; Martins, M.S.; Queiroga, G.; Pinto, R.T.R.; Santos, A.N. e Armstrong, R, ***Provenance and paleogeographic reconstruction of a mesoproterozoic intracratonic sag basin (Upper Espinhaço Basin, Brazil)***, Sedimentary Geology, v. 318, pp. 40-57, 2015.

Veneziani, P.; Mattos, J.T.; Ohara, T e Schorscher, H.D., “**Análise de movimentos tectônicos utilizando produtos de sensores remotos na região do Espinhaço Meridional (MG)**”, Anais do V Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 2, pp. 341 - 353. 1988.

## USO DE PROJEÇÕES RCP 4.5 / RCP 8.5 E ÍNDICE DE VULNERABILIDADE CLIMÁTICA (IVC) PARA MONITORAMENTO DA DESERTIFICAÇÃO EM MUNICÍPIOS DO SERTÃO PERNAMBUCANO, BRASIL

**Rayanna Barroso de Oliveira Alves**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE

**Hernande Pereira da Silva**

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

**José Coelho de Araújo Filho**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

**Marco Antonio de Oliveira Domingues**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – IFPE

**Jones Oliveira de Albuquerque**

Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE

**RESUMO:** As alterações na distribuição de extremos climáticos vem ocasionando o aumento da temperatura e com isso o cenário climático no Brasil se agrava. No que diz respeito os processos de desertificação, as projeções de anomalias climáticas RCP 4.5 e RCP 8.5 foram calculadas, a fim desenvolver o Índice de Vulnerabilidade Climática para os municípios do Sertão de Pernambuco, com o objetivo de verificar as alterações climáticas, o processo de desertificação e suas influências na população da área piloto. Foi verificado, através dos resultados, que os municípios irão sofrer aumento de temperatura e diminuição

da precipitação, e com isso, possuindo vulnerabilidade social alta para o RCP 4.5 e muito alta para o RCP 8.5

**PALAVRAS-CHAVE:** Desertificação, Mudanças do Clima, Anomalias Climáticas, Vulnerabilidade Socioambiental, Vulnerabilidade Populacional

USE OF PROJECTIONS RCP 4.5 / RCP 8.5 AND CLIMATE VULNERABILITY INDEX (IVC) FOR MONITORING DESERTIFICATION IN MUNICIPALITIES OF PERNAMBUCANO'S ARID NORTHEAST PERNAMBUCANO, BRAZIL

**ABSTRACT:** The changes in the distribution of climatic extremes have been causing the increase of temperature and with that the climatic scenario in Brazil is aggravated. With regard to the desertification processes, the climate anomaly projections RCP 4.5 and RCP 8.5 were calculated in order to develop the Climate Vulnerability Index for the municipalities of Sertão de Pernambuco, in order to verify climate change, the process of desertification and its influence on the population of the pilot area. It was verified, through the results, that the municipalities will suffer temperature increase and decrease of precipitation, and with this, having high social vulnerability for CPR 4.5 and very high for CPR 8.5

**KEYWORDS:** Desertification, Climate Changes,

## 1 | INTRODUÇÃO

A intensa exploração desordenada dos recursos naturais vem aumentando a cada século. A região Nordeste do Brasil vem sofrendo com as ações antrópicas irresponsáveis, as quais estão interferindo de forma direta nas mudanças do clima.

As avaliações dos impactos das mudanças do clima colocam o Nordeste em estado de alerta, pois a vulnerabilidade ambiental e social dessa região é alta e há uma grande frequência no número de casos de eventos extremos como a seca e estiagem. Sendo assim, nas zonas semi-áridas o manejo inadequado dos recursos naturais atrelado as ações antrópicas leva ao fenômeno conhecido como desertificação.

Nobre (2011) destaca que as áreas sobre o clima semiárido, as quais têm a predominância do bioma de caatinga, apresenta alta vulnerabilidade climática à desertificação diante dos cenários de mudanças climáticas projetados, constituindo um desafio para o planejamento e a gestão ambiental no Brasil.

Desde a década de 60, o processo de desertificação no Estado de Pernambuco vem sendo estudado e, para tal, o núcleo de desertificação com áreas em alto índice de degradação é o de Cabrobó, o qual é formado pelos municípios de Parnamirim, Salgueiro, Cabrobó, Belém do São Francisco, Itacuruba e Floresta (SILVA, 2009).

As Projeções de mudanças no sistema climático são feitas utilizando uma hierarquia de modelos climáticos que variam modelos simples de clima, a modelos de complexidade intermediária. Esses modelos simulam mudanças com base em um conjunto de cenários de forçantes antrópicas, chamado RCPs (Representative Concentration Pathways) (IPCC, 2013).

Na projeção RCP 4.5 as emissões de metano são estabilizadas e há um leve aumento nas emissões de dióxido de carbono até 2010. Atrelada a isso, com a estabilização da demanda energética mundial, essa projeção é congruente com políticas públicas climáticas precisas, programas de reflorestamento precisos (SILVEIRA et al., 2016).

O cenário RCP 8.5, é mais pessimista: as emissões de CO<sub>2</sub> serão altas e resultantes de um crescimento contínuo e desordenado da população agregada a um desenvolvimento tecnológico lento, não havendo mudanças políticas para redução dessas emissões e forte dependência de combustíveis fósseis (SILVEIRA, et al., 2016).

Sendo assim, os cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5 possuem emissões e concentração de gases de efeito estufa, onde há alterações na temperatura e precipitação, onde a projeção 4.5 indica intensidade média de emissão – cenário de estabilidade - e a projeção 8.5 alta emissão - cenário pessimista (GUIMARÃES et.

al., 2016).

Outro ponto importante a ser levado em consideração é a vulnerabilidade da população no que diz respeito aos processos de desertificação. Além das projeções climáticas anteriores e futuras, também é importante a realização de análises dos aspectos de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa populacional.

Sendo assim, as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto vêm sendo utilizados para acompanhar as secas e delimitar áreas degradadas que são susceptíveis aos processos de desertificação, contribuindo para análises a fim de monitorar de forma contínua as áreas afetadas e desenvolver ações ambientais preventivas.

Com isso, o presente artigo faz parte do trabalho desenvolvido pela autora em sua dissertação de mestrado e vem a calcular o Índice Climático com projeções de cenários climáticos RCP 4.5 e RCP 8.5, o qual permite a avaliação da vulnerabilidade ambiental e da população futura, onde poderá ser indicado e estimado danos potenciais relativos à desertificação e mudanças climáticas nos municípios de Betânia, Floresta e Itacuruba no Estado de Pernambuco, Brasil.

## **2 | MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Localização da Área de Estudo**

A área estudada está localizada no estado de Pernambuco, nas mesorregiões do Sertão Pernambucano e do São Francisco Pernambucano. Os municípios selecionados para este estudo, localizam-se de acordo com a Figura 1.

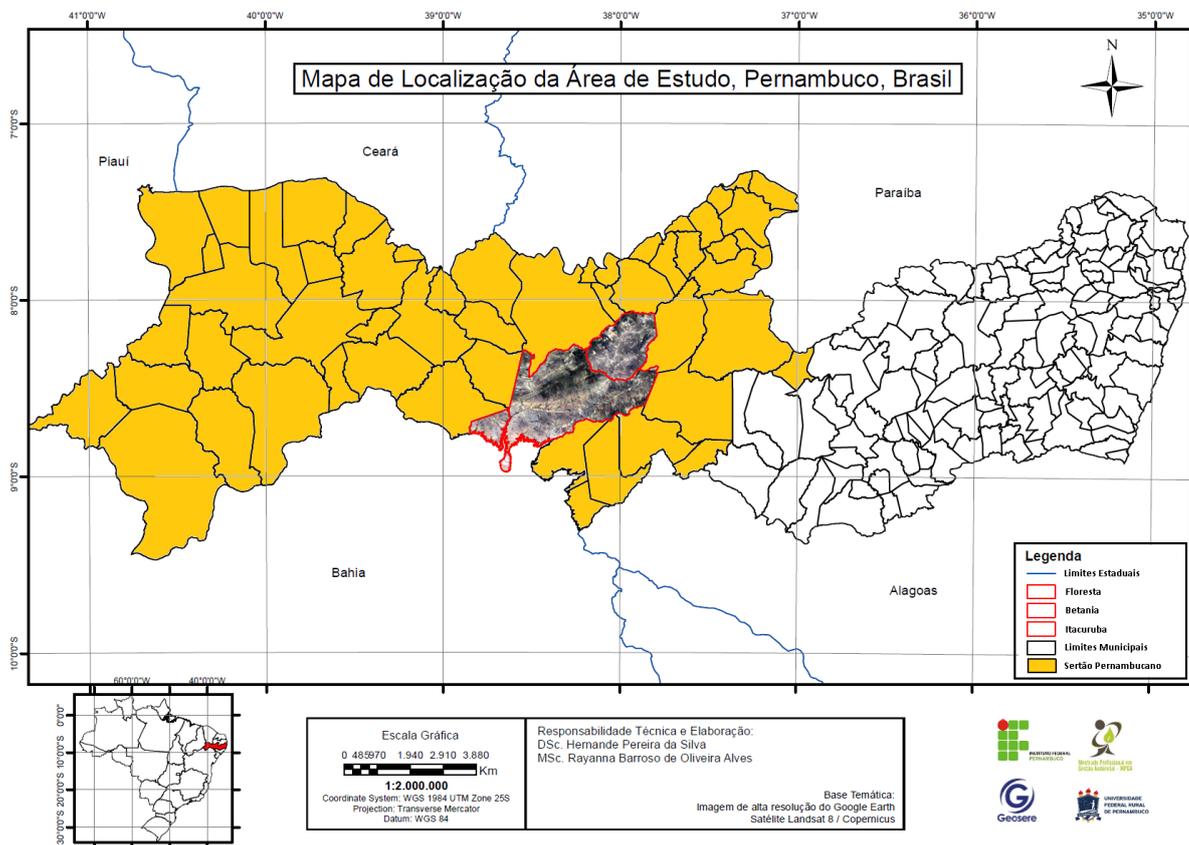


Figura 1: Localização do município de Betânia.

Fonte: Autor.

### 2.1.1 Município de Betânia

O município de Betânia está presente no bioma caatinga, possui uma área total de 1.244,074 km<sup>2</sup> com população de 12.003 habitantes e está localizado na parte setentrional da microrregião Pajeú, porção norte do Estado de Pernambuco: Latitude: 8° 16' 31" Sul, Longitude: 38° 2' 15" Oeste (IBGE, 2010).

A vegetação é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. Está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja. O clima é do tipo Tropical Semi-Árido, com chuvas de verão (CPRM, 2015).

### 2.1.2 Município de Itacuruba

Itacuruba está localizada na mesorregião do Sertão do São Francisco e microrregião do Sertão de Itaparica, está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja. O clima é do tipo Tropical Semi-Árido e bioma Caatinga: Latitude: 8° 49' 6" Sul, Longitude: 38° 41' 57" Oeste. Apresenta uma população de 4.369 habitantes e uma extensão territorial de 430,038 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

A vegetação é xerófila, alternando em meses secos como sendo caducifólia com pequenas intrusões de xerofitismo (ROCHA FILHO, 2016).

### 2.1.3 Município de Floresta

“O município de Floresta está localizado na mesorregião do São Francisco Pernambucano e microrregião do Sertão de Itaparica: Latitude: 8° 35’ 55” Sul, Longitude: 38° 33’ 50” Oeste” (IBGE, 2010).

A vegetação predominante no município de Floresta é a caatinga hiperxerófila (ARAÚJO FILHO, 2001), ocorrendo também trechos de floresta caducifólia nos ambientes de serras (RODAL, 1992).

#### 2.2 Índice Climático

O Índice Climático (IC) foi calculado baseado nas variáveis de temperatura e precipitação das anomalias do clima nos intervalos dos anos: 2011 a 2040, 2041 a 2070 e 2071 a 2100. Os dados são disponibilizados no banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, no CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos.

Os RCP 4.5 e 8.5 foram calculados para cada intervalo de anos, durante as estações do ano – primavera, verão, outono e inverno - de município estudado (Tabela 1).

Intervalo	Primavera	Verão	Outono	Inverno
2011-2040	a1	b1	c1	d1
2041-2070	w1	x1	y1	z1
2071-2100	r1	s1	t1	u1

Tabela 1: Variáveis para cálculo da temperatura para o RCP 4.5.

Fonte: Autor.

Para cada município, foi realizada uma média aritmética dos valores para cada intervalo de tempo (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), como observado nas equações 1, 2 e 3.

$$\text{AnomTempBet2011-2040} = \frac{a1 + b1 + c1 + d1}{4} \quad (1)$$

$$\text{AnomTempBet2041-2070} = \frac{w1 + x1 + y1 + z1}{4} \quad (2)$$

$$\text{AnomTempBet2071-2100} = \frac{r1 + s1 + t1 + u1}{4} \quad (3)$$

A partir de cada resultado, calculou-se mais uma média aritmética, a fim de

obter o resultado geral da Anomalia de Temperatura e Precipitação 4.5 e 8.5 na equação a seguir.

$$\text{AnomTempBetGeral} = \frac{\text{AnomTempBet2011-2040} + \text{AnomTempBet2041-2070} + \text{AnomTempBet2071-2100}}{3}$$

Sendo assim, o procedimento do RCP 4.5 deve ser realizado para todos os municípios e para a anomalia de precipitação. Com isso, calculou-se também os valores das anomalias temperatura e precipitação para o RCP 8.5.

Os valores dos Pesos para as anomalias das variáveis temperatura e precipitação dos RCP 4.5 (Figura 2) e 8.5 (Figura 3) foram calculados a partir das variáveis dos cenários futuros das projeções regionalizadas, disponibilizados pelo CPTEC do INPE, onde, para as duas anomalias, a temperatura possui um intervalo de 0,5 e a precipitação um intervalo de 0,125.

Pesos	Anomalia (C)	Pesos	Anomalia (mm/dia)
0	0 a 0,5	0	0 a -0,125
1	0,6 a 1	1	-0,126 a -0,250
2	1,1 a 1,5	2	-0,251 a -0,375
3	1,6 a 2	3	-0,376 a -0,5
4	> 2	4	> 0,5

Figura 2: Quadro do peso referente às anomalias de temperatura

e precipitação RCP 4.5.

Fonte: Autor.

Pesos	Anomalia (C)	Pesos	Anomalia (mm/dia)
0	0 a 0,75	0	0 a -0,064
1	0,76 a 1,50	1	-0,065 a -0,128
2	1,51 a 2,25	2	-0,129 a -0,256
3	2,26 a 3	3	-0,257 a -0,514
4	> 3	4	> 0,514

Figura 3: Quadro do peso referente às anomalias de temperatura

e precipitação RCP 8.5.

Fonte: Autor.

Com isso, os valores obtidos após a realização dos cálculos anteriores foram interpretados com base no Índice de Vulnerabilidade Social do IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, em seu Atlas de Vulnerabilidade Social dos Municípios

Brasileiros. O Índice de Vulnerabilidade varia numa faixa entre 0 e 1. Quanto mais próximo a 1, maior é a vulnerabilidade social de um município (Figura 4).

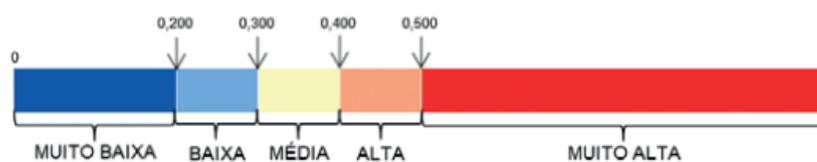


Figura 4: Faixa do Índice de Vulnerabilidade Social.

Fonte: IPEA, 2015.

Com isso, os municípios que apresentam valores entre 0 e 0,200, considera-se que possuem vulnerabilidade muito baixa. Valores entre 0,201 e 0,300 indicam baixa vulnerabilidade. Aqueles que apresentam Índice de Vulnerabilidade entre 0,301 e 0,400 são de média vulnerabilidade, ao passo que, entre 0,401 e 0,500 são considerados de alta vulnerabilidade. Qualquer valor entre 0,501 e 1 indica que o município possui muito alta vulnerabilidade.

Sendo assim, para todos os pesos de intensidade calculados para o IC foi estabelecida a associação com a faixa do Índice de Vulnerabilidade, onde possui valores de 0 a 4, onde o 0 é de menor vulnerabilidade e 4 de maior, como apresentado na Figura 5.

IV	Intensidade	Peso
0 a 0,2	Muito Baixa	0
0,201 a 0,3	Baixa	1
0,301 a 0,4	Média	2
0,401 a 0,5	Alta	3
0,501 a 1	Muito Alta	4

Figura 5: Faixa do Índice de Vulnerabilidade.

Fonte: IPEA 2015, adaptado.

### 3 | RESULTADOS

Após a aplicação da metodologia proposta, foram obtidos os seguintes resultados.

#### 3.1 Anomalia de Temperatura

A Tabela 2 apresenta os municípios estudados e os valores da anomalia de temperatura para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5, e o peso referente a cada.

Município	Anomalia de Temperatura 4.5	Peso RCP 4.5	Anomalia de Temperatura 8.5	Peso RCP 8.5
Betânia	1,583	2	3,46	4
Floresta	1,583	2	3,54	4
Itacuruba	1,583	2	3,46	4

Tabela 2: Anomalia de temperatura RCP 4.5 e 8.5 para os municípios estudados.

Fonte: Autor.

### 3.2 Anomalia de Precipitação

A Tabela 3 apresenta os municípios estudados e os valores da anomalia de precipitação e o peso referente.

Município	Anomalia de Precipitação 4.5	Peso RCP 4.5	Anomalia de Precipitação 8.5	Peso RCP 8.5
Betânia	-0,375	2	-0,875	4
Floresta	-0,5	3	-0,96	4
Itacuruba	-0,375	2	-0,80	4

Tabela 3: Anomalia de precipitação para os municípios estudados.

Fonte: Autor.

## 4 | DISCUSSÃO

No que diz respeito ao cenário RCP 4.5, o padrão de emissão de gases de efeito estufa e consequente alteração na temperatura e precipitação se mantem estável, aumentando a temperatura em 1,6° C para cada município e reduzindo o volume de precipitação em aproximadamente 0,4 milímetros para os municípios de Betânia e Itacuruba e de 0,5 milímetros para o município de Floresta. O município de Floresta é o único que sofre uma alteração na intensidade da vulnerabilidade.

Já para o RCP 8.5, a alteração da temperatura será de 3,46° C para os municípios de Betânia e Itacuruba e de 3,54° C para o de Floresta. A precipitação será reduzida em 0,875 mm para o município de Betânia, 0,80 mm para o de Itacuruba e 0,96 mm para Floresta, o qual possui maior redução.

A partir dos cálculos de anomalia de temperatura e precipitação para cada cenário, foi possível calcular o IC como apresentado na Tabela 4.

Município	IC 4.5	IC 8.5
Betânia	2	4
Floresta	2,5	4
Itacuruba	2	4

Tabela 4: Índice climático para cada município.

Fonte: Autor.

Dessa forma, baseado na escala de vulnerabilidade mencionada na metodologia, a vulnerabilidade do IC 4.5 nos municípios de Betânia e Itacuruba que possuem peso 2 dividindo-o por 4, corresponde ao valor de 0,5 na escala do índice de vulnerabilidade. Para Floresta, o peso 2,5 dividido por 4, corresponde ao valor 0,625 (Figura 6). Ou seja, para o IC 4.5, a vulnerabilidade dos municípios de Betânia e Itacuruba é alta, já Floresta possui vulnerabilidade muito alta.

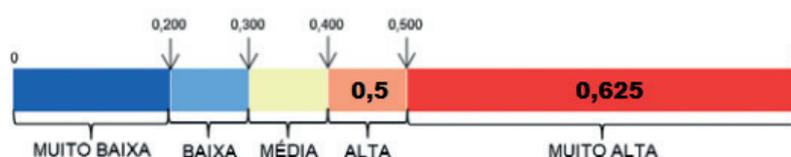


Figura 6: Valor do IC 4.5 na escala de vulnerabilidade.

Fonte: IPEA, 2015, adaptado.

No que diz respeito ao IC 8.5, os três municípios correspondem ao valor de peso 4 e dividindo-o por 4, o valor na escala do IV é de 1, o qual indica que os três municípios possuem vulnerabilidade muito alta (Figura 7).

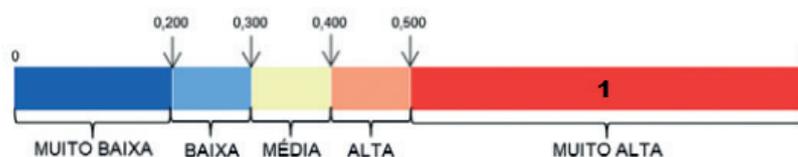


Figura 7: Valor do IC 8.5 na escala de vulnerabilidade.

Fonte: IPEA, 2015, adaptado.

## 5 | CONCLUSÕES

As anomalias de intensidade média (4.5) e alta (8.5) terão uma alta diminuição dos níveis de precipitação e aumento de temperatura, com isso, terão vulnerabilidade muito alta, a qual interfere diretamente no abastecimento e consequentemente nos meios de subsistência da população dos municípios estudados.

Ressaltando ainda que tais fenômenos podem corroborar para o surgimento de

processos de desertificação no Sertão Pernambucano, visto que esses municípios fazem parte ou estão próximos do Núcleo de Desertificação de Cabrobó.

Sendo assim, pode-se observar que para ambos os casos o aumento de temperaturas e redução da precipitação causa consequências negativas e intensifica o processo de desertificação, principalmente no índice climático 8.5. A redução desses fatores afeta na sistematização do ciclo hidrológico, com consequências diretas no crescimento e restauração da cobertura vegetal. Com isso, a agricultura e pecuária ficam comprometidas e a população desses municípios virá a sofrer impactos socioeconômicos.

O reconhecimento por parte dos governos Estadual e Municipais da questão da vulnerabilidade climática à desertificação é importante para desenvolver ações eficazes de políticas públicas para a melhoria da qualidade de vida da população frente as mudanças climáticas.

Sugere-se realizar os estudos dos demais Índices componentes do Índice de Vulnerabilidade Humana dos municípios estudados frente aos processos de desertificação, nos cenários futuros de projeção das mudanças do clima.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO FILHO, J. C. de; et. al. **Investigações preliminares sobre a pedogênese de horizontes coesos em solos dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil.** p.123-139, 2001.

CPRM, **Diagnóstico do Município de Betânia.** Recife, p. 4, 2005.

GUIMARÃES, S.O; COSTA, A.A; JÚNIOR, F.C.V; SILVA, E.M; SALES, D.C; JÚNIOR, L.M.A; SOUZA, S.G. **Projeções de Mudanças Climáticas sobre o Nordeste Brasileiro dos Modelos do CMIP5 e do CORDEX.** Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n.3, 337-365. 2016.

IBGE. Infográficos: **Dados Gerais do Município de Betânia, PE.** Censo 2010.

IBGE. Infográficos: **Dados Gerais do Município de Itacuruba, PE.** Censo 2010.

IBGE. Infográficos: **Dados Gerais do Município de Floreta, PE.** Censo 2010.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEA. **Atlas de Vulnerabilidade Social nos Municípios Brasileiros.** p. 18. Brasília. 2015.

IPCC. Climate Change 2013: **The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** United Kingdom and New York, p.19, 2013.

NOBRE, C.A. **Mudanças Climáticas Globais: Possíveis Impactos nos Ecossistemas do País.** 2001. vol. 6, n. 12, p. 240-258. Disponível em: < [http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias\\_estrategicas/article/viewFile/186/180](http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/186/180)> Acesso em: 08 jan 2018.

ROCHA FILHO, G.B. **Estudo do Potencial Agrícola e Não Agrícola do Município de Itacuruba, Pernambuco, Brasil.** Recife, 2016. p. 41. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão Ambiental). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, 2016.

RODAL, M.J.N., SAMPAIO, E.V.S. & FIGUEIREDO, M.A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico - ecossistema Caatinga**. Sociedade Botânica do Brasil, Brasília. 1992

SILVA, H.P. **Mapeamento das Áreas Sob Risco de Desertificação no Semi-Árido de Pernambuco a Partir de Imagens de Satélites**. Recife, 2009. p. 13. Tese (Doutorado em Ciências do Solo). Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2009.

SILVEIRA, C.S; FILHO, FS; MARTINS, ESPR; OLIVEIRA, J.L; COSTA, A.C; NOBREGA, M.T; SOUZA, S.A; SILVA, R.F.V. **Climate change in the São Francisco river basin: analysis of precipitation and temperature**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 21, n.2, Porto Alegre abr./jun. 2016 p. 416 – 428

## ANÁLISE DA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE SÃO FÉLIX DO XINGU – PA ENTRE 2008 A 2017

### **Clodoaldo Marques da Costa**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá - AP

### **Paulo Rodrigues de Melo Neto**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá - AP

### **Yara Soares Sales de Barros**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá - AP

### **Brenda Cunha Pereira**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Ambiental  
Macapá - AP

### **Cinthia Pereira de Oliveira**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá - AP

### **Bianca Caterine Piedade Pinho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Parauapebas

### **Beatrice Christine Piedade Pinho**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia

### **Débora Aquino Nunes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Parauapebas

**RESUMO:** O presente trabalho teve como objetivo analisar e identificar a vulnerabilidade e integridade das classes de uso e cobertura da terra no município de São Félix do Xingu no período de 2008 a 2017 através de ferramentas geotecnológicas. Para a avaliação da transição de uso e cobertura da terra utilizou-se como cartografia de referência as bases cartográficas fornecidas pelo MMA/IBGE, INCRA e MapBiomas disponíveis em I3Geo e Google Earth Engine. Os dados foram integrados em ambiente SIG a partir da construção de uma base de dados geográficos em formato Geodatabase no software ArcGis Trial. Para interpretação dos dados utilizou-se as subclasses do projeto MapBiomas. A classe agropecuária apresentou maior mudança expandindo sua área, com destaque à pastagem. A Área Não Vegetada sofreu aumento devido atividades ligadas a infraestrutura urbana e a mineração. As classes Floresta e Formação Natural não Florestal sofreram redução, esta última pode ser considerada fragilizada e susceptível. A classe Agropecuária tem maior tendência de ganhar área de outras classes com persistência de 0,25 e não apresenta tendência para perder área para outros tipos de classe, com valor de Perda para Persistência de 0,14 e de Persistência Líquida de 0,11. A classe Floresta apresentou sensibilidade à mudança com valor de Perda para Persistência de 0,04 e Persistência Líquida

de -0,02. A classe de Área não Vegetada apresentou o maior valor de ganho para persistência 2,55. A classe Corpos d'Água apresentou a maior Persistência Líquida negativa -1,76.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, matriz de transição, Amazônia, agropecuária, desflorestamento.

## ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF LAND USE AND COVERAGE OF THE MUNICIPALITY OF SÃO FÉLIX DO XINGU – PA BETWEEN 2008 AND 2017

**ABSTRACT:** This study aimed to analyze and identify the vulnerability and integrity of the land use and cover classes in the municipality of São Félix do Xingu in the period 2008 to 2017 through geotechnological tools. For the evaluation of the transition of land use and coverage, the cartographic bases provided by MMA/IBGE, INCRA and Mapbiomas were used as reference cartography, available at i3geo and Google Earth Engine data were integrated into a gis environment from the building a geographic database in geodatabase format in the Arcgis Trial software. The subclasses of the Mapbiomas project were used to interpret the data. The agricultural class showed greater change expanding its area, highlighting the pasture. The non-vegetated area increased due to activities related to urban infrastructure and mining. The forest and natural non-forestry classes suffered reduction, the latter can be considered fragile and susceptible. The farming class has a greater tendency to gain area of other classes with persistence of 0.25 and has no tendency to lose area for other class types, with loss value for persistence of 0.14 and net persistence of 0.11. The forest class showed a sensitivity to change with loss for persistence of 0.04 and net persistence of -0.02. The non-vegetated area class presented the highest gain value for 2.55 persistence. The water bodies class presented the highest negative net persistence -1.76.

**KEYWORDS:** remote sensing, transition matrix, amazon, agrolivestock, deforestation.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a região Amazônica tem sofrido intensas transformações em sua estrutura por causa do desflorestamento dos sistemas nativos marcado pelo processo de ocupação que se iniciou na década de 60 incentivado por programas de desenvolvimento que ofereciam facilidades de crédito, abundância de terras e incentivos fiscais; de forma conjunta, houve a implantação de estradas e grandes projetos de mineração (ALMEIDA; VIEIRA, 2014); (CARVALHO et al., 2016). Essas transformações tendem a causar alterações nos ciclos biogeoquímicos, balanço de radiação e no sistema climático do planeta, tendo relação direta com as emissões de gases do efeito estufa (XAUD; EPIPHANIO, 2014).

São Félix do Xingu está situado no sul do estado do Pará e apresenta-se inserido no contexto de desmatamento e ocupação da Amazônia. Possui área de 84.213 km<sup>2</sup> e população estimada em 120.580 habitantes, sendo o segundo maior município

paraense e sexto maior município do país em extensão territorial (BONAMICO, 2017); (LEAL, 2016). Contém atividades econômicas ligadas à mineração e produção rural, principalmente a pecuária, que garante ao município o maior rebanho bovino do país, com aproximadamente 2,2 milhões de cabeças (LEAL, 2016).

Para auxiliar na compreensão da dinâmica espaço-temporal da Amazônia, técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento podem ser aplicadas a fim de monitorar o desmatamento e entender os impactos causados pelo uso da terra (SHIMABUKURO et al., 2009).

Diversos projetos voltados para esse tipo de estudo foram criados com o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO, TerraClass, e mais recente, o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil – MapBiomias (FARIA, 2018).

O MapBiomias tem como objetivo o mapeamento da cobertura e uso do solo anualmente do Brasil, por meio de uma rede colaborativa de equipes especializadas em diferentes áreas, como: sensoriamento remoto, biomas, usos da terra, dentre outros. Para delimitação dos biomas utiliza mapa oficial de biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e possui convênio com a empresa Google fazendo uso da plataforma Google Earth Engine (ALMEIDA et al., 2018); (FARIA, 2018).

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho é analisar e identificar a vulnerabilidade e a integridade das classes de uso e cobertura da terra no município de São Félix do Xingu através de dados obtidos do projeto MapBiomias no período de 2008 a 2017.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O município de São Félix do Xingu localiza-se na região sudeste do estado do Pará (Figura 1). Com sede sob as coordenadas 06° 39'30" S e 51° 59'15" W e área total de 84.213 km<sup>2</sup> (SHIMABUKURO et al., 2009). Foi criado em 1961, sendo desmembrado do município de Altamira (LEAL, 2016).

O clima da região é do tipo Aw, pela classificação de Köppen, com ocorrência em maior intensidade de tropical quente e subseco. A vegetação predominante é do tipo floresta ombrófila densa, porém se tem a ocorrência de áreas de cerrado e outras formações vegetais em menor escala. O rio Xingu é o de maior expressão no município (FARIA, 2018; LEAL, 2016).

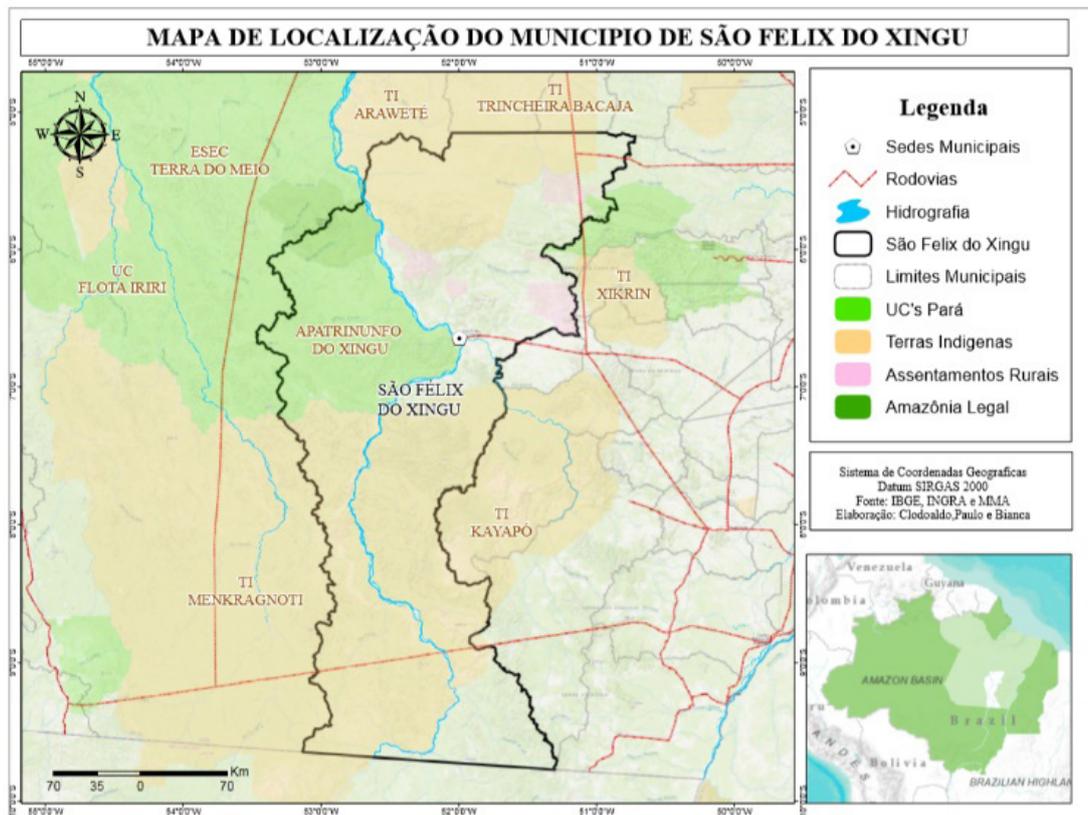


Figura 1. Localização do município de São Félix do Xingu, Pará.

Para a avaliação da transição de uso e cobertura da terra utilizou-se como cartografia de referência as bases cartográficas fornecidas pelo Ministério do Meio Ambiente/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (MMA/IBGE), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária e pelo projeto MapBiomias disponíveis em I3Geo e pelo Google Earth Engine, respectivamente.

Os dados foram integrados em ambiente SIG a partir da construção de uma base de dados geográficos em formato Geodatabase no software ArcGis Trial que possibilitou gerar a quantificação do uso e cobertura da terra no período de 2008 a 2017. Assim, foi avaliada a distribuição espacial da transformação da cobertura florestal em usos antrópicos nas diferentes unidades territoriais que compõe o município de São Félix do Xingu. Para interpretação dos dados utilizou-se as subclasses do projeto MapBiomias que explicita as mudanças temporais das classes maiores.

Os dados de 2008 e 2017 foram interseccionados gerando a matriz de transição para identificação dos valores de ganho, perda e persistência das classes maiores. Adotou-se uma metodologia para a avaliação da vulnerabilidade da integridade, do ganho, persistência e perda (OLIVEIRA et al., 2017). Todos dados gerados e mapeados foram padronizados em Sistema UTM de fuso 22 utilizando o Datum Sirgas 2000.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classe que apresentou maior mudança foi a agropecuária que em 2008 possuía 1.362.312,10 ha e em 2017 passou para 1.485.350,40 ha; o que significa um percentual de 16,33% e 17,81% da área do município, respectivamente. Esses números apontam um aumento de 1,47% ou 123.038,30 ha numa ascendência de mais de doze mil ha em média ao ano. Nesse contexto, a subclasse que mais contribuiu foi a pastagem que em 2008 contava com 1.187.370,62 ha e em 2017 alcançou 1.348.446,64 ha (Tabela 1).

Outra classe que merece atenção pelo crescimento apresentado é a Área não Vegetada. Esse fator foi impulsionado principalmente pelos aumentos em percentuais nas subclasses Infraestrutura Urbana e Mineração na ordem de 70% e 700%, respectivamente.

A classe Floresta em contrapartida, sofreu redução em sua área haja vista que tinha 6.867.856,24 ha no ano de 2008 e no ano de 2017 apresentou 6.766.342,09 ha, um decréscimo de 101.514,15 ha. Os dados demonstram uma perda de mais de 10 mil ha anualmente em média na cobertura nativa de São Félix do Xingu, o equivalente a cerca de 30 campos de futebol por dia, ou a um município como Marituba - PA a cada ano.

Além disso, a classe Formação Natural não Florestal (herbácea-arbustiva) também foi reduzida, perdendo aproximadamente 17% de seus domínios. Vale destacar que na Amazônia essas áreas apresentam alto grau de endemismo e sua destruição pode afetar a existência da alta biodiversidade ali presente.

A classe Floresta foi a que apresentou a maior perda de área na transição de 2008 a 2017 com 297.591,23 ha, todavia, a agropecuária teve o maior ganho com 297.616 ha. No estado do Mato Grosso as áreas que eram desflorestadas utilizavam-se principalmente para fins agropecuários (PESSOA et al., 2013).

Classes	2008 (ha)	2017 (ha)	2008 (%)	2017 (%)	Dif (2008 - 2017) ha	Dif (2008 -2017) %
<b>Agropecuária</b>	<b>1362312,10</b>	<b>1485350,40</b>	<b>16,33</b>	<b>17,81</b>	<b>123038,30</b>	<b>1,47</b>
Agricultura	174941,47	1727,46	2,10	0,02	-173214,02	-2,08
Mosaico de Agricultura e Pastagem	-	135176,30	0,00	1,62	135176,30	1,62
Pastagem	1187370,62	1348446,64	<b>14,23</b>	<b>16,16</b>	161076,02	1,93
<b>Área Não Vegetada</b>	<b>1603,71</b>	<b>2814,94</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>1211,23</b>	<b>0,01</b>
Infraestrutura Urbana	513,57	854,35	0,01	0,01	340,78	0,00
Mineração	46,49	252,46	0,00	0,00	205,96	0,00
Outra Área Não Vegetada	1043,65	1708,13	0,01	0,02	664,48	0,01
<b>Corpos d'Água</b>	<b>10908</b>	<b>5378,51</b>	0,13	0,06	<b>-5529,49</b>	<b>-0,07</b>
Corpos d'Água	10908	90716,49	0,13	1,09	79808,49	0,96
<b>Floresta</b>	<b>6867856,24</b>	<b>6766342,09</b>	<b>82,33</b>	<b>81,11</b>	<b>-101514,15</b>	<b>-1,22</b>
Floresta Natural	6867856,24	6766342,09	82,33	81,11	-101514,15	-1,22
<b>Formação Natural Não Florestal</b>	<b>99345,93</b>	<b>82139,20</b>	<b>1,19</b>	<b>0,98</b>	<b>-17206,73</b>	<b>-0,21</b>
Outra Formação Não Florestal	99345,93	82139,20	1,19	0,98	-17206,73	-0,21
<b>Não Observada</b>	<b>75,81</b>	<b>76,66</b>	0,00	0,00	0,85	0,00
Não Observada	75,81	76,66	0,00	0,00	0,85	0,00
<b>Total Geral</b>	<b>8342101,79</b>	<b>8342101,79</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>		

Tabela 1. Variação nas classes de uso e cobertura do solo em São Félix do Xingu, Pará, entre os anos de 2008 e 2017.

O decréscimo na Classe Floresta é fruto da forte pressão que a classe Agropecuária exerce sobre as áreas florestais uma vez que foi responsável pela aquisição de 96,7% de toda a área desflorestada no período avaliado (Tabela 2), sendo que a grande maioria foi destinada à formação de novas pastagens. A Área de Endemismo do Tapajós apresentou dados semelhantes entre os anos de 2004 e 2012 (OLIVEIRA et al., 2017).

Essa realidade pode ser facilmente compreendida haja vista que em São Félix do Xingu, a pecuária é a principal atividade econômica, com área de 1.348.446,64 hectares, 16,01% da área total do município. Ademais, é o maior produtor de gado bovino do Estado do Pará, com mais de 2,2 milhões de cabeças, 10,7% do rebanho paraense (IBGE, 2018).

Além da classe Floresta, a Formação Natural não Florestal, também vem perdendo espaço à agropecuária tendo 28,67% de sua área destinadas principalmente, para a formação de pastagens. A análise de persistência mostra que ao apresentar baixo valor de Persistência Líquida (-0,23), a classe Formação Natural não Florestal pode ser considerada fragilizada e susceptível a perder áreas para outras classes.

A classe Agropecuária tem maior tendência de ganhar área de outras classes já que apresentou valor positivo de ganho para persistência (0,25) e não apresenta tendência a perder área para outros tipos de classe por ter apresentado valores positivos de Perda para Persistência e Persistência Líquida 0,14 e 0,11 respectivamente (Tabela 2). Esses valores demonstram que essa classe tende a aumentar sua área ocupada.

A classe Floresta, no entanto, apresentou sensibilidade à mudança ao se analisar o valor de Perda para Persistência (0,04) e Persistência Líquida (-0,02).

Cenário correlato ao encontrado na Área de Endemismo Tapajós que também apresentou resultados negativos para Persistência Líquida (-0,05) à classe Floresta (OLIVEIRA et al., 2017).

Nessa perspectiva, evidencia-se a necessidade de propostas alternativas para o uso sustentável da terra como premissa para conter o avanço de atividades agropecuárias sobre as florestas nativas na Amazônia. Além do desenvolvimento de políticas de proteção à vegetação natural, principalmente em decorrência do processo de substituição da vegetação nativa por atividades agropecuárias. Essa prática vem provocando graves danos ambientais no Brasil inteiro, especialmente em relação formação de pastagem, onde as práticas adotadas tradicionalmente para o manejo podem influenciar a fauna e flora local (PESSOA et al., 2013).

A classe de Área não Vegetada apresentou o maior valor de ganho para persistência (2,55) e persistência líquida (1,53) (Tabela 2) evidenciando sua permanência no município. O alto valor de ganho para essa classe se configura em maior possibilidade de ganhar áreas das outras classes o que demonstra sua potência e estabilidade na região.

Esta classe abrange a subclasse Infraestrutura Urbana que tem contribuído significativamente com esse ganho. O crescimento populacional entre 2008 e 2014 foi bastante expressivo, o número de habitantes passou de 64.223 para 111.633 (FAPESPA, 2015) e em 2018 possui uma população estimada em 124.763 habitantes (IBGE, 2019). Vale destacar que em 2010 o município apresentava 91.340 habitantes. Deste quantitativo 35,58% era fruto do processo migratório, tendo em vista que 10.783 moradores eram de outros municípios do Pará e 21.719, oriundos de outros estados da federação (FAPESPA, 2015).

Outra subclasse que apresentou destaque foi a mineração com crescimento de aproximadamente 700% tendo em vista que tal atividade ainda persiste na região com a extração de cassiterita através de pequenas produções artesanais ao longo da estrada que leva ao rio Iriri (COSTA, 2013). Nesse panorama, em 2013 São Félix do Xingu despontou na segunda posição dentre os municípios do estado com maior permissão para exploração garimpeira (5% do total), sendo 29 ao todo: 24 para cassiterita e 5 para cobre, ficando atrás apenas de Itaituba (SEICOM-PA, 2018).

Os Corpos d'Água também vem sofrendo reduções gigantescas com um decréscimo de 51,69% em apenas uma década, com um total de 7.770 ha perdidos. Muito provavelmente essa redução está relacionada com a grande área de pastagem, uma vez que normalmente se tem a retirada das matas ciliares que desempenham papel preponderante na garantia da qualidade da água, na regulação do regime hídrico, na redução do assoreamento e na estabilidade das margens dos rios (CASTRO et al., 2012). A Persistência Líquida negativa evidenciada é preocupante haja vista que indica uma forte tendência dessa classe perder área às demais.

Matriz de Transição								
2017								
Classes	Agropecuária	Floresta	Área Não Vegetada	Formação Natural Não Florestal	Corpos d'Água	Não Observada	Total Geral 2008	Perda
	Agropecuária	<b>1.187.734,40</b>	171.314,30	1.125,90	1.802,32	335,18	-	<b>1.362.312,10</b>
Floresta	287.799,81	<b>6.570.265,01</b>	520,44	7.405,04	1.863,84	2,09	<b>6.867.856,24</b>	<b>297.591,23</b>
Área Não Vegetada	612,74	187,18	<b>791,06</b>	8,06	4,67	-	<b>1.603,71</b>	<b>812,65</b>
Formação Natural Não Florestal	7.665,32	18.946,94	90,53	<b>72.606,78</b>	36,27	0,09	<b>99.345,93</b>	<b>26.739,15</b>
Corpos d'Água	1.538	5.627,00	287,00	317,00	<b>3.138,00</b>	1	<b>10.908,00</b>	<b>7.770,00</b>
Não Observada	0,13	1,66	-	-	0,54	<b>73,48</b>	<b>75,81</b>	<b>2,33</b>
<b>Total Geral 2017</b>	<b>1.485.350,40</b>	<b>6.766.342,09</b>	<b>2.814,94</b>	<b>82.139,20</b>	<b>5.378,51</b>	<b>76,66</b>	<b>8.342.101,79</b>	
<b>Ganho</b>	<b>297.616,00</b>	<b>196.077,08</b>	<b>2.023,88</b>	<b>9.532,42</b>	<b>2.240,51</b>	<b>3,18</b>		
Análise da Persistência								
<b>Mudança líquida</b>	<b>123.038,30</b>	<b>-101.514,15</b>	<b>1.211,23</b>	<b>-17.206,73</b>	<b>-5.529,49</b>	<b>0,85</b>		
Ganho para Persistência	0,25	0,02	2,55	0,13	0,71	0,04		
Perda para Persistência	0,14	0,04	1,02	0,36	2,47	1,03		
Persistência Líquida	0,11	-0,02	1,53	-0,23	-1,76	-0,99		

Tabela 2. Matriz de transição e Análise da persistência em relação as classes de cobertura e uso do solo no município de São Félix do Xingu-PA, entre 2008 e 2017 (em hectares).

## 4 | CONCLUSÕES

A classe Agropecuária se configura como a principal causa do desmatamento no município de São Félix do Xingu e exerce forte pressão sobre a classe Floresta que é a mais sensível a perda e mudança de área. A Área não Vegetada se apresenta como uma classe estabelecida e em ascendência. Os Corpos d'Água sofreram reduções drásticas e carecem estudos aprofundados para entender sua dinâmica.

A utilização de imagens de satélites é imprescindível para monitorar o dinamismo de uso e cobertura do solo, especialmente na Amazônia que apresenta locais de difícil acesso e/ou onde ocorrem mudanças abruptas na paisagem. Desta forma, pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas capazes de conciliar o desenvolvimento econômico com a manutenção da biodiversidade local.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S.; VIEIRA, I. C. G. **Conflitos no uso da terra em Áreas de Preservação Permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará.** Ambiente & Água, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 476-487, 2014.
- ALMEIDA, D. N. O.; OLIVEIRA, L. M. M.; CANDEIAS, A. L. B.; BEZERRA, U. A.; LEITE, A. C. S. **Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco.** Revista Brasileira de Meio Ambiente, Nova Corrente, v. 4, n. 1, p. 58-68, 2018.
- BONAMICO, M. A. **Relação entre estoque de carbono acima do solo e produção de cacau em sistemas agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu - PA, Brasil.** 2017. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

- CARVALHO, T. S.; MAGALHÃES, A. S.; DOMINGUES, E. P. **Desmatamento e a contribuição econômica da floresta na Amazônia**. Estudos Econômicos, São Paulo, v. 46, n. 2, p. 499-531, 2016.
- CASTRO, D.; PEREIRA-MELO, R. S.; POESTER, G. C. **Práticas para restauração da mata ciliar**. Catarse – Coletivo de Comunicação. Porto Alegre: 2012. Disponível em: [http://www.onganama.org.br/pesquisas/Livros/Livro\\_Praticas\\_Restauracao\\_Mata\\_Ciliar.pdf](http://www.onganama.org.br/pesquisas/Livros/Livro_Praticas_Restauracao_Mata_Ciliar.pdf). Acesso em: 20 jun. 2018.
- COSTA, A. L. S. **Efetividade de gestão da área de proteção ambiental Triunfo do Xingu: desafios de consolidação de uma unidade de conservação na região da Terra do Meio, estado do Pará**. 2013. 201f. Tese (Doutorado em Ciências do Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.
- FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Boletim Agropecuário do estado do Pará 2015**. Belém, n. 1, julho, 2015. 38p.
- FARIA, A. S. **Detecção automática de desmatamentos no bioma cerrado: desafios para o monitoramento sistemático**. 2018. 97f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: São Félix do Xingu. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/sao-felix-do-xingu/panorama>. Acesso em: 16 jun. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela 6624 – Número de estabelecimentos agropecuários com pecuária e efetivos, por espécies de efetivo de pecuária – resultados preliminares 2017. 2018. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6624#resultado>. Acesso em: 14 ago. 2018.
- LEAL, F. A. **Simulação e avaliação dos efeitos de padrões de desmatamento na dinâmica da paisagem de São Félix do Xingu/PA**. 2016. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- OLIVEIRA, A. H. M.; ADAMI, M.; GOMES, A. R.; AMARAL, S.; MARTORANO, L. G.; NARVARES, I. S.; BARROS, M. N. R.; MACIEL, M. N. M. **Vulnerabilidade e integridade de padrões de uso e cobertura da terra na Área de Endemismo Tapajós entre 2004 a 2012**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 28., 2017, Santos. **Anais [...]**. Santos, 2017.
- PESSOA, S. P. M.; GALVANIN, E. A. S.; KREITLOW, J. P.; NEVES, S. M. A. S.; NUNES, J. R. S.; ZAGO, B. W. **Análise espaço-temporal da cobertura vegetal e uso da terra na interbacia do Rio Paraguai Médio-MT, Brasil**. Revista Árvore, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 119-128, 2013.
- SEICOM-PA. Secretaria de Estado de Indústria, Comércio e Mineração. **Plano de mineração do estado do Pará 2014-2030**. Belém. 194f. Disponível em: <http://sedeme.com.br/portal/download/pem-2030.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2018.
- SHIMABUKURO, Y. E.; MAEDA, E. E.; FORMAGGIO, A. R. **Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas aplicados ao estudo dos recursos agrônômicos e florestais**. Ceres, Viçosa, v. 56, n. 4, p. 399-409, 2009.
- XAUD, M. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Dinâmica do uso e cobertura da terra no sudeste de Roraima utilizando técnicas de detecção de mudanças**. Acta Amazonica, Manaus, v. 44, n. 1, p. 107-120, 2014.

## DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA INCIDÊNCIA DE FOCOS DE QUEIMADA NO MUNICÍPIO DE SÃO FÉLIX DO XINGU – PA ENTRE OS ANOS DE 2008 A 2017

### **Paulo Rodrigues de Melo Neto**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá – AP

### **Clodoaldo Marques da Costa**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá – AP

### **Yara Soares Sales de Barros**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá – AP

### **Brenda Cunha Pereira**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Ambiental  
Macapá – AP

### **Cinthia Pereira de Oliveira**

Universidade do Estado do Amapá, Colegiado de Engenharia Florestal  
Macapá – AP

### **Bianca Caterine Piedade Pinho**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Parauapebas

### **Beatrice Christine Piedade Pinho**

Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia

### **Débora Aquino Nunes**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), Campus Parauapebas

**RESUMO:** A compreensão espacial e temporal do uso do fogo é necessária para o seu entendimento, especialmente em locais de grande incidência, como o município de São Félix do Xingu, onde o fogo é utilizado para transformação da cobertura presente em usos alternativos. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar a ocorrência espacial e temporal de focos de queimada em São Félix do Xingu, PA com uso de técnicas de geoprocessamento. Foram utilizadas bases cartográficas do Ministério do Meio Ambiente/IBGE, INCRA E PROARCO/INPE, no formato I3Geo, com uso do software ArcGis Trial para integração dos dados e geração dos produtos. Para a densidade de focos se utilizou o método de Kernel. O ano de 2017 foi o que apresentou a maioria dos focos no período, em todos os tipos de uso e cobertura analisados. Os principais locais de ocorrência de fogo foram a APA Triunfo do Xingu, assentamentos localizados próximos a sede do município e a região sudeste. Esta última, provavelmente por fazer parte da fronteira com o estado do Mato Grosso, e pela pressão exercida pela agropecuária. As terras indígenas foram o tipo de unidades de conservação que menos apresentaram ocorrências, mostrando sua efetividade no combate a estes fenômenos. As técnicas de geoprocessamento utilizadas se mostraram capazes de caracterizar a dinâmica espaço-temporal das incidências de focos,

podendo ser utilizada para outras finalidades como combate e prevenção contra queimadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** densidade Kernel, incêndio, Amazônia, geoprocessamento, satélite.

## SPATIAL-TEMPORAL DYNAMICS OF THE INCIDENCE OF BURNS FOCI IN THE MUNICIPALITY OF SÃO FÉLIX DO XINGU – PA BETWEEN THE YEARS 2008 TO 2017

**ABSTRACT:** The spatial and temporal understanding of fire is necessary for the understanding of this event, especially in places of great importance of this element, such as the municipality of São Félix do Xingu, where fire is used to transform the coverage present in uses Alternative. In this context, the present study aims to analyze the spatial and temporal occurrence of burn foci in São Félix do Xingu, PA with the use of geoprocessing techniques. We used cartographic bases of the Ministry of Environment/IBGE, INCRA and PROARCO/INPE, in format I3Geo, using the ArcGis Trial software for data integration and product generation. For the density of foci, the Kernel method was used. The year 2017 was the most of the foci in the period, in all types of use and coverage analyzed. The main sites of Fire were the APA Triunfo do Xingu, settlements located near the headquarters of the municipality and the southeast region, the latter is probably formed by its proximity to the border with the state of Mato Grosso, and the pressure that the Farming exercises. The indigenous lands were the type of conservation units that presented fewer occurrences, showing their effectiveness in combating these phenomena. The geoprocessing techniques used were able to adequately characterize space and temporally the incidences of outbreaks, and can be used for other purposes such as combat and prevention against fires.

**KEYWORDS:** Kernel density, fire, Amazon, geoprocessing, satellite.

### 1 | INTRODUÇÃO

O município de São Félix do Xingu está presente em uma região que tem experimentado um período de expansão desordenada de atividades agropecuárias (LEAL, 2016), que avançam especialmente sobre as áreas florestais, ocorrendo a retirada da vegetação nativa para implantação de monoculturas de espécies exóticas para produção de grãos ou para servirem de alimento para gado bovino.

A principal técnica utilizada para o desflorestamento é o uso do fogo, em virtude de ser economicamente viável para os pequenos produtores e atribuir uma alta fertilidade aos solos, porém isto ocorre somente nos anos iniciais, devido ao decréscimo na quantidade de nutrientes com os anos de uso (CABRAL et al., 2013), assim se tem a necessidade de abertura de novas áreas, aumentando o emprego do fogo e reduzindo as áreas de vegetação natural.

O uso do fogo como ferramenta leva a diversos impactos ambientais como

a poluição do ar, o aumento da emissão de gases provocadores do efeito estufa, impactos sobre a fauna e flora ocasionando perda da biodiversidade, levando-se em consideração que o município está inserido em uma zona de endemismo, este panorama torna-se alarmante. Neste contexto, a disponibilidade de dados atualizados sobre a quantificação e extensão dos focos é fundamental para planejamento de ações mitigatórias (SOUZA et al., 2016).

O emprego de geotecnologias se apresenta como uma alternativa promissora, pois com a utilização de imagens de satélites é possível identificar, avaliar e monitorar o crescimento de áreas com ocorrência de queimadas (SILVA et al., 2013). Neste prisma, o geoprocessamento transfigura-se em uma ferramenta útil, pois promove facilitação no controle dos impactos provocados e redução nos custos em virtude das grandes extensões de terras monitoradas (SOUZA et al., 2016).

Para auxílio no monitoramento de diferentes regiões, onde imagens de satélites são utilizadas para acompanhar ou detectar a evolução ou mudanças que ocorrem na superfície terrestre, dados sobre focos de calor são disponibilizados por órgãos como o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) se estabelecendo como importante fonte de informações no estudo do fogo (SANTOS et al., 2016; SOARES NETO et al., 2016; LAZZARINI et al., 2016). Os dados são gerados a partir das coletas de sensores que operam na faixa termal, entre  $3,7 \mu\text{m}$  e  $4,1 \mu\text{m}$  e, geralmente, queimadas com uma dimensão mínima de  $30 \times 1\text{m}$  são captadas e classificadas como foco de calor (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017).

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a distribuição espacial e temporal por meio de técnicas de geoprocessamento os focos de queimadas em São Félix do Xingu, Pará, e a relação de suas possíveis fontes com as variáveis antrópicas no período de 2008 a 2017.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O município de São Félix do Xingu está localizado na região sudeste do estado do Pará e foi criado em 1961, com área desmembrada do município de Altamira (FAPESPA, 2015). Sua sede está sob as coordenadas  $06^{\circ} 39'30''$  S e  $51^{\circ} 59'15''$  W (Figura 1). Sua população estimada em 2018 contava com 124.763 habitantes (IBGE, 2019) e área total de  $84.213 \text{ km}^2$ , sendo o segundo maior município paraense e o sexto maior do Brasil (BONAMICO, 2017).

A vegetação predominante é do tipo floresta ombrófila densa, visto que o município pertence ao bioma amazônico, com a presença de áreas de cerrado e outras formações vegetais em menor escala. O clima da região é do tipo Aw, característico de regiões de transição com ocorrência em maior intensidade de tropical quente e subseco, pela classificação de Köppen (FAPESPA, 2015). Em relação a hidrografia

o rio de maior expressão é rio Xingu (CLAUDINO, 2011).

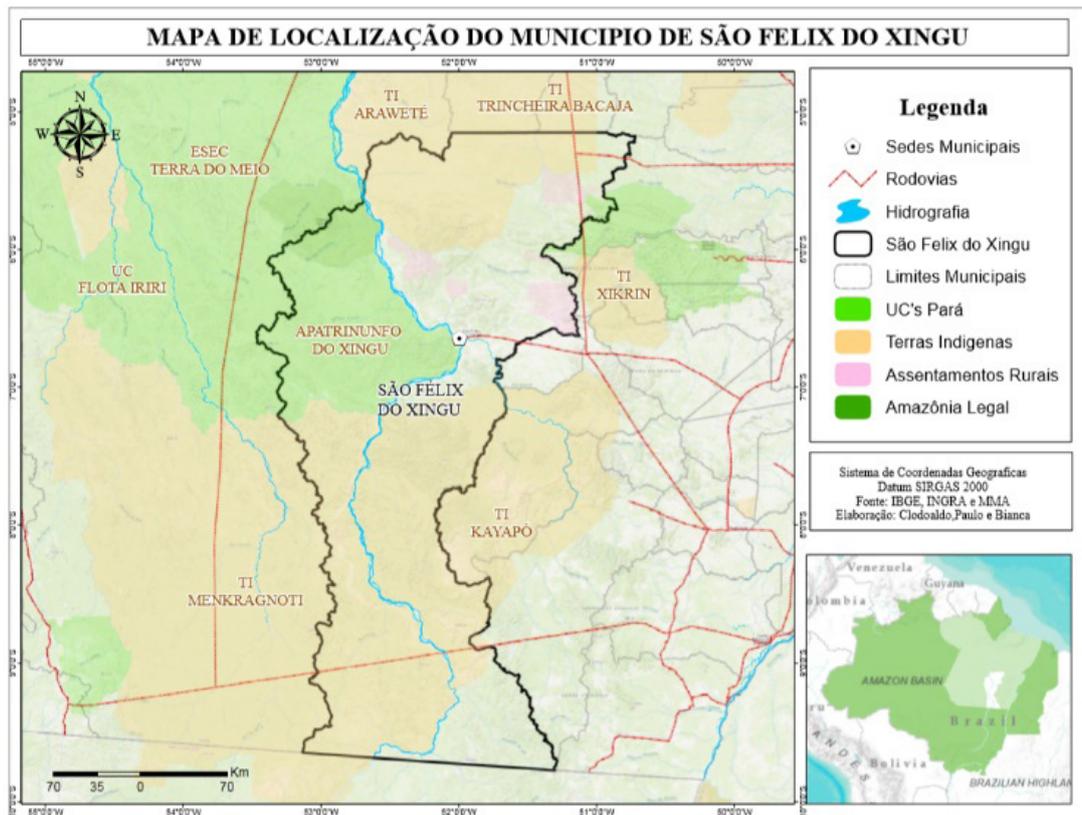


Figura 1. Mapa de localização do município de São Félix do Xingu, Pará.

Para a quantificação da distribuição temporal e espacial dos focos de calor utilizou-se como cartografia de referência as bases cartográficas fornecidas pelo Ministério do Meio Ambiente / Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (MMA/IBGE), Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e pelo PROARCO (INPE) disponíveis em I3Geo. Os dados foram integrados em ambiente SIG a partir da construção de uma base de dados geográficos em formato Geodatabase no software ArcGis Trial e que possibilitou gerar um diagnóstico de focos de queimadas na vegetação no período de 2008 a 2017.

Para cálculo de densidade aplicou-se a estatística espacial utilizando o método de Kernel, o que possibilitou avaliar a distribuição espacial da densidade dos focos de queimadas nas diferentes unidades territoriais que compõe o município de São Félix do Xingu.

Vale destacar que no tempo analisado os dados extraídos do monitoramento de focos do INPE correspondem aos satélites NOAA-15, 17, e 18, TERRA, AQUA, GOES-10 e o METEOSAT-02. No período da revisita do satélite NOAA o sensor AVHRR apresentava como tamanho dos pixels variando de ~1,1 km x 1,1 km no nadir, até ~1,1 km x 4 km nas bordas, e para o sensor MODIS dos satélites TERRA e AQUA, de ~1 km x 1 km até ~1 km x 3 km. Para os satélites geoestacionários, os pixels foram de ~4 km x ~5 km para o GOES, e ~5 km x ~7 km no Meteosat-2

(MORAES; BEZERRA, 2017).

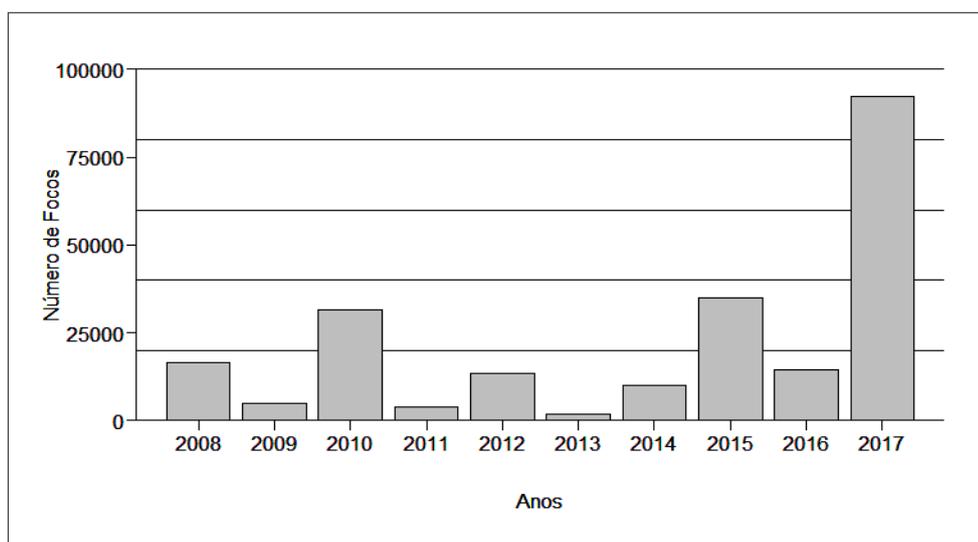
Tais informações são essenciais para avaliar o padrão de área proporcionando uma melhor interpretação dos resultados na detecção dos focos de queimada na vegetação, maior acurácia de mapeamento trazendo resultados mais eficazes. Todos dados gerados e mapeados foram padronizados em Sistemas de Coordenadas Geográficas utilizando o Datum Sirgas 2000 e os gráficos produzidos utilizando o software R (R CORE TEAM, 2016).

Se fez a avaliação do índice pluviométrico anual do período em estudo, com finalidade de verificação da influência desta variável no total de focos por ano. Os dados foram obtidos no Banco de Dados Meteorológicos Para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (INMET, 2019).

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O município de São Félix do Xingu apresentou um número elevado de focos de queimada no período observado totalizando 224.021 ocorrências. Nesse contexto, houve um aumento abrupto na quantidade de focos se compararmos os anos de 2008 e 2017, uma vez que no primeiro se contabilizou 16.714 e no segundo 92.198, indicando um aumento de mais de 450% em uma década (Figura 2).

Esses dados acompanham a realidade da região amazônica que vem sofrendo ao longo do tempo com o avanço do número de focos de queimada, tendo em vista que na mesorregião do Marajó foi identificado um aumento de aproximadamente 380% na década de 2006 a 2016 (MORAES; BEZERRA, 2017).



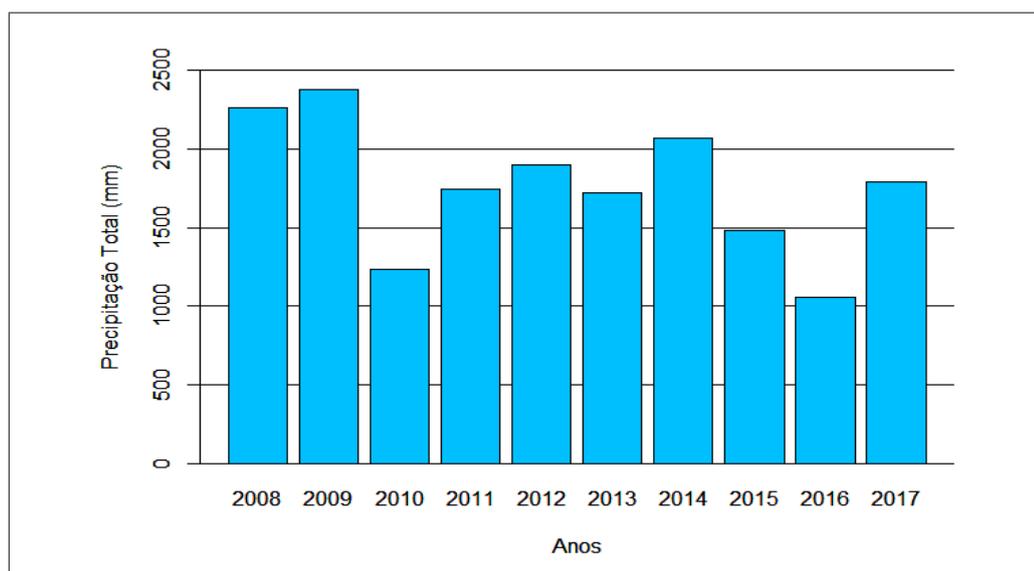
**Figura 2.** Número de focos de queimadas no município de São Félix do Xingu, PA, de 2008 a 2017.

O ano de 2017 merece destaque devido à grande quantidade de focos

detectada, 41,15% do total, ficando muito acima da média encontrada nos anos anteriores. Enquanto que o ano de 2013 apresentou 2.024 focos de calor ficando na última posição com apenas 0,9% (Figura 2).

Na figura 3 se verifica que houve variação nos padrões geralmente encontrados entre ocorrência de focos e precipitação. Os anos de 2010 e 2015 apresentaram baixa precipitação e alto número de focos, enquanto os anos de 2016 e 2013 também obtiveram baixos índices pluviométricos, porém com reduzido número de focos. Em 2017 se teve o maior número de queimadas, mesmo com pluviosidade acima da média para o período.

Neves et al. (2018) também encontrou resultados semelhantes ao estudar uma área de parque estadual na transição entre os biomas Amazônia e Cerrado, no período de 2000 a 2013. Isto indica que os índices de precipitação não são fatores que conseguem explicar sozinhos a ocorrência de queimadas.



**Figura 3.** Precipitação no período de 2008 a 2017 para São Félix do Xingu, PA. Fonte: INMET, 2019.

Percebe-se na figura 4 que a espacialização dos focos de calor em São Félix do Xingu de 2008 a 2017 se concentram na APA Triunfo do Xingu, nos assentamentos ao norte e na região sudeste, esta última é marcada por grande ocorrência de focos devido provavelmente à pressão agropecuária exercida na fronteira com o estado Mato Grosso.

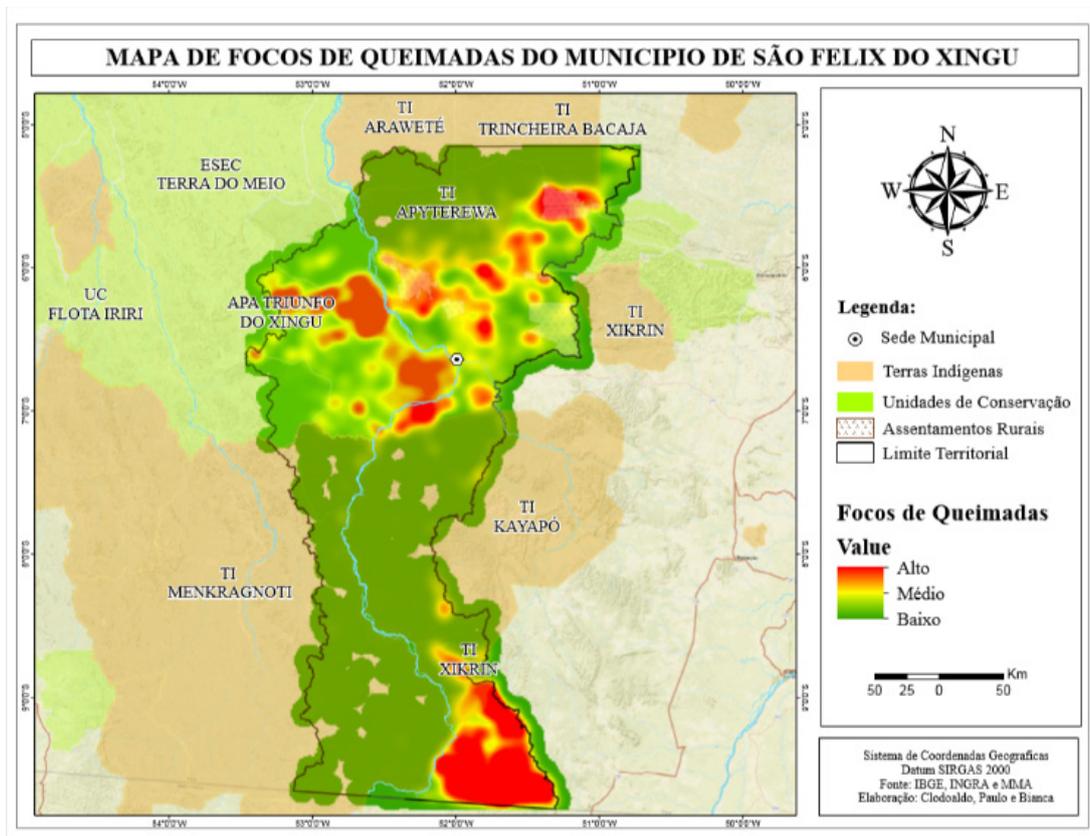


Figura 4. Focos de queimadas no município de São Félix do Xingu, Pará, entre os anos de 2008 a 2017.

Nas UC's foram contabilizados 66.354 focos de calor (Tabela 1) o que corresponde a 29,62% das ocorrências encontradas em todo o município no período observado. Assim, no ano de 2017 evidenciaram-se 29.476 focos o que representa 44,42% do total observado nas UC's. A Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu foi responsável por 63.623 focos, isto é, 95,89% do total de focos nas UC's e 28,40% do total de focos de queimadas contabilizado no município. Fato demonstrado na figura 03 onde se percebe uma concentração maior de queimadas na região noroeste que coincide com a área da APA Triunfo do Xingu.

O alto índice de focos contabilizado está relacionado com o preparo do solo para a expansão das atividades agropecuárias que ocorrem predominantemente com o uso do fogo (COSTA, 2013). Vale ressaltar que a distribuição de focos de calor dentro da APA Triunfo do Xingu está relacionada com a concentração populacional (GEMAQUE, 2012), especialmente ao longo da estrada Canopus, onde se tem uma grande concentração de propriedades rurais de pequeno e médio porte (COSTA, 2013).

Outro ponto que contribuiu com o grande número de focos na APA Triunfo do Xingu, é a sua categoria de uso (Área de Proteção Ambiental) que é pouco restritiva, aliado a isto se tem a alta degradação da área fruto da exploração por parte de atividades como pecuária, mineração e extração madeireira. Além disto, a região em que a APA está inserida enfrenta questões de ordenamento e regularização ambiental, que contribuem com o uso irregular de terras e o aumento o número de

focos (COSTA, 2013).

Tabela 1. Quantidade de focos de queimada nas Unidades de Conservação em São Félix do Xingu, Pará, de 2008 a 2017.

Unidades de Conservação	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Total Geral
APA Triunfo do Xingu	5.351	1.586	6.714	1.165	2.422	464	2.945	10.686	4.021	28.272	63.626
EE Terra do Meio	66	40	137	18	34	19	31	95	75	759	1.274
FN de Itacaiunas	-	1	-	-	4	-	-	-	6	5	16
FN de Tapirapé-Aquirí	8	6	-	3	7	-	-	4	4	23	55
PN da Serra do Pardo	79	129	6	140	41	13	404	140	10	416	1.378
RB do Tapirapé	3	-	-	-	-	-	-	-	-	1	4
RE Rio Xingu	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1
<b>Total Geral</b>	<b>5.507</b>	<b>1.762</b>	<b>6.857</b>	<b>1.326</b>	<b>2.508</b>	<b>497</b>	<b>3.380</b>	<b>10.925</b>	<b>4.116</b>	<b>29.476</b>	<b>66.354</b>

Tabela 1. Quantidade de focos de queimada nas Unidades de Conservação em São Félix do Xingu, Pará, de 2008 a 2017.

APA - Área de Proteção Ambiental; EE - Estação Ecológica; FN - Floresta Nacional; PN - Parque Nacional; RB - Reserva Biológica; RE - Reserva Extrativista.

Se pode relacionar o total de focos nas UC's com seu nível de proteção, sendo que aquelas mais restritivas como Reserva Biológica ou Extrativista e Floresta Nacional apresentaram os valores mais baixos de focos. A limitação de acesso a estes locais se configura em uma forma segura de preservação da biodiversidade local, não somente contra o fogo, mas também contra demais ações antrópicas como o desmatamento.

Em São Félix do Xingu, as áreas de assentamentos também são marcadas pela presença de muitos focos de queimada principalmente as que se encontram localizadas próximas a sede do município (COSTA, 2013). Nessa vertente, os assentamentos foram responsáveis por 6,29% do total de focos encontrados (Tabela 2).

Seguindo a tendência do que foi observado no período avaliado para o município e às unidades de conservação o ano de 2017 apresentou maior número de focos. Os grandes responsáveis foram o PA Colônia São José do Xingu e o PA Sudoeste com 1.242 e 1.235 incidências respectivamente, o que significa 43% das incidências nos assentamentos no ano em xeque.

Esses assentamentos estão entre os maiores em área territorial e quantidade de famílias assentadas (INCRA, 2018), fatores que podem ter contribuído para o maior número de focos. Na Amazônia comumente as queimadas estão ligadas à modificação da cobertura nativa para o uso alternativo do solo (ABREU; SOUZA, 2016), por se tratar de um método barato e acessível aos pequenos agricultores (MORAES; BEZERRA, 2017), que historicamente vem sendo utilizado na região.

<b>Projetos de Assentamentos</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>Total Geral</b>
PA Arapari	68	118	116	59	88	6	106	348	143	419	1.471
PA Colônia São José do Xingu	471	257	216	87	196	25	148	875	114	1.242	3.631
PA Lindoeste	46	24	44	33	45	3	39	176	38	160	608
PA Oeste	16	12	45	6	9	-	24	110	14	62	298
PA Rio Cinza	24	35	63	30	109	4	24	109	52	116	566
PA Rio Negro	22	16	19	14	30	3	32	117	57	116	426
PA Rio Pará	29	12	41	29	30	9	38	100	65	123	476
PA Santiago	59	15	29	9	57	8	41	120	16	228	582
PA São Sebastião do Xingu	120	44	58	18	43	6	54	339	25	283	990
PA Sudoeste	174	197	283	187	505	29	178	913	371	1.235	4.072
PA Tancredo Neves	213	30	109	20	40	6	32	226	60	255	991
<b>Total Geral</b>	<b>1.242</b>	<b>760</b>	<b>1.023</b>	<b>492</b>	<b>1.152</b>	<b>99</b>	<b>716</b>	<b>3.433</b>	<b>955</b>	<b>4.239</b>	<b>14.111</b>

Tabela 2. Quantidade de focos de queimada nos Assentamentos em São Félix do Xingu, Pará, de 2008 a 2017.

Pode-se notar na figura 04 que as áreas, central, sudoeste e extremo norte apresentaram baixa incidência de focos. Nestes locais encontram-se Terras Indígenas (TI), categoria de uso com menor intensidade de focos, evidenciando seu alto grau de proteção contra este tipo de agressão ao meio ambiente. Este resultado é relevante tendo em vista as poucas informações sobre este tipo de uso e sua relação com a dinâmica do fogo com o auxílio de satélites para detecção (ABREU; SOUZA, 2015).

#### 4 | CONCLUSÕES

O município de São Félix do Xingu apresentou elevado número de focos de calor, com considerável variação na quantidade de focos entre os anos, com ênfase no ano de 2017, que apresentou a maioria das incidências. Nesta variação o fator pluviosidade não parece ter sido decisivo.

A Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu e os assentamentos PA Colônia São José do Xingu e PA Sudoeste, apresentaram o maior percentual de queimadas no período avaliado. A fronteira do município com o estado do Mato Grosso também é marcada por uma grande concentração das incidências de focos devido as atividades agropecuárias existentes na região.

Locais com categorias de proteção mais restritivas como Reservas biológicas e Terras Indígenas apresentaram menor número de focos, demonstrando sua eficácia no combate a queimadas.

A utilização de imagens de satélites para detecção de focos de calor indica as condições em que possíveis queimadas podem ocorrer, podendo ser utilizados como fonte de informação para planejamento de combate a incêndios, especialmente em locais com grandes dimensões como a Amazônia, levando a maior eficiência na

prevenção e combate de incêndios de maiores proporções.

## REFERÊNCIAS

ABREU, F. A.; SOUZA, J. S. A. **Dinâmica espaço-temporal de focos de calor em duas terras indígenas do estado do Mato Grosso: uma abordagem geoespacial sobre a dinâmica do uso do fogo por Xavantes e Bororos.** Floresta e Ambiente, v. 23, n. 1, p. 1-10, 2016.

BONAMICO, M. A. **Relação entre estoque de carbono acima do solo e produção de cacau em sistemas agroflorestais de cacau em São Félix do Xingu - PA, Brasil.** 2017. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017.

CABRAL, A. L. A.; MORAS FILHO, L. O.; BORGES, L. A. C. **Uso do fogo na agricultura: legislação, impactos ambientais e realidade na Amazônia.** IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 5, p. 159-172, 2013.

CLAUDINO, L. S. D. **Ocupação dos espaços, gestão e degradação das pastagens entre pecuaristas da microrregião de São Félix do Xingu – PA.** 2011. 163f. Dissertação (Mestrado em Agriculturas Familiares e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Estado do Pará, Belém, 2011.

COSTA, A. L. S. **Efetividade de gestão da área de proteção ambiental Triunfo do Xingu: desafios de consolidação de uma unidade de conservação na região da Terra do Meio, estado do Pará.** 2013. 201f. Tese (Doutorado em Ciências do Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

FAPESPA. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará. **Boletim Agropecuário do estado do Pará 2015.** Belém, n. 1, julho, 2015. 38p.

GEMAQUE, C. B. S. **Análise dos pontos críticos na APA Trinco do Xingu.** Belém: SEMA, DIAP, 2012. 15p. Relatório Técnico.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades: São Félix do Xingu. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/sao-felix-do-xingu/panorama>. Acesso em: 16 jun. 2019.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Projetos de Reforma Agrária Conforme Fases de Implementação.** 2018. 336p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: 17 jun. 2019.

LAZZARINI, G. M. J.; FERREIRA, L. C. C.; FELICÍSSIMO, M. F. G.; OLIVEIRA, L. N. **Análise da detecção e ocorrência de queimadas em áreas urbanizadas e entorno.** Ciência e Natura, Santa Maria, v. 38, n. 3, p. 1265 – 1275, 2016.

LEAL, F. A. **Simulação e avaliação dos efeitos de padrões de desmatamento na dinâmica da paisagem de São Félix do Xingu / PA.** 2016. 160f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MORAES, T.; BEZERRA, P. E. S. **Dinâmica do uso e cobertura do solo e a Ocorrências de Focos de calor na mesorregião do Marajó – PA.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 18., 2017, Santos. **Anais [...].** Santos, 2017.

NEVES, L. F. S.; MARIMON, B. S.; ANDERSON, L. O.; NEVES, S. M. A. S. **Dinâmica de fogo no parque estadual do Araguaia, zona de transição Amazônia-Cerrado.** Revista Ra'ega, Curitiba, v. 44, p. 85-103, 2018.

OLIVEIRA, U. C.; OLIVEIRA, P. S. **Mapas de Kernel como Subsídio à Gestão Ambiental: Análise dos Focos de Calor na Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nos Anos 2010 a 2015**. Espaço Aberto, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 87-99, 2017.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing, version 1.0.143 R. Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2016.

SANTOS, E. F.; FERREIRA, R. V.; FIRMINO, G. V.; ALVES, M. O.; SIQUEIRA, H. E. **Avaliação da área de vegetação nativa afetada após um episódio de queimada no município de Água Comprida / MG com o uso de SIG**. Ambiência, Guarapuava, v. 12, p. 813-819, 2016.

SILVA, T. B.; ROCHA, W. J. S. F.; ANGELO, M. F. **Quantificação e análise espacial dos focos de calor no Parque Nacional da Chapada Diamantina – BA**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu, 2013.

SOARES NETO, G. B.; BAYMA, A. P.; FARIA, K. M. S.; OLIVEIRA, E. G.; MENEZES, P. H. B. J. **Riscos de incêndios florestais no Parque Nacional de Brasília – Brasil**. Territorium, n. 23, p. 161–170, 2016.

SOUZA, I. R. M.; IWATA, B. F.; ALBUQUERQUE, B. C. D.; LEITE, A. C. S.; MORAIS, R. C. S. **Análise espaço temporal dos focos de calor no município de formosa do Rio Preto – BA**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande. **Anais** [...]. Campina Grande, 2016.

## ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE EM PALMAS-TO

**Érika Gonçalves Pires**

Instituto Federal do Tocantins – IFTO  
Coordenação de Geomática, Palmas - TO

**Gabriel Alves Veloso**

Universidade Federal do Pará – UFPA, Faculdade  
de Geografia, Altamira - PA

**RESUMO:** A temperatura de superfície é um parâmetro biofísico importante para compreensão dos fatores climáticos de uma região. O presente trabalho tem como objetivo analisar a distribuição espacial da temperatura de superfície no município de Palmas-TO, localizado no Bioma Cerrado, utilizando dados do sensor MODIS/TERRA. Para tanto, foram utilizados os dados do produto MOD11A2 (Coleção 6), com resolução espacial de 1 km, do período de 2001 a 2014. A temperatura de superfície apresentou um aumento de até 6°C nos valores de temperatura diurna, e de até 8°C na temperatura noturna na área urbana de Palmas-TO, nos anos de 2005 e 2010 quando comparado ao ano de 2001, associado provavelmente ao aumento e densificação da área urbana. Nota-se ainda que ocorreram poucas variações de temperaturas nas áreas da APA da Serra Lajeado, nos anos de 2001, 2005 e 2014, com grande parte das áreas nas faixas de 33,1 a 36°C, possivelmente por se tratar de uma área de proteção ambiental, com bastante

áreas de vegetação onde as temperaturas tendem a ser mais baixas. Salienta-se que as diferentes coberturas do solo influenciaram diretamente na temperatura observada nas imagens, e possui padrões de comportamento distintos de produção de calor, absorção de energia e reflectância.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensor MODIS, imagem termal, uso do solo.

### ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF SURFACE TEMPERATURE IN PALMAS - TO

**ABSTRACT:** Surface temperature is an important biophysical parameter for understanding the climatic factors of a region. The present article aims to analyze the spatial distribution of the surface temperature at Palmas-TO, located in the Cerrado Biome, by the use of MODIS/TERRA sensor data. For this, it were used the data from MOD11A2 product (Collection 6), with 1 km of spatial resolution, from 2001 to 2014. The surface temperature presented an increase of until 6°C in the diurnal temperature values, and until 8°C in the nocturnal temperature on the Palmas urban area in the years of 2005 and 2010 when compared to 2001, probably associated to the expansion and desinification of the urban area. It is also noted that there were few temperature variations in the

APA Serra Lajeado, in the years 2001, 2005 and 2014, with most areas in the ranges from 33.1 to 36°C, possibly because it is an area of environmental protection, with a lot of areas of vegetation where temperatures tend to be lower. It should be noted that the different soil coverage directly influenced the temperature observed in the images, and has different behavior patterns of heat production, energy absorption and reflectance.

**KEYWORDS:** MODIS sensor, thermal image, land use.

## 1 | INTRODUÇÃO

A temperatura de superfície terrestre (Land Surface Temperature – LST) é um parâmetro-chave nos processos físicos da superfície nas escalas locais, regionais e globais, combinando os resultados de todas as interações superfície-atmosfera e fluxos de energia entre a atmosfera e o solo (MANNSTEIN, 1987; WAN e LI, 2010).

Nesse sentido, a temperatura de superfície evidencia os processos de dependência da interface superfície/atmosfera atuando sobre os climas locais, tendo em vista que as variações termais na superfície podem contribuir com a aceleração do processo de evaporação, modificando o estado físico da água e aumentando a quantidade de vapor enviado à atmosfera (RICKLEFS, 1996).

Os dados de temperatura podem ser obtidos a partir de dados oriundos de sensores que operam na região do infravermelho termal do espectro eletromagnético, em diferentes escalas espaciais e temporais. A melhor faixa que possibilita uma transmissão da energia emitida da Terra que alcança o sensor na região do infravermelho termal é o intervalo de 8,0 a 14  $\mu\text{m}$  (STEINKE et al., 2010).

Uma das vantagens do sensoriamento remoto termal, é a possibilidade de aquisição de uma vasta rede de dados de temperatura para diferentes áreas sobre a superfície terrestre, em um curto espaço de tempo.

Inúmeras pesquisas vem sendo realizadas com o propósito de aferir e monitorar a temperatura de superfície terrestre a partir de dados satelitários (LOPES E RIZZI, 2007; ALCANTARA e STECH, 2011; SOUZA e FERREIRA JR, 2012; COELHO e CORREA, 2013), entretanto, ainda existe uma carência de estudos dessa natureza no bioma Cerrado, principalmente na região Norte do país, como é o caso do município de Palmas-TO.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a variação da temperatura de superfície diurna e noturna (LST Day e LST Night) no município de Palmas-TO, a partir dos dados do sensor MODIS, com intuito de entender o comportamento da temperatura nessa região.

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo abrange o município de Palmas localizado no estado do

Tocantins, pertencente a região norte do país. Palmas possui uma população estimada de 291.855 habitantes (IBGE, 2018), e localiza-se nas coordenadas geográficas 10°11'04"S e 48°20'01"W.

A distribuição sazonal das precipitações pluviais está bem caracterizada com dois períodos bem definidos: a estação chuvosa de outubro a abril e a estação seca nos meses de maio a setembro.

Segundo a classificação climática de Koppen-Geiger, o clima na área de estudo é tropical úmido com estação seca (Aw), o que contribui para as altas temperaturas existentes nessa região.

A temperatura de superfície terrestre (LST) foi estimada a partir das imagens termais do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). O sensor MODIS, a bordo dos satélites TERRA e AQUA, possui resolução temporal de 1-2 dias, e tem 36 bandas espectrais em diferentes regiões do espectro eletromagnético, incluindo a faixa do infravermelho termal, com as bandas 31 [10.78–11.28  $\mu\text{m}$ ] e 32 [11.77–12.27  $\mu\text{m}$ ] (WAN, 2013). O MODIS tem diversos produtos, dentre eles, o produto MOD11 – LST, que utiliza o algoritmo LST para o cálculo da temperatura de superfície, com os dados georreferenciados e corrigidos para efeitos da atmosfera.

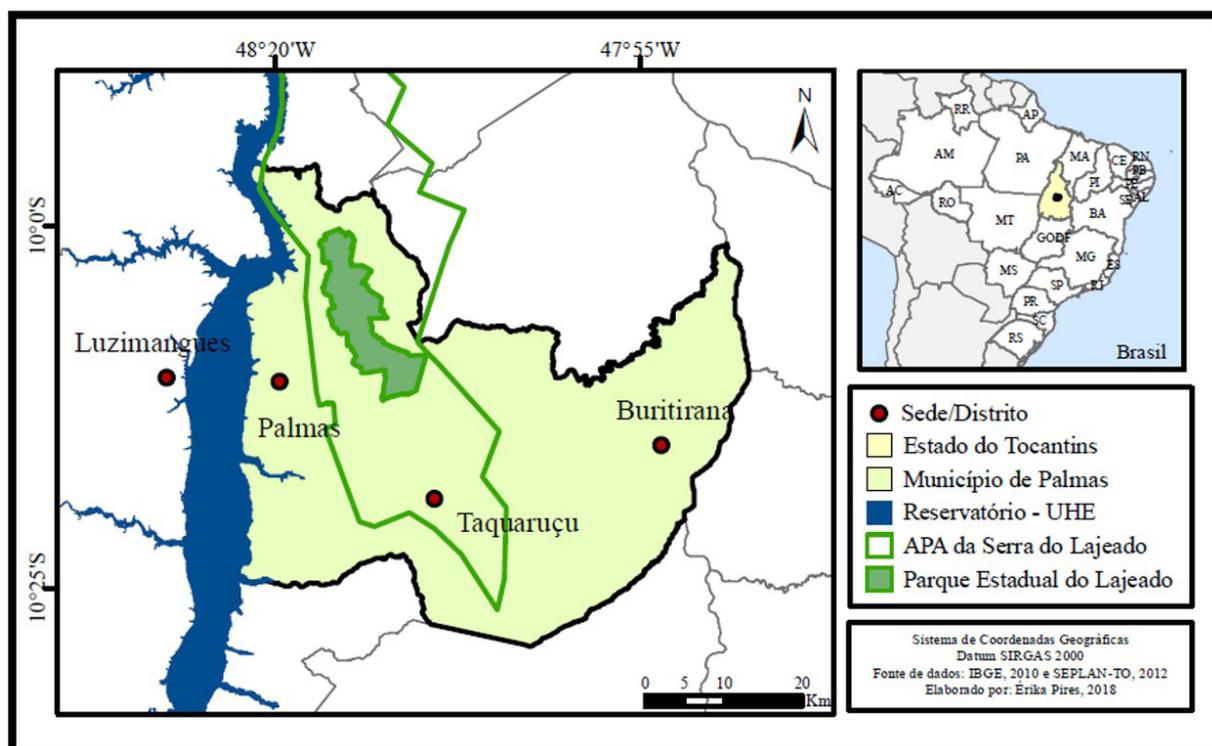


Figura 1. Mapa de localização do município de Palmas - TO.

Para este estudo, foram utilizados os dados do produto MOD11A2 (Coleção 6 - TERRA), que é resultante da composição de imagens de oito dias, obtidas a partir dos dados do produto MOD11A1 (diário), com 1 km de resolução espacial, e acurácia de aproximadamente 1°C no limite de variação de -10 a 50°C. O produto MOD11A2 foi escolhido com a finalidade de minimizar a ocorrência de pixels com

ausência de dados, além de facilitar a análise das informações.

As imagens de temperatura de superfície diurna e noturna (LST Day e LST Night) que recobriam a área de estudo (Tiles H13V9 e H13V10), para os anos de 2001, 2005, 2010 e 2014, foram adquiridas no site da NASA - National Aeronautics and Space Administration (<http://reverb.echo.nasa.gov/>). Salienta-se que a imagem LST Day equivale à temperatura de superfície medida entre às 10:00 e 10:30h, enquanto que os dados LST Night corresponde a temperatura medida aproximadamente às 22:00 e 23:00 h.

As imagens brutas foram reprojctadas (sinusoidal → geográfica) e mosaicadas, no software MRT - MODIS Reproject Tools, obtendo as imagens LST Day, LST\_Night, QC\_Day e QC\_Night. As imagens foram reescaladas e convertidas em valores de temperatura de superfície, por meio da Equação 1.

$$\text{LST Day ou Night} = (P * F) - 273,15 \quad (1)$$

Onde:

LST Day: Temperatura de superfície diurna (°C)

LST Night: Temperatura de superfície noturna (°C)

P: Valor original do pixel

F: Fator de conversão (0,02)

Em razão das imagens de satélites está sujeita as influências atmosféricas e meteorológicas, as imagens LST foram filtradas baseada nos dados de controle de qualidade (Quality Control- QC). Cada imagem LST apresenta um dado QC, onde cada pixel na imagem possui um valor de qualidade dos dados (0: ótimo, 2: bom, 16: regular, 65: ruim e > 65: péssimo).

Para classificação dos pixels bons nas imagens LST foram criadas máscaras para cada data das imagens QC, sendo selecionados apenas os pixels com ótima e boa qualidade de observação. Posteriormente, as máscaras diárias foram multiplicadas às imagens LST de cada dia, para a obtenção das imagens LST corrigidas.

Foram feitas as médias das imagens do produto MOD11A2, obtendo a imagem de temperatura média mensal de cada mês. Nesse estudo foram utilizadas as imagens do mês de setembro, pois corresponde ao período seco e geralmente com temperaturas elevadas.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As imagens de temperatura de superfície evidenciam alterações na temperatura no município de Palmas-TO. As Figuras 2 e 3 mostram as variações das temperaturas de superfícies diurnas e noturnas para o mês de setembro dos anos de 2001, 2005, 2010 e 2014. As cores frias (tons de verde) indicam locais com menores valores de

temperatura, enquanto as cores quentes (amarelo, laranja e vermelho) equivalem a áreas com maiores valores de temperatura.

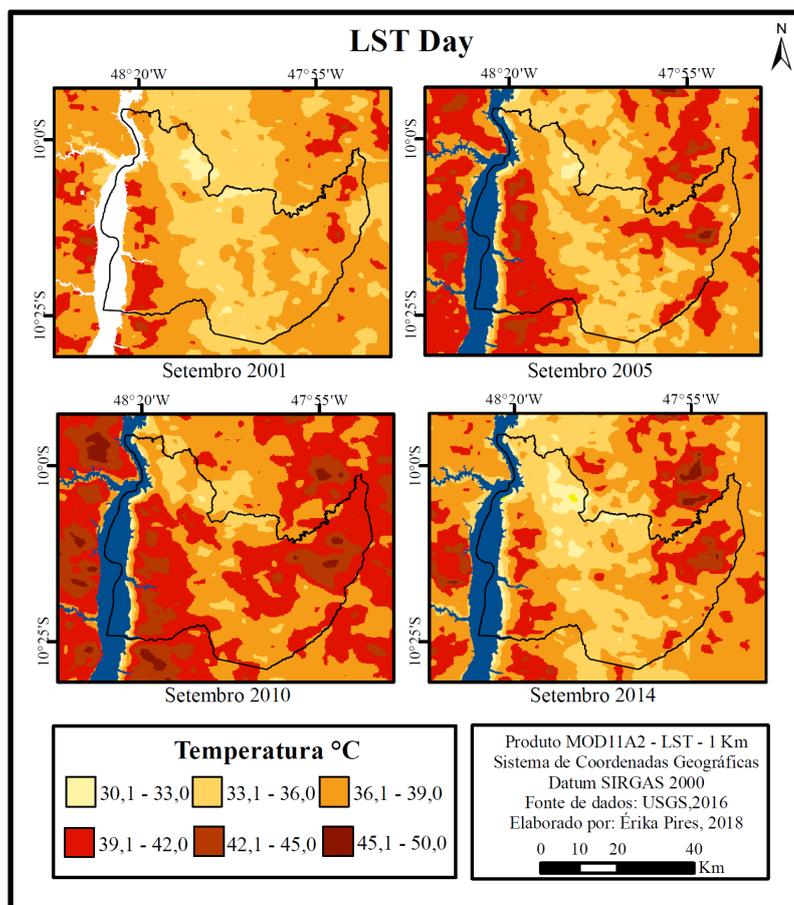


Figura 2. Variação da temperatura de superfície diurna no mês de setembro (Palmas-TO).

Quanto a temperatura de superfície diurna (LST Day – Figura 2), observa-se um aumento de até 6°C nos valores de temperatura na área urbana de Palmas-TO (porção oeste do município), nos anos de 2005 e 2010 quando comparado ao ano de 2001, vinculado provavelmente ao aumento e densificação da área urbana. Nota-se ainda que ocorreram poucas variações de temperaturas nas áreas da APA da Serra Lajeado (porção norte e central), nos anos de 2001, 2005 e 2014, com grande parte das áreas nas faixas de 33,1 a 36°C, possivelmente por se tratar de uma área de proteção ambiental, com bastante áreas de vegetação onde as temperaturas tendem a ser mais baixas. Entretanto, o ano de 2010 apresentou mais áreas com temperaturas diurnas mais elevadas, na faixa de 39,1 a 50,0°C, incluindo a área do Parque Estadual do Lajeado que registrou temperaturas de até 42°C.

Quanto a porção leste do município, observa-se um aumento brusco nos valores de temperatura diurna, passando da faixa de 36,1 – 39,0°C para 42,1 - 45°C. Isso possivelmente deve-se ao fato que em 2001 havia somente áreas de pastagens e vegetação nativa nesse local, e a partir do ano de 2005 houve um avanço das áreas agrícolas, com predominância de solo exposto no mês de setembro que favorece a ocorrência de altas temperaturas. Outro fato importante, é a diminuição de até

9°C nos valores temperaturas diurnas em 2005, 2010 e 2014, após a construção do reservatório da UHE de Luís Eduardo Magalhães (2002), nas áreas no entorno do mesmo.

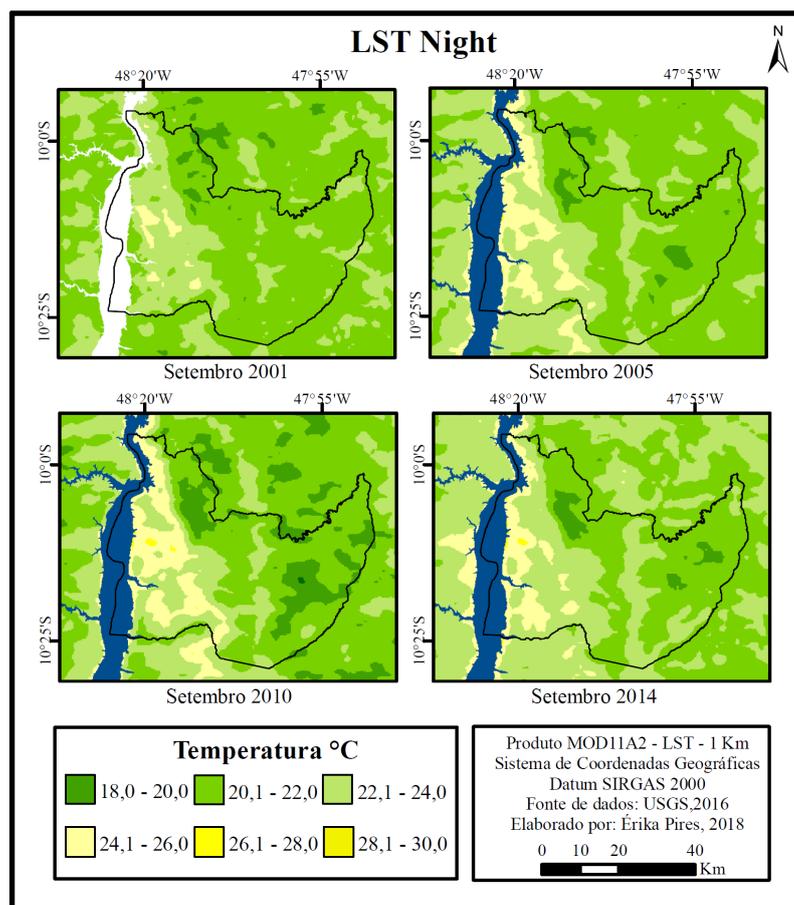


Figura 3. Variação da temperatura de superfície noturna no mês de setembro (Palmas-TO).

No que tange a temperatura de superfície noturna (LST Night – Figura 3), a área urbana de Palmas onde em 2001 possuía temperaturas na faixa de 20,1 a 24,0°C passou a ter mais áreas nas faixas de 24,1-26,0°C e 26,1-28,0°C, evidenciando um aumento da temperatura noturna de até 8°C ao longo dos anos. Salienta-se que algumas áreas do perímetro urbano ainda apresentaram temperaturas na faixa de 28,1 a 30°C.

Comparando as temperaturas noturnas da área urbana com as áreas de vegetação (APA da Serra do Lajeado e Parque Estadual do Lajeado), observa-se que a temperatura na área urbana é até 12°C mais elevada do que nas áreas de vegetação. Observa-se ainda que a temperatura nessas áreas de vegetação sofreram poucas alterações nos valores de temperaturas, permanecendo na faixa de 18,0 a 22,0°C.

As Tabelas 1 e 2 mostram as temperaturas de superfície mínimas, máximas e médias das imagens para o mês de setembro dos anos de 2001, 2005, 2010 e 2014, e também os desvios padrões dos dados.

<b>Estatística</b>	<b>Set 2001</b>	<b>Set 2005</b>	<b>Set 2010</b>	<b>Set 2014</b>
Min	31,1	30,3	30,0	30,1
Max	44,8	46,0	47,8	48,1
Med	36,3	37,4	38,9	36,8
DP	1,8	2,5	2,7	2,8

Tabela 1. Estatística da temperatura de superfície diurna.

<b>Estatística</b>	<b>Set 2001</b>	<b>Set 2005</b>	<b>Set 2010</b>	<b>Set 2014</b>
Min	18,6	18,9	18,0	18,3
Max	25,6	26,3	27,0	27,3
Med	21,6	22,0	21,7	22,8
DP	0,9	1,4	1,7	1,5

Tabela 2. Estatística da temperatura de superfície noturna.

Em relação a temperatura diurna (Tabela 1), nota-se que as temperaturas mínimas no município de Palmas diminuíram. Este fato possivelmente está ligado ao surgimento de áreas alagadas e úmidas devido a construção do reservatório da UHE de Luís Eduardo Magalhães. Em contrapartida, houve um aumento gradativo das temperaturas máximas no município, com um aumento de 3°C entre os anos de 2001 a 2014. O ano de 2010 foi o que apresentou maior temperatura média, evidenciado pelo aumento das áreas com temperaturas nas faixas de 39,1 a 50°C.

A temperatura mínima noturna (Tabela 2) não sofreu grandes alterações, entretanto houve um aumento de 1,7°C na temperatura máxima noturna. O ano de 2014 foi o que apresentou maior temperatura média (22,8°C), evidenciando o aumento da temperatura média noturna durante o período analisado.

Quanto aos desvios padrões das temperaturas diurnas e noturnas, observa-se um aumento dos mesmos, demonstrando um aumento das variações de temperaturas ao longo dos anos.

<b>Dados</b>	<b>Set 2001</b>	<b>Set 2005</b>	<b>Set 2010</b>	<b>Set 2014</b>
<i>Tar Day</i>	30,9	33,0	34,9	33,0
<i>LST Day</i>	38,9	39,9	40,1	39,3
<i>Tar Night</i>	28,1	28,5	29,2	27,5
<i>LST Night</i>	24,0	24,3	25,9	25,2

Tabela 3. Comparação entre os dados de temperatura de superfície (MODIS) e temperatura do ar (INMET), diurna e noturna.

Os dados de temperatura de superfície foram comparados com os dados de temperatura do ar medida na estação meteorológica do INMET localizada na cidade de Palmas-TO, conforme mostra a Tabela 3. Apesar da temperatura de superfície diurna (LST Day) ter apresentado valores mais elevados do que a temperatura do ar (Tar Day), as mesmas apresentaram padrões semelhantes, com coeficiente de correlação de Pearson de 0,80. Além disso, ocorreu um aumento da temperatura de superfície diurna nos anos de 2005 e 2010 e um declínio no ano de 2014. Quanto a temperatura noturna (LST Night e Tar Night), observa-se que houve um aumento gradativo da temperatura ao longo dos anos, apesar da temperatura do ar registrada ter sido um pouco maior do que a temperatura de superfície.

#### 4 | CONCLUSÕES

As imagens de temperatura de superfície diurna e noturna obtidas a partir do sensor MODIS, permitiram visualizar a distribuição espacial das temperaturas no município de Palmas-TO, nos anos de 2001, 2005, 2010 e 2014, evidenciando o potencial de uso dos dados MODIS.

A temperatura de superfície possui alta dependência com os fatores físicos, além de ser influenciados pela dinâmica social e econômica do local. Por sua vez, nas áreas onde não ocorreram muitas alterações antrópicas, como é o caso da APA da Serra do Lajeado, observa-se poucas variações nos dados de temperatura.

Constatou-se também a influência e a importância da cobertura vegetal na amenização das temperaturas, pois as áreas com vegetação apresentaram os menores valores delas, enquanto as áreas agrícolas, as áreas urbanas e a pastagem possuem maiores valores de temperaturas de superfície.

Portanto, as diferentes coberturas do solo influenciaram diretamente na temperatura aparente observada nas imagens, e apresenta padrões de comportamento diferenciados de absorção de energia, produção de calor e reflectância.

De acordo com o cenário atual, recomenda-se o reflorestamento de áreas que foram desmatadas, além do plantio de árvores principalmente nas áreas urbanas,

com intuito de aumentar o conforto térmico da população.

## REFERÊNCIAS

- Alcântara, E. H. e Stech, J. L., Desenvolvimento de modelo conceitual termodinâmico para o reservatório hidrelétrico de Itumbiara baseado em dados de satélite e telemétricos, **Ambiente & Água**, Taubaté, v. 6, n. 2, pp. 157-179, 2011.
- Coelho, A. L. N. e Correa, W. S. C., Temperatura de Superfície Celsius do Sensor Tirs/Landsat-8: Metodologia e Aplicações, **Revista Geográfica Acadêmica/RGA**, v.7, pp. 31-45, 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=o-que-e>, Acesso em: 01 ago. 2018.
- Lopes, P. M. O. e Rizzi, R., **Modelagem da emissividade da superfície terrestre em regiões montanhosas a partir de dados do sensor MODIS**, In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Anais... INPE,. pp. 2797-2804, 2007.
- Mannstein, H., Surface energy budget, surface temperature and thermal inertia, In: Vaughan, R. **Remote sensing applications in meteorology and climatology**, Dordrecht: Springer, pp. 391–410, 1987.
- Ricklefs, E.R. A., **Economia da Natureza**, Tradução: LIMA, C.B.P.L.S, 3.ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, pp. 472, 1996.
- Souza, S. B. de; Ferreira Junior, L. G., Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO), **Revista R’AEGA O Espaço Geográfico em Análise**, v. 26, Paraná, pp. 75 – 99, 2012.
- Steinke, V. A.; Steinke, E. T. e Saito, C. H., Estimativa da temperatura de superfície em áreas urbanas em processo de consolidação: reflexões e experimento em Planaltina-DF, **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 6, pp. 37-56, 2010.
- Wan, Z. e Li, Z-L., MODIS Land Surface Temperature and Emissivity, In: Ramachandran B.; Justice C.; Abrams M. (Orgs) **Land Remote Sensing and Global Environmental Change, Remote Sensing and Digital Image Processing**, 11. Ed, New York: Springer, 2010.
- Wan, Z., **Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users’ Guide**. ERI, Santa Bárbara: University of California, 2013.

## **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, doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR, 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 e Geotecnologia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agropecuária 2, 7, 93, 102, 104, 121, 132, 133, 136, 137, 139, 141, 146

Amazônia 89, 95, 96, 103, 106, 133, 134, 136, 138, 139, 140, 142, 146, 148, 149, 150

Análise Espacial 109, 151

Anomalias Climáticas 121

Antropização 34, 41, 44, 98

### B

Bilhete Único 56, 58, 64, 67

### C

Compartimentação Tectônica 108

Corredor de Ônibus 56

### D

Defeitos 69, 70, 71, 73, 74, 76, 77

Desenvolvimento Sustentável 78, 84, 150

Desertificação 121, 122, 123, 130, 131

Detecção de Mudança 34

Doença de Chagas 97, 98, 99, 103, 104

### E

Epidemiologia 89, 92, 96, 97

### F

Fotogrametria 69

### G

Geoprocessamento 22, 23, 33, 46, 47, 48, 50, 52, 53, 54, 56, 89, 123, 134, 139, 141, 142, 143

Gestão Pública 46, 47, 48, 52, 54

### I

Imagem Termal 152

Incêndio 142

Infraestrutura 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 54, 84, 132, 136, 138

### M

Matriz de Transição 94, 133, 135

Método 22, 23, 24, 27, 30, 31, 32, 33, 38, 43, 67, 69, 77, 78, 79, 81, 82, 84, 86, 87,

141, 144, 148

Modelo Multicriterial 78

Mudanças Do Clima 122, 130

## **N**

NDVI 9, 11, 12, 15, 17, 18, 19, 20, 44

## **P**

Pastagens Degradadas 2, 11, 12, 13, 17, 19, 20

Processamento Digital de Imagens 13, 20, 22, 23, 34, 37, 108, 113

## **R**

Rodovias 48, 69, 70, 77, 80

## **S**

SAVI 11, 12, 16, 17, 19

Segmentação 22, 23, 24, 30, 38

Sensoriamento Remoto 5, 1, 8, 11, 13, 20, 23, 34, 36, 43, 44, 45, 56, 60, 68, 87, 89, 90, 92, 102, 109, 112, 119, 120, 123, 133, 134, 140, 153, 160

SIG 17, 46, 47, 48, 52, 54, 59, 78, 132, 135, 144, 151

## **T**

Transporte Público 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68

## **U**

Uso do Solo 7, 79, 82, 83, 84, 87, 89, 95, 134, 139, 152

## **V**

Vetorização 56, 59, 60, 108, 109

Vulnerabilidade 44, 52, 81, 82, 83, 121, 122, 123, 126, 127, 128, 129, 130, 132, 134, 135, 140

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-637-9

