



Aplicações e Princípios do Sensoriamento Remoto 2

Leonardo Tullio
(Organizador)

 **Atena**
Editora

Ano 2018

LEONARDO TULLIO

(Organizador)

**Aplicações e Princípios do
Sensoriamento Remoto
2**

Atena Editora
2018

2018 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Geraldo Alves e Natália Sandrini

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

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

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

A642 Aplicações e princípios do sensoriamento remoto 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2018. – (Aplicações e Princípios do sensoriamento remoto; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-85107-48-2

DOI 10.22533/at.ed.482180110

1. Sensoriamento remoto. I. Tullio, Leonardo.

CDD 621.3678

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2018

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

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

Leonardo Tullio

SUMÁRIO

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

CAPÍTULO 8 94

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

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

CAPÍTULO 9 105

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

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

CAPÍTULO 10 117

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

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

CAPÍTULO 11 134

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

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

CAPÍTULO 12 144

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

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

CAPÍTULO 13 155

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

Crisliane Aparecida Pereira dos Santos
Edson Eyji Sano
Pablo Santana Santos

CAPÍTULO 14 165

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

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

CAPÍTULO 15..... 175

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

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

CAPÍTULO 16..... 190

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

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

CAPÍTULO 17 201

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

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

CAPÍTULO 18..... 213

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

Jorge Luís Silva Brito
Roberto Rosa
Mirna Karla Amorim da Silva

CAPÍTULO 19..... 222

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

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

CAPÍTULO 20..... 240

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

Maristela Ramalho Xaud
Cláudia Maria de Almeida
Haron Abraham Magalhães Xaud

CAPÍTULO 21..... 254

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

Gabriella Santos Arruda de Lima

Nilson Clementino Ferreira

CAPÍTULO 22..... 265

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

Teônia Casado da Silva

Madson Tavares Silva

Danielle Teixeira Alves da Silva

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Eduardo da Silva Margalho

SOBRE O ORGANIZADOR274

ANÁLISE DA PAISAGEM ATRAVÉS DE SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA UM ESTUDO DE CASO DA CIDADE DE SERRA DO NAVIO-AP

Érica Patrícia Viegas dos Santos

Universidade Federal do Amapá
Macapá – AP

Dário Rodrigues de Melo Junior

Universidade Federal do Amapá
Macapá - AP

Olavo Rodrigues Fagundes Neto

Universidade Federal do Amapá
Macapá – AP

Tasso Wesley Galeno Barreto

Universidade Federal do Amapá
Macapá – AP

Patrícia Helena Turola Takamatsu

Universidade Federal do Amapá
Macapá – AP

Fabiano Luís Belém

Universidade Federal do Amapá
Macapá – AP

RESUMO: As questões ambientais vêm sendo cada vez mais problemática, já que as consequências dos impactos ambientais principalmente em áreas que ocorreram mineração nas últimas décadas. Diante disto, este estudo tem a finalidade de revelar as mudanças da paisagem no decorrer dos anos e com seus possíveis impactos existentes na região da cidade de Serra do Navio/AP, e com o objetivo de obter as mudanças de paisagem através do mapeamento do uso e

ocupação do solo. Para isso, os procedimentos metodológicos adquiriu-se imagens de satélite dos anos 1985, 1995, 2005 e 2014 dos satélites TM/ LANDSAT_5. A partir disso, realizou-se o georreferenciamento, a classificação de imagens utilizando-se o algoritmo de ISOSEG. Obteve-se, o resultado de vários mapas da área em questão, que revele o desenvolvimento do uso e cobertura do solo de 1985 a 2014, mostra na região profundas alterações na paisagem. A partir disso, mostrou transformações e modificações significativas na qualidade do meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto; Ecologia da Paisagem; Serra do Navio.

ABSTRACT: Environmental issues are increasingly complex, with an increase in the consequences of environmental impact mainly in areas where mining takes place in the last decades. In view of this, this study aims to reveal the landscape changes in its temporal aspect and raise the possible existing impacts in the region of Serra do Navio / AP, was given the objective of features it by mapping the use and occupation the city land within the last twenty-nine years, aiming to analyze it conceptually by Landscape Ecology. As methodological procedure, were acquired images of the years 1985, 1995, 2005 and 2014 TM / LANDSAT_5 satellites. After this, there was georeferencing

and 433-2 RGB image classification using the parallelepiped algorithm. For the classification adopted the following landscape typology of vegetation, mining, exposed soil, urban areas, ponds and rivers, putting them as map classes of land use and occupation. Was obtained as a result maps of the area in question pointed to the development of land use and land cover from 1985 to 2014, confirming the profound changes in the landscape. Due to this, proved to be the transformation and significant changes in the quality of the environment anthropomorphized highlighting the impact of mining activity change and the expansion of the urban area.

KEYWORDS: Remote Sensing; Landscape Ecology; Serra do Navio.

1 | INTRODUÇÃO

O Geoprocessamento como instrumento de análise é uma importante ferramenta de suporte a tomada de decisão na avaliação de empreendimentos ambientais (ANDREWS e SOENYINK,1995). O uso da análise espacial é fundamental para o conhecimento holístico das interações de fenômenos ambientais em uma determinada área a ser estudada (CREPANI et al., 1996) para os estudos ambientais.

Ciências exatas e ciências da terra deixam de ser aplicadas isoladamente e passam a atuar de maneira conjunta, como no caso do subtema da análise ambiental, sob a temática da análise da paisagem. Para se atingir um estudo ambiental relevante, é preciso examinar as dimensões sociais, econômicas, ecológicas, espaciais e culturais – numa visão multidisciplinar a fim de analisar as variáveis e o espectro de perspectivas que envolvem o desafio de representar a realidade ambiental mais próxima possível de modelos ambientais confiáveis. Para isto é necessário o uso dos sistemas de informações geográficas (SIG's) que buscam por intermédio de variáveis espaciais analisar os fenômenos e os impactos ambientais que ocorrem no meio ambiente (CRHISTOFOLETTI, 1999; CREPANI et al, 1996).

No estudo ambiental, incorporando-se diversas variáveis ambientais, econômicas e sociais, tem-se um aumento no nível de complexidade a medida que os estudos nas chamadas ciências geográficas interdisciplinares, da área da Geografia Física, onde os métodos geográficos são aplicados com objetivo de estudar o espaço e os elementos que os compõem um ambiente ecossistêmico. Através da utilização do Geoprocessamento e do Sensoriamento Remoto é possível aumentar a quantidade de informações espaciais e detalha-las sobre o meio ambiente, como, por exemplo, as informações de uso e ocupação do solo.

Neste trabalho realizou-se uma análise espacial do uso e ocupação do solo do município de Serra do Navio com o objetivo de destacar as alterações da paisagem sofridas. Ao se analisar as condições do meio ambiente numa perspectiva sistêmica, portanto interativa, a análise espacial permite estabelecer correlações entre diferentes fatores que possam interferir na evolução de um determinado fenômeno ambiental,

permitindo estabelecer cenários mais realistas que ensejem planejar melhores soluções a serem tomadas, visando à minimização de impactos e sustentabilidade ambiental (CRHISTOFOLETTI, 1999). Portanto, analisar-se-á o impacto ambiental da exploração do minério de manganês no município de Serra do Navio pelo lapso temporal dos últimos quarenta e três anos.

Para falar em paisagem, é necessário destacar o campo da Ecologia da Paisagem que é uma temática que também contribui aos estudos ambientais. Conceito cunhado inicialmente por Carl Troll em 1939 (TROLL, 1950), o estudo da paisagem desenvolveu-se conjuntamente com os trabalhos de geoprocessamento e sensoriamento remoto com o objetivo de construir modelos espaciais que representassem a realidade espacial do meio ambiente. A análise da ecologia de paisagem através do uso dos sistemas de informações geográficas (SIG's) trabalha com as mais diferentes variáveis espaciais para determinar os padrões e processos ecológicos. A partir disso, consegue-se determinar os efeitos das atividades antrópicas sobre a paisagem (JENSEN, 2009).

Segundo Lang e Blaschke (2009), a ecologia da paisagem utiliza métodos quantitativos para caracterizar as paisagens dando enfoque aos fluxos das variáveis espaciais que compõem o meio ambiente, como por exemplo, a relação entre solo, relevo, clima e hidrografia. A ecologia da paisagem, portanto, consegue integrar o conhecimento espacial do geógrafo com o conhecimento ecológico dos seres vivos presentes do ecólogo. Isto faz com o estudo integrado da ecologia da paisagem seja aplicado a uma série de estudos ambientais desenvolvidos por Araújo (2010), Watanabe (2011), Nepstad et al. (2009), Merry (2009), Stickler et al. (2009) e Forneck (2007).

A Ecologia da paisagem passou a ser também definida, de acordo com Lang e Blaschke (2009) como o estudo da estrutura, função e mudança de uma região heterogênea composta de ecossistemas em interação, sendo estas três características principais de uma paisagem. (Jensen, 2009, pág.111). O estudo dos fatores espaciais e dos relacionamentos espaciais entre as variáveis ambientais da paisagem constitui um elemento principal na pesquisa da Ecologia da Paisagem. A estrutura da paisagem é relacionada a distribuição das feições geográficas que é resultado dos diversos processos físicos-ecológicos presentes do meio ambiente.

A Ecologia da paisagem foca nas transformações da paisagem em grandes escalas e os efeitos ecológicos na textura do ecossistema. Isto corrobora para que a ecologia da paisagem estude o desenvolvimento e o dinamismo da heterogeneidade espacial. A multiplicidade de variáveis espaciais no sistema gera a interação e troca de matéria e fluxos entre as diferentes paisagens presentes que são influenciadas pelos processos bióticos ligados aos seres vivos presentes naquele meio ambiente e os processos abióticos ligados ao clima, solo, relevo também presentes naquela paisagem. (TURNER,1989; TURNER e GADNER, 2001; TURNER, 2005).

A ecologia da paisagem deve ser compreendida a partir das características que são comuns a toda paisagens, como por exemplo, estrutura, função e mudanças

(LANG e BLASCHKE, 2009). A estrutura é o resultado da relação entre diferentes ecossistemas de uma paisagem, pois a paisagem comporta todos os elementos que a formam e determina como estão colocados de acordo a sua forma, tamanho e quantidade no arranjo espacial (LANG e BLASCHKE, 2009). A função da paisagem é como se organiza a entrada e saída de fluxos de energia e seres vivos presentes nesta paisagem (LANG e BLASCHKE, 2009). A partir disso, confirma-se que o grau de conectividade de uma paisagem não somente demonstra como a paisagem está estruturada, e também define os constantes dos processos de troca de fluxos de energia e seres vivos que ocorrem na paisagem (MORAIS e CARVALHO, 2013). A mudança é uma característica que dependerá da resolução temporal que será analisada a partir de um determinado tempo, que determina o rearranjo dessa paisagem, conseqüentemente, provoca modificações nas características estruturais e funcionais da paisagem (MORAIS E CARVALHO, 2013). Isto pode ocorrer tanto em relação aos processos naturais quanto antrópicos.

O termo paisagem é um dos conceitos geográficos mais abrangentes e utilizados para a caracterização das feições fisiografias, geológicas e geomorfológicas de uma região da crosta terrestre. Segundo Bertrand (1972); Christofolletti (1987); Turner (2001), Tricart (1977), Tricart (1982), Troppmair (1989), a paisagem é determinada como porção do espaço que resulta da combinação dinâmica dos elementos físicos, biológicos e antrópicos, os quais devem se interagir de maneira a formar a um conjunto único e indissociável em constante transformação. Para Zonneveld (1989), a paisagem é parte do espaço na superfície terrestre abrangendo um complexo de sistemas caracterizados pela atividade geológica, da água, de plantas, de animais e do homem e por suas formas fisionômicas resultantes, que podem ser reconhecidos como entidades.

A paisagem é de fato, o conjunto de inter-relações entre a natureza e o homem. Não se pode considerar uma paisagem sem o homem e suas interferências. Pensando de maneira sistêmica, Bertrand (1972 a) procurou reforçar a visão integrada (holística), procurando talhar diretamente a paisagem global tal qual ela se banca. (SOARES-FILHO, 2008, pág. 9)

A unidade de paisagem é um termo interdisciplinar, mais dinâmico devido aos elementos de alteração que podem ocorrer sobre ela como, por exemplo, os processos de erosão sobre a vertente e processos antrópicos. Isto faz com que a paisagem ocorra em grande evolução podendo com isto alterar a estrutura e a composição através do tempo. Isto mostra que ao se fazer a análise da paisagem é importante enfatizar os elementos físicos que estão constante alteração e que provocam modificações em características futuras da paisagem.

A paisagem simboliza uma área para os estudos de uso e cobertura da terra e vice-versa, pois trata-se do reconhecimento dos elementos que estruturam a paisagem de determinado lugar, seja de ordem natural e/ou antrópica, ambos em constante dinâmica. (MORAIS e CARVALHO, 2013, pág.5).

Para se realizar o estudo e análise da paisagem é necessário fazer em uma determinada escala regional ou local. Como por exemplo, a geologia que compõe a paisagem é uma variável espacial que deve ser considerada na análise da paisagem em escala regional porque através dos processos tectônicos geram-se características de determinadas paisagens (SOARES-FILHO, 2008). Além disso, deve-se considerar a litologia que é onde ocorrem os processos de formação do solo através do intemperismo. Após isto deve-se considerar o clima que se apresenta na paisagem como a temperatura, a precipitação que influencia diretamente no processo erosivo e no escoamento superficial. Os processos erosivos como a erosão fluvial, pluvial, gravitacional, e marinha são influenciados pelo clima e a geologia. Além disso, deve-se considerar os micro-organismos, os organismos e a vegetação que são responsáveis pela matéria orgânica no solo também influencia o processo erosão e formação do saprófito.

A área de estudo, conforme Figura 1, se insere dentro do município de Serra do Navio que foi historicamente criado para abrigar os funcionários da ICOMI - Indústria e Comércio de Minérios, firmando em 1953 um contrato de exploração do manganês amapaense por 50 anos. Contudo, como a reserva se esgotou antes do tempo previsto, em 1993 a empresa encerrou as atividades de exploração mineral e deixou o estado do Amapá. Enquanto a sede do município estava sendo administrada pela empresa, a Vila era considerada um modelo de organização e eficiência. Representando a rede de maior projeto privado do Estado do Amapá, a Vila possuía diversos serviços, o que proporcionava a sua população melhor amparo. Entretanto, após ter sido transformada em Município a sede passou a ser administrada pela Prefeitura Municipal e deixou de ser responsabilidade da empresa privada, mas em decorrência de dificuldades financeiras, a administração pública não conseguiu manter infraestrutura e os padrões implantados pela ICOMI, São visíveis os sinais de decadência na cidade, onde em muitos casos as instalações e estabelecimentos estão abandonada. Com a saída definitiva da ICOMI e de sua parceira norte-americana Bethlehem Steel, Serra do Navio conheceu um fenômeno novo: a favelização oriunda da miséria que se alastra na infraestrutura urbana (Tostes et. al, 2016). Atualmente, o município de Serra do Navio, tem uma população de aproximadamente 4.938 habitantes segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2010).

Mapa de Localização da Área de Estudo

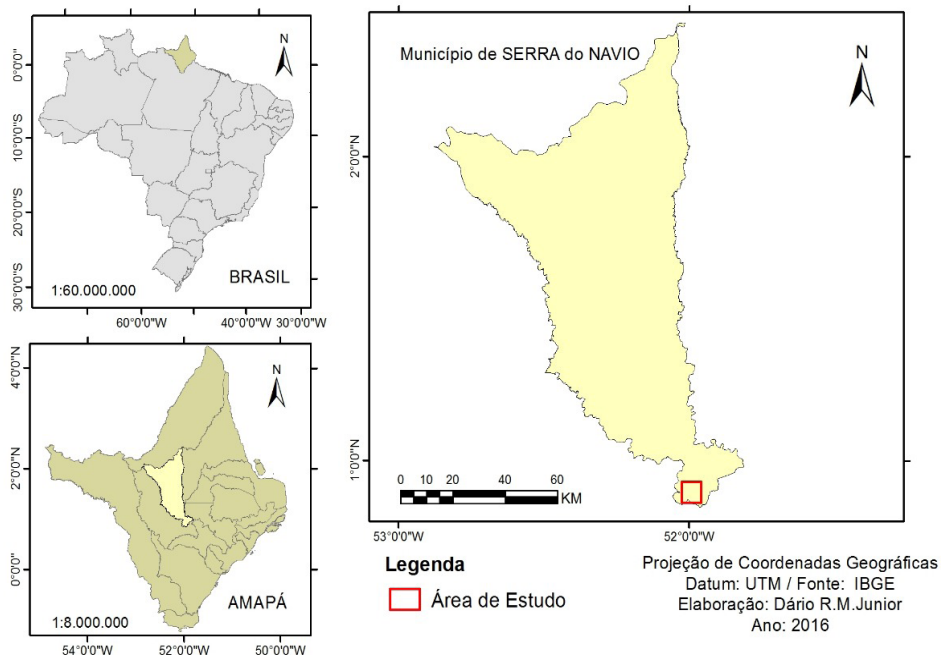


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo

2 | OBJETIVO

Este trabalho tem o objetivo mostrar as mudanças na paisagem que ocorreram no município de Serra do Navio ao longo de vinte e nove anos, desde o auge da exploração do minério de manganês até a decadência de sua exploração com a cessão das atividades da empresa ICOMI (Industria de Comércio e Mineração) que tinha o monopólio de exploração de manganês em Serra do Navio. Este estudo tem como objetivo obter uma análise ambiental através do mapeamento do uso e ocupação da terra.

3 | METODOLOGIA DO TRABALHO

Para realizar este trabalho utilizou-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Primeiramente, foram utilizadas neste estudo imagens de satélites TM/ LANDSAT_5 órbitas 226/59 disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2014, conforme Figura 2. Totalizando quatro imagens selecionadas para criar um mapa multi temporal com uma diferença de dez anos entre cada imagem. Para o processamento digital das imagens foram utilizados o software ENVI v.5.0® e o software ArcGIS® versão 10.3.

As imagens dos satélites Lansat tem resolução espacial de 30 metros e assim foi possível melhorar a qualidade visual da mesma realizando os procedimentos de correção radiométrica e geométrica da imagem. Para realizar o georreferenciamento

destas imagens foi utilizada a base com a imagem OLI_TIRS/LANDSAT_8 que são georreferenciadas.

No software ArcGIS® foi processada a imagem OLI_TIRS/LANDSAT_8 do ano 2014 (mais recente) selecionando a área de estudo, criando-se um shapefile. Utilizando este shapefile no software ENVI® constituiu o recorte da área de estudo de todas as demais imagens. Realizou-se uma composição RGB nas imagens TM/LANDSAT_5, seguindo a ordem RGB-432 resultando numa imagem falsa cor. Sob as imagens de falsa cor foi realizada a coleta das amostras dos diferentes alvos/classes e posteriormente realizada as classificações. A partir disto foi possível as feições geográficas presentes nesta área. Para a classificação adotou-se a seguinte tipologias de paisagem de áreas de vegetação, mineração, solo exposto, áreas urbanas, lagoas e rios.

A classificação utilizada foi a pixel a pixel supervisionada, sendo o método paralelepípedo. De acordo com Meneses & Almeida (2012) este método utiliza os valores dos pixels de cada classe de treinamento estimados por um limite superior e um limite inferior de valores digitais, que são identificados como as dimensões das bordas do paralelepípedo. A partir disso, geraram-se mapas de uso e ocupação do solo dos anos de 1985, 1995, 2005 e 2014.

Realizou-se trabalho de campo no dia 22/04/2016 com o objetivo de reconhecer as feições geográficas e da área de estudo. No dia 26/05/2016 realizou-se novo levantamento em campo para realizar a conferencia dos mapas temáticos.

Imagens de Serra do Navio/AP de 1985, 1995, 2005 e 2014

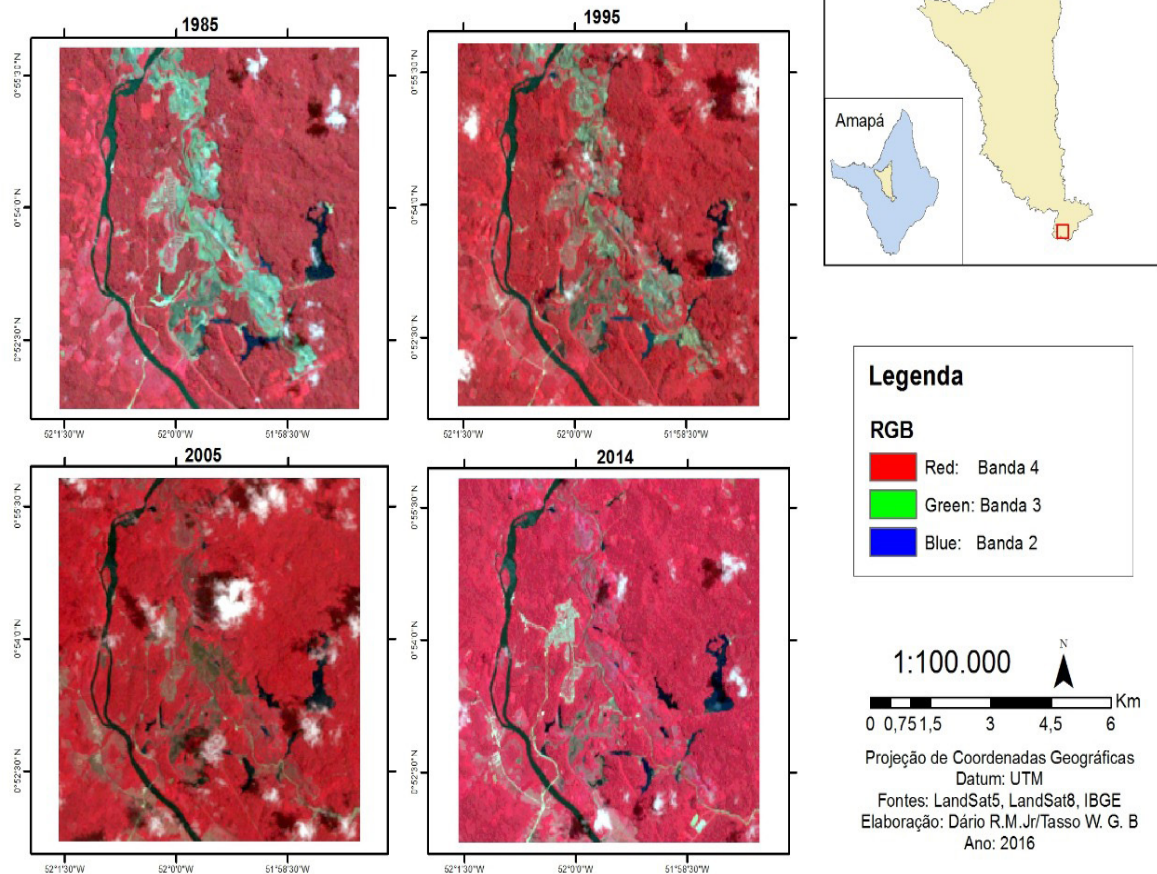


Figura 2: Imagens do município de Serra do Navio, RGB 432 nos anos 1985, 1995, 2005, 2014.

4 | RESULTADO E DISCUSSÃO

O método aplicado permitiu obter o mapa multi temporal do uso e ocupação do solo da cidade de Serra do Navio dos anos 1985 a 2014, com o objetivo de identificar a mudança paisagem, conforme será apresentado nas figuras a seguir.

Mapa do Uso e Ocupação da Terra de 1985 de Serra do Navio/AP

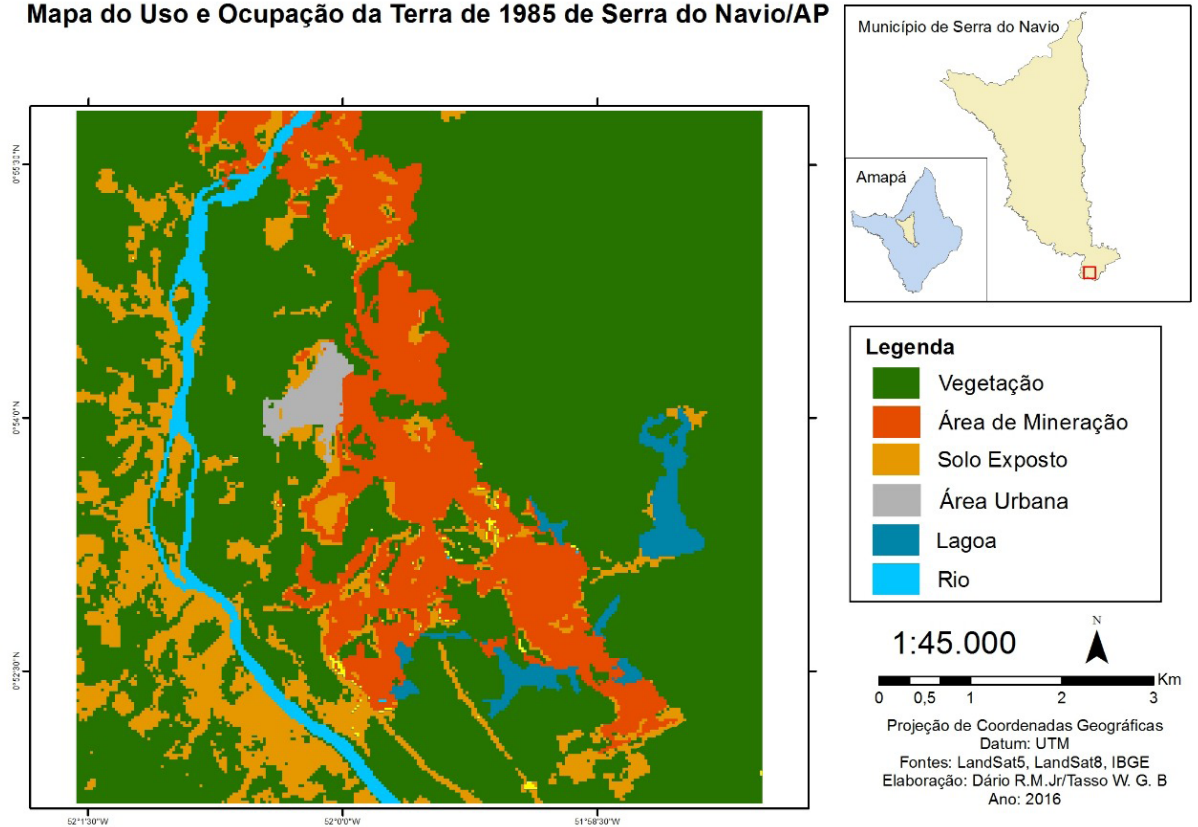


Figura 3: Imagens classificadas de 1985

No mapa de uso e ocupação do solo de 1985 identificou-se uma grande área de mineração evidenciada decorrente à época da comprovação da alta exploração de minério de manganês que chegava a trezentas mil toneladas neste ano (Tostes et. al, 2016). As áreas de solos expostos apresentam-se nas margens do Rio Araguari já que as tais áreas próximas ao rio eram utilizadas para a agricultura e pecuária para poder manter a população que trabalhava na exploração de minério de manganês.

Conforme abordado na introdução, a partir de 1993, a empresa ICOMI encerra a realização de suas atividades no município de Serra do Navio, fazendo com que grande parte da população saia do município. Além disso segundo o IBGE (2000) houve um aumento dos desempregados no município que fez com que a periferia do município fosse ocupada. A diminuição da população causou uma diminuição da produção agrícola do município como pode ser comprovado na Figura 4. Houve também um aumento do número de lagoas causados principalmente, porque as minas chegavam até o lençol freático e a partir disso, as antigas minas foram transformadas em lagoas utilizando-se desta água (IEPA, 2013).

No mapa de uso e ocupação do solo de 2005, conforme Figura 5, já podemos observar que ocorre uma diminuição da área urbana do município de Serra do Navio, podendo se comprovar o ocorrido principalmente pela emigração dos trabalhadores do município (IEPA, 2013). Ocorre também aumento das áreas rurais do município com o objetivo de abastecimento da área urbana de Macapá.

Mapa do Uso e Ocupação da Terra de 1995 de Serra do Navio/AP

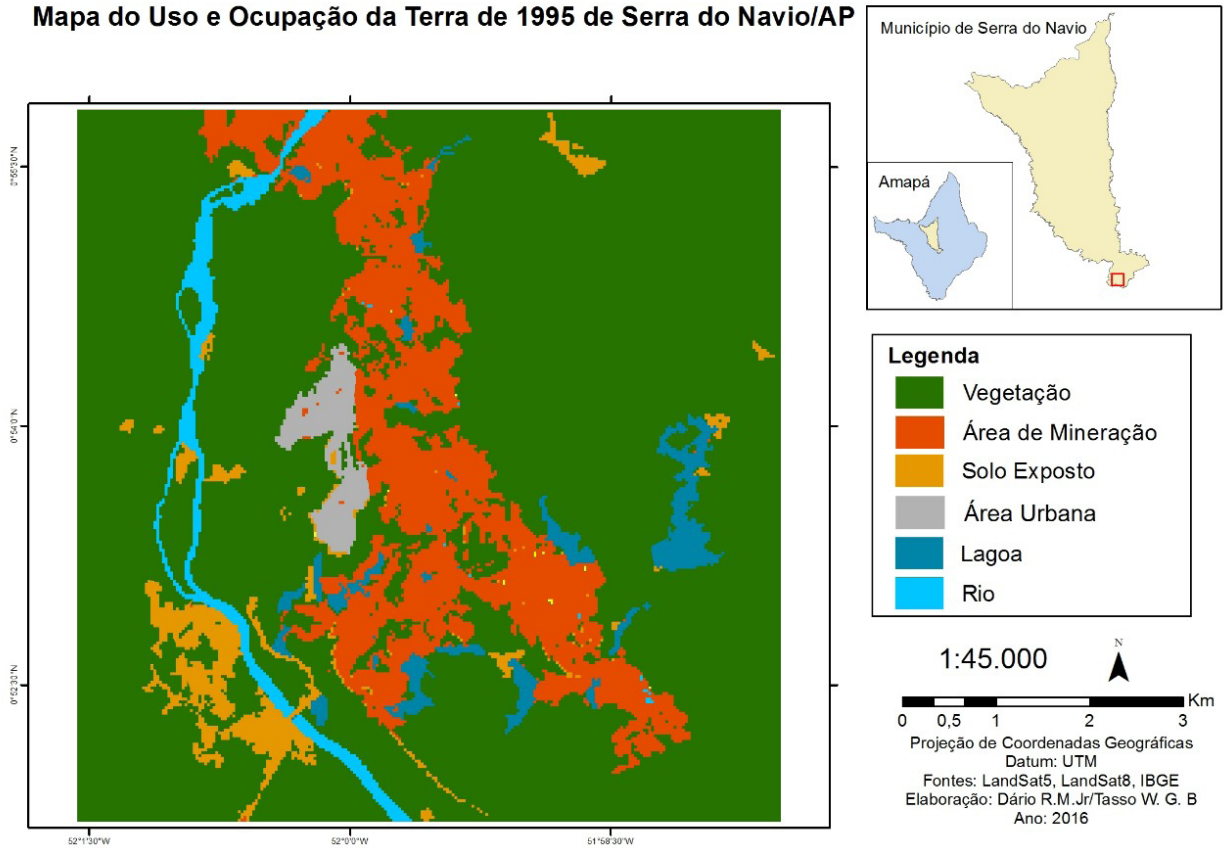


Figura 4: Imagens classificadas de 1995

Mapa do Uso e Ocupação da Terra de 2005 de Serra do Navio/AP

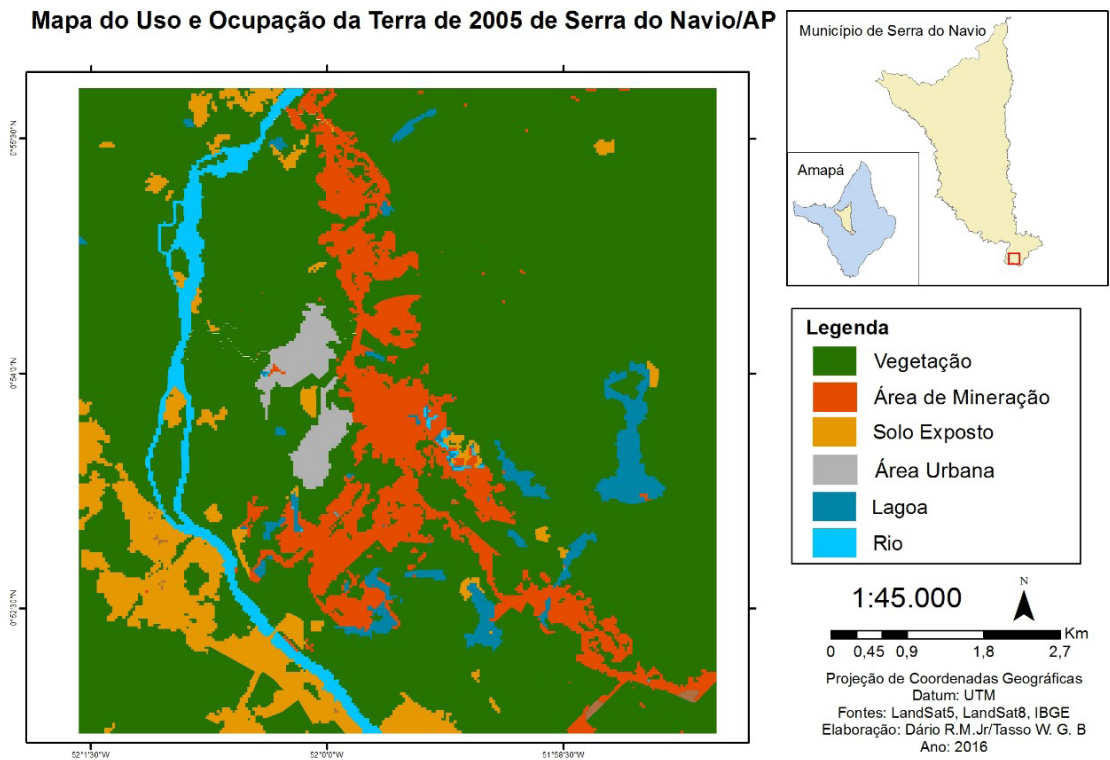


Figura 5: Imagens classificadas de 2005

Mapa do Uso e Ocupação da Terra de 2014 de Serra do Navio/AP

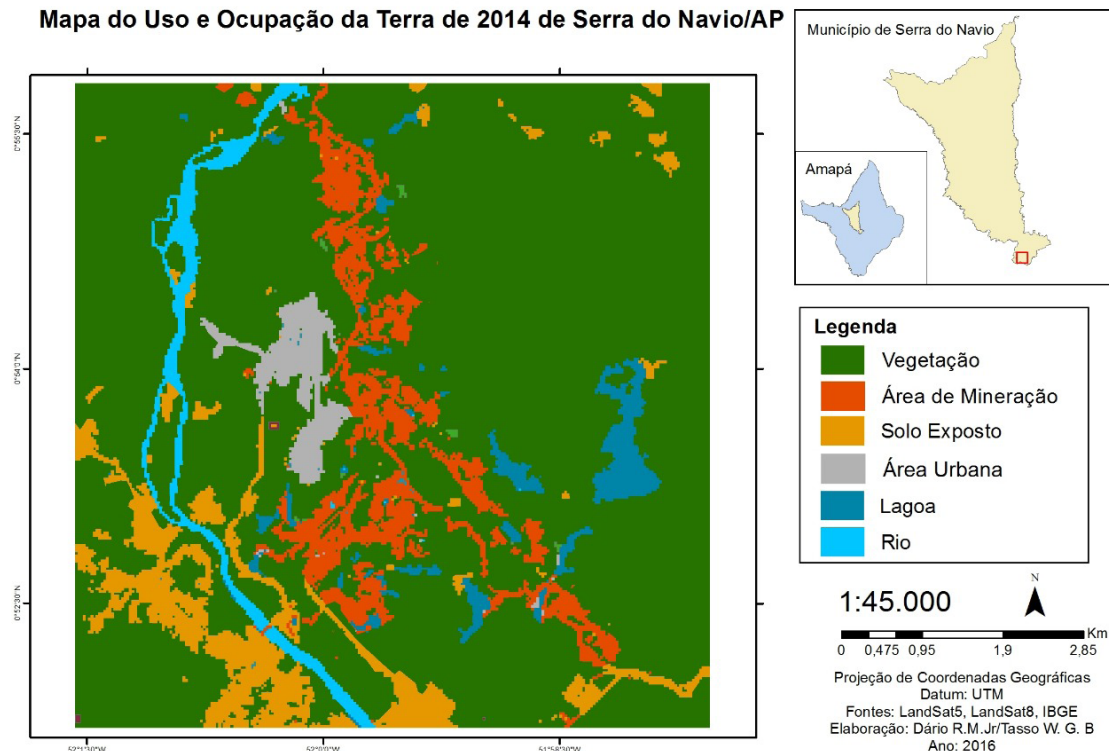


Figura 6: Imagens classificadas de 2014

Na imagem de 2014, Figura 6, no município observa a tendência ao aumento do solo exposto podendo-se inferir que é decorrente da exploração de madeira naquela região do estado do Amapá (IEPA, 2013).

Conforme consolidação do estudo das áreas de cada classe mapeada em cada imagem, conforme Tabela 1, detectou-se que no período analisado houve um aumento da área de vegetação e uma diminuição da área de mineração. Isto comprova que há uma regeneração da vegetação no município de Serra do Navio decorrente quase total desativação da atividade econômica de mineração em virtude da saída da exploração concedida a ICOMI. Além disso, houve uma diminuição das áreas de solo exposto e um aumento das áreas urbanas, mesmo já não ocorrendo exploração mineral indicando que o município geopoliticamente incorporou outras atividades que continuaram o processo de ocupação urbana, confirmando o citado na introdução, que há um processo de favelização ocorrendo.

Classes/anos	1985	1995	2005	2014
Vegetação	39.095.250 m ²	43.138.245m ²	43.985.933m ²	44.849.066m ²
Mineração	7.606.100 m ²	8.273.460 m ²	5.294.063 m ²	3.904.410 m ²
Solo exposto	7.269.448 m ²	1.915.860 m ²	3.742.883 m ²	3.907.394 m ²
Áreas Urbanas	560.000 m ²	883.500 m ²	913.900 m ²	1.228.590 m ²
Lagoas	1.054.600 m ²	1.447.741 m ²	1.472.330 m ²	1.419.300 m ²
Rio	1.337.600 m ²	1.264.500 m ²	1.519.158 m ²	1.388.545 m ²

Tabela1. Tabulação das áreas em metros quadrados de cada Classe

A partir da Tabela 1 detectou-se uma análise estatística em que se apresentou uma correlação negativa significativa de -0,7 entre as áreas de mineração e de vegetação comprovando novamente que ao longo do tempo com a desativação da exploração de minério de manganês se reconstituiu a vegetação. Além disso houve uma correlação positiva significativa de 0,9 entre a vegetação e área urbana e uma correlação negativa significativa de -0.6 entre a área urbana e solo exposto. Isto mostra que as áreas urbanas do município de Serra do Navio aumentaram sobre as áreas de solo exposto que eram utilizadas para as áreas agrícolas (BRITO, 1994).

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do uso de imagens de satélite consegue-se realizar a delimitações das regiões de impacto ambiental causados pela mineração. Além disso, a resolução temporal consegue apresentar a dinâmica da paisagem ao longo do tempo. Neste estudo numa análise de vinte e nove anos ficou claro que os efeitos da mineração ficaram evidentes na paisagem. No trabalho de campo ficou evidente os efeitos de mineração na cidade onde há indícios da falta de políticas públicas ambientais para a conservação e recuperação de áreas degradadas para além da falência do modelo econômico de mineração no município e o surgimento de outras atividades econômicas que reverterem a paisagem do status natural para o urbanizado.

6 | AGRADECIMENTOS

Especial agradecimento à Universidade Federal de Goiânia (UFG-IESA), por intermédio do Programa de Doutorado em Geografia e à Universidade Federal do Amapá, por intermédio dos Cursos de Geografia-Bacharelado e Arquitetura e Urbanismo, além do Programa de Auxílio ao Pesquisador (PROPEV).

REFERÊNCIAS

- ANDREWS, D. S.; SOENYINK, J. Geometry in GIS is not combinatorial: segment intersection for polygon overlay. Proceedings of the eleventh annual symposium on Computational geometry. ACM, 1995. p. 424-42 , In: Curran, P.J. **Principles of remote sensing**. London: Logman Scientific, 1985. 260 p.
- ARAÚJO, C. A. S.. **Aplicações de técnicas de sensoriamento remoto na análise multitemporal do ecossistema manguezal na Baixada Santista, SP**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2010.
- BRITO, D. M. C. **Extração Mineral na Amazônia: a experiência da exploração de manganês da Serra do Navio no Amapá**. Dissertação (Mestrado). Belém, NAEA-Universidade Federal do Pará, 1994.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. Edgard Blücher, 1999.

CREPANI, E. et al. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 1996.

FORNECK, E. D. **Estrutura e dinâmica da expansão florestal em mosaico natural de floresta-savana: da ecologia de comunidades de espécies lenhosas à ecologia de população de plântulas de *Murcia palustres* d.C. (Myrtaceae) no morro Santana**. Tese (Doutorado) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2007.

IBGE. **Censo 2010**. Disponível em:<<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Consultado em: 05 maio. 2016.

INSTITUTO ESTADUAL DE PESQUISA DO AMAPÁ -IEPA. **Atlas: Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Amapá. Macapá: IEPA-ZEE, 2013**. 1 atlas (44p.): 8 mapas, color. Escala 1:700 000.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Oficina de Textos, 2009.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.) **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: CNPq, 2012. 266 p.

MERRY, F. et al. **Balancing conservation and economic sustainability: the future of the Amazon timber industry**. *Environmental Management*, v. 44, n. 3, p. 395-407, 2009.

MORAIS, R. P.; CARVALHO, T.M. **Aspectos dinâmicos da paisagem do lavrado, nordeste de Roraima**. *Revista Geociências*, v. 34, n.1, p. 55-68, 2013.

NEPSTAD, D. et al. **The end of deforestation in the Brazilian Amazon**. *Amazon Science*, v. 326, n. 5958, p. 1350-1351, 2009.

SOARES-FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica**. 1998. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STICKLER, C. M. et al. **The potential ecological costs and cobenefits of REDD: a critical review and case study from the Amazon region**. *Global Change Biology*, v. 15, n. 12, p. 2803-2824, 2009.

TOSTES, J. A.; Barrozo, J. M.; CORDEIRO, N. F.; REZENDE, T. G. **Serra do Navio: o mito da cidade no meio da selva**. Disponível em:< <http://www.anppas.org.br/>> Acesso em: 9 abr. 2016.

TROLL, C. **Die geographische Landschaft und ihre Erforschung**. Springer Berlin Heidelberg, 1950. p. 163- 181.

TURNER, M. G. **Landscape ecology: the effect of pattern on process**. *Annual review of ecology and systematics*, p. 171-197, 1989.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H.; O'NEILL, R. V. **Landscape ecology in theory and practice: pattern and process**. Springer Science & Business Media, 2001.

TURNER, M. G. **Landscape ecology: what is the state of the science?**. *Annual review of ecology, evolution, and systematics*, p. 319-344, 2005.

WATANABE, M. **Análise integrada da paisagem da bacia do rio Mutum-Paraná (RO)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Rondônia – UFR, 2011.

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DAS GEOFORMAS FLUVIAIS DO BAIXO CURSO DO RIO DOCE COM O AUXÍLIO DE IMAGENS ORBITAIS LANDSAT 8 - LINHARES, ES

Andressa Padovani Gil

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Vitória - ES

André Luiz Nascentes Coelho

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES
Vitória - ES

RESUMO: A água desempenha um papel importante como agente transformador da paisagem. Os processos fluviais de erosão, transporte e deposição são interdependentes e interligados como componentes de um sistema de bacias hidrográficas, cujas ações promovidas interferem direta ou indiretamente nesses processos (ênfatizando, neste ponto, mudanças de uso e ocupação da terra promovidas por atividades antrópicas). Assim, este trabalho tem como objetivo mapear e analisar o comportamento das formas terrestres fluviais presentes no canal principal do curso inferior do rio Doce (Linhares / ES / Brasil) durante os períodos de baixa-mar, normal e plena, correlacionando os fatores temporais e processos que ocorrem a montante da área de estudo, o curso superior e médio do rio. Como objetivos específicos, buscou-se verificar a contribuição do uso integrado de sistemas de informação geográfica (SIG) e produtos de sensoriamento remoto (neste caso, imagens do satélite Landsat 8) para o estudo e compreensão

da dinâmica do processo fluvial. A metodologia mostrou-se altamente satisfatória, fornecendo uma visão geral de toda a área analisada, a identificação e contagem de formas de relevo. Identificamos mudanças na presença de tais características para os três períodos diferentes, refletindo a variabilidade sazonal da dinâmica dos rios, e destacamos a importância de uma abordagem sistêmica que considera a bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento. Assim, a metodologia foi estabelecida como uma ferramenta importante para auxiliar no desenvolvimento de metodologias adequadas de gestão e planejamento ambiental, minimizando os impactos ambientais negativos. **PALAVRAS-CHAVE:** dinâmica fluvial, planejamento ambiental, sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica.

ABSTRACT: Water plays an important role as transforming agent of the landscape. The fluvial processes of erosion, transport and deposition are interdependent and interconnected as components of a river basin system, whose actions promoted inside interfere directly or indirectly in these processes (emphasizing, in this point, changes of use and occupation of land promoted by anthropogenic activities). Thus, this paper aims to map and analyze the behavior of fluvial landforms present in the main channel of the lower course of the Doce river (Linhares /

ES / Brazil) during periods of low tide, normal and full, correlating the temporal factors and the processes occurring upstream of the study area, the upper and middle course of the river. As specific objectives, we sought to verify the contribution of the integrated use of geographic information systems (GIS) and remote sensing products (in this case, images from satellite Landsat 8) for the study and understanding of the dynamics of fluvial process. The methodology proved to be highly satisfactory, providing an overview of the whole analyzed area, the identification and counting of landforms. We identified changes in the presence of such features for the three different periods, reflecting the seasonal variability of river dynamics, and highlighted the importance of a systemic approach that considers the river basin as a planning unit. Thus, the methodology was established as an important tool to aid in the development of suitable management and proper environmental planning methodologies, minimizing negative environmental impacts.

KEYWORDS: River dynamics, environmental planning, remote sensing, geographic information systems.

1 | INTRODUÇÃO

Os rios constituem-se como principais agentes no transporte de materiais intemperizados das áreas mais elevadas para as mais baixas, e dos continentes para o mar. (CHRISTOFOLETTI, 1980). Fatores como a frequência e distribuição das precipitações, a estrutura geológica, as condições topográficas, os diferentes tipos de usos do solo e cobertura vegetal influenciam a formação do material intemperizado na bacia, que constituirá a carga detrítica a ser transportada pelos rios (CHRISTOFOLETTI, 1981). Por sua vez, a capacidade de transporte de um rio depende de fatores como a velocidade das águas e a densidade e granulometria da carga erodida: quando a velocidade do fluxo se reduz, as partículas maiores são depositadas, enquanto as menores permanecem em movimento (NOVO, 2008).

Os processos fluviais atuantes ao longo do curso do rio definirão o tipo do canal, que pode ser classificado, de modo geral, como retilíneo, anastomosado ou meandrante. Neste estudo de caso destaca-se o padrão anastomosado, formado quando o rio não possui capacidade de transportar a carga sedimentar presente, depositando-a no próprio leito, fazendo com que o mesmo se ramifique em múltiplos canais que se subdividem e se reencontram, separados por ilhas ou barras arenosas, que podem ficar submersas durante períodos de cheia (CUNHA, 2005; CHRISTOFOLETTI, 1980).

Cunha (2003) destaca que as mudanças no uso e ocupação do solo, tais como desmatamento e crescimento de áreas urbanas, reduzem a capacidade de infiltração do solo e aumentam o escoamento superficial, promovendo a erosão hídrica. Este processo resultará num maior volume de sedimentos a serem depositados na calha fluvial, contribuindo para o assoreamento dos rios e, conseqüentemente, para a ocorrência de enchentes nas planícies de inundação nos períodos de cheia do rio.

A utilização integrada de produtos de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas (SIG) proporciona uma visão de conjunto de extensas áreas da superfície terrestre, possibilitando o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente (COELHO et. al, 2011; FLORENZANO, 2007). Ainda, Novo (2008) destaca a utilização de imagens temporais para estudos hidrológicos, possibilitando a análise de processos e formas resultantes em períodos distintos do ciclo hidrológico (vazante e cheia).

Neste cenário, o presente artigo tem como principal objetivo analisar o comportamento das geoformas fluviais no baixo curso do rio Doce em seus períodos de vazante, normal e cheia, correlacionando os fatores temporais. Como objetivos específicos, o estudo pretende: verificar a contribuição de produtos de sensoriamento remoto para o estudo e compreensão da dinâmica dos processos fluviais; realizar uma análise integrada dos fatores socioambientais da região; difundir a aplicação do uso integrado de sistemas de informações geográficas e produtos de sensoriamento remoto para estudos geográficos e como auxílio à tomada de decisões, possibilitando um melhor ordenamento de áreas como a estudada.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi dividido em duas principais etapas, sendo a primeira, revisão bibliográfica e consulta dos dados de cotas (em centímetros) do canal principal do rio Doce da estação Corpo de Bombeiros, localizada no município de Colatina, a montante da área de estudo, código 56994510 (ANA, 2014); pesquisas referentes à caracterização da área de estudo, tais como mapas geológicos, geomorfológicos e pedológicos do Projeto Radambrasil, volume 32 (1983). Segunda, aquisição de imagens do satélite Landsat 8 no Serviço Geológico Americano (USGS, 2014), correspondentes aos períodos de vazante (data de passagem 07 de agosto de 2014), de normal (passagem em 30 de abril de 2013) e de cheia do rio (passagem em 26 de dezembro de 2013); além de bases cartográficas (planos de informação) no formato *shapefile* (IJSN 2010; ANA 2009) referentes aos limites municipais do estado, limites entre os bairros, rodovias, malha viária e cursos d'água.

Os mapeamentos e processamento dos dados vetoriais e matriciais foram realizados no ambiente SIG ArcGIS 10.2.2, iniciando com a adição dos Planos de Informações do Município e adjacências que foram ajustados, quando necessário, no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum SIRGAS-2000, Zona 24 sul. A organização dos dados raster iniciou-se com o georreferenciamento (*georeferencing*) e retificação geométrica das imagens de cada período com os Pontos de Controle Terrestres (PCTs). Feito isso, prosseguiu-se o processo de composição de bandas (*composit bands*) com as imagens dos três períodos, com as bandas 1 a 4 na combinação R (4), G (3), B (2) para a composição da cor natural e posteriormente da

técnica de fusão de imagem (*pan sharpening*), que consiste, basicamente, em integrar a melhor resolução espacial de 15 metros da banda pancromática preservando o conteúdo / cor da imagem composta. A composição em cor natural foi realizada com o intuito de poder distinguir as barras arenosas das ilhas vegetadas no canal do rio.

O próximo passo foi a realização do processo de interpretação visual comparando as três imagens Pan, considerando elementos básicos como tonalidade/cor, forma, textura e padrão, conforme proposta de Jensen (2009). Após este procedimento, realizou-se o processo de análise e contagem das barras arenosas e ilhas vegetadas presentes na calha principal do rio nos três momentos distintos conforme metodologia de Coelho (2007). Para uma contagem precisa, foi criado um total de seis planos de informações no formato de pontos, sendo dois para cada período analisado: um para as barras arenosas, e outro para as ilhas vegetadas. Através da função de edição vetorial, foram adicionados pontos em todas as barras e ilhas (em seu plano de informações respectivo) verificadas nos três períodos, sendo que o total de pontos pôde ser verificado posteriormente no banco de dados do plano de informação. A nuvem de pontos resultante pode ser observada para os períodos de vazante e cheia na Figura 1. A classificação em barras arenosas levará em conta todos os depósitos arenosos desprovidos de vegetação localizados no canal, independente de sua posição no mesmo (no centro ou nas laterais).

2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A Bacia do Rio Doce encontra-se inserida na Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste, possui uma área de drenagem de 83.465 km² com 14% pertencente ao Estado do Espírito Santo e 86% ao Estado de Minas Gerais (COELHO, 2007). A área estudada corresponde ao baixo curso do rio Doce até sua foz, na porção do município de Linhares, Espírito Santo.

Segundo relatórios diagnósticos da bacia hidrográfica do rio Doce (CBH-Doce, 2005) processos de desmatamento, erosão e assoreamento são problemas graves. As regiões com maior produção de sedimentos situam-se nos trechos de grandes declividades do alto e médio curso do rio Doce, no estado de Minas Gerais, onde as elevadas concentrações de chuvas juntamente com outros fatores desencadeiam a erosão. Há que se ressaltar, ainda, que a vulnerabilidade natural à erosão intensifica-se a partir da ação antrópica, através do desmatamento extensivo realizado ao longo de décadas passadas (COELHO, 2007).

Do ponto de vista geomorfológico, a área do município de Linhares possui três principais unidades de relevo (COELHO, 2007):

- Tabuleiros costeiros, onde se encontra a maior parte da sede do município, caracterizada por feições predominantemente aplainadas e depósitos de sedimentos constituídos de areias e argilas, além da presença de lagoas originadas em função da oscilação do nível do mar, ocasionando barramento

dos cursos fluviais por depósitos quaternários;

- Planície fluvio-lacustre, que pode ser compreendida como um prolongamento da planície costeira, porém formada a partir da ação do rio, com os depósitos de sedimentos fluviais;

Planície costeira é a menor unidade geomorfológica da bacia do rio Doce, caracterizada pelas altitudes inferiores a 22 metros, correspondendo às terras baixas do litoral. Difere-se da unidade anterior por ter sua formação a partir da ação marítima.

Quanto ao clima, a área estudada enquadra-se no tipo climático Aw segundo classificação de Köppen, com chuvas de verão e inverno secos. O regime pluviométrico do município de Linhares apresenta-se com chuvas mal distribuídas, sendo a estação chuvosa nos meses mais quentes do ano (outubro a abril), e a estação seca nos meses de inverno (maio a setembro) (ICMBIO, 2013). O regime hidrológico da Bacia é perene e bem definido e, de modo geral, acompanha a pluviosidade que opera na bacia, marcado por dois períodos: um de cheia com os níveis máximos ocorrendo nos meses de dezembro, janeiro e março apresentando médias mensais superiores a 1.250 m³/s; e um de vazante, a partir de abril, atingindo mínimas extremas nos meses de agosto a setembro com valor médio mensal inferior a 370 m³/s, na estação Fluviométrica de Colatina (COELHO, 2007).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, observa-se o recorte da área de estudo com as imagens dos períodos de vazante e de cheia, respectivamente, apresentando as nuvens de pontos criadas para as barras arenosas, na cor verde, e para as ilhas vegetadas, na cor vinho. Não foi apresentado o período normal, pois nesta escala (1:300.000) as diferenças entre os períodos de normal e vazante são imperceptíveis. Foi analisado todo o trecho do rio apresentado na figura 1 abaixo, e em amarelo destacam-se os Segmentos 1 e 2, que foram analisados em maior escala para melhor visualização.

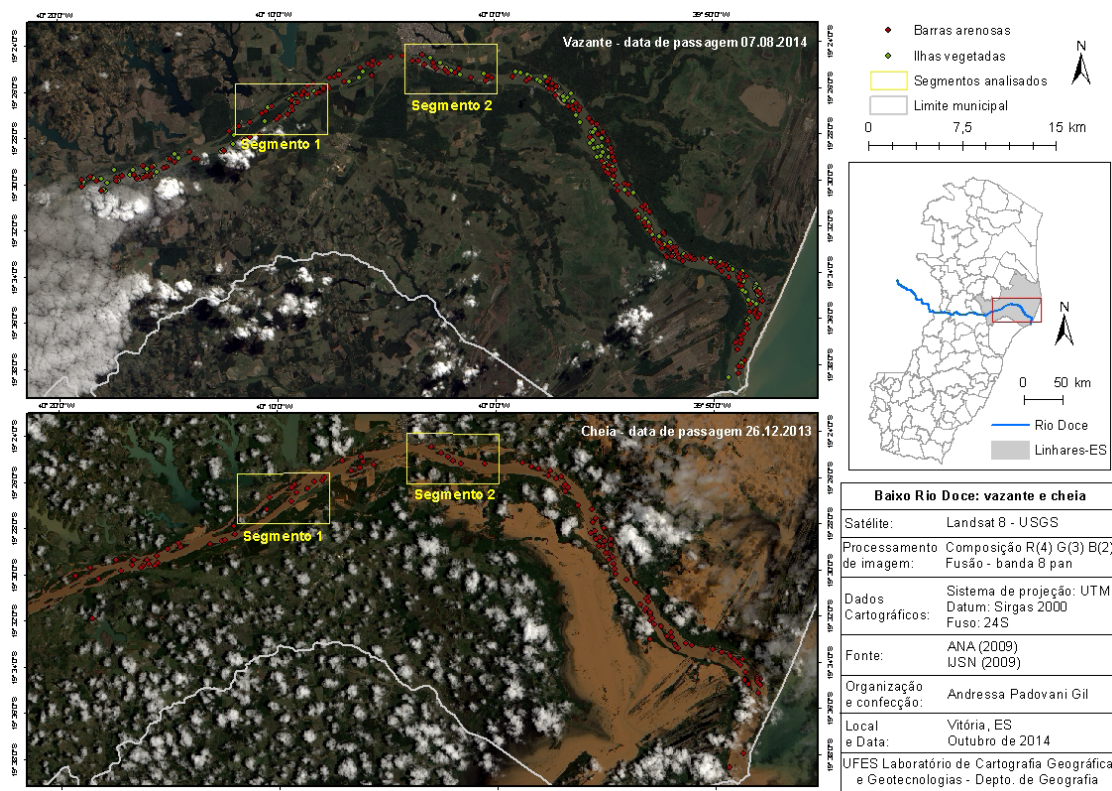


Figura 1 - Área de estudo nos períodos de vazante e cheia, destacando as nuvens de pontos para as barras arenosas (cor verde) e para as ilhas vegetadas (cor vinho), e os segmentos 1 e 2 (retângulos amarelos). Organização e confecção: Andressa P. Gil - 2014.

Conforme já mencionado, os processos de intensa erosão que ocorrem nas regiões do alto e médio curso do rio Doce desencadeiam uma expressiva produção de sedimentos, onde as declividades são altas, o que faz com que os sedimentos sejam transportados com eficiência para jusante. Segundo relatórios do Comitê de Bacia Hidrográfica do rio Doce (2005, 2000), o baixo curso do rio possui leito predominantemente rochoso, fluindo com declividades menores até desaguar no oceano atlântico.

Novo (2008) destaca que a maior parte do material em suspensão de um rio deposita-se nas seções onde o gradiente do canal é pequeno, o que pode ser observado neste estudo de caso, onde o assoreamento é expressivo no baixo curso do rio Doce. Indica-se que o grande aporte de sedimentos recebido de montante, ao se deparar com declividades menores, começa a se depositar no leito do rio. O acúmulo de sedimentos, por sua vez, desencadeia um processo de criação de feições geomorfológicas no leito do rio como barras e ilhas de sedimentos, que constituem-se como obstáculo para a eficiência do fluxo de água, dificultando ainda mais sua capacidade de transporte e facilitando a deposição sedimentar.

Segundo estudos realizados por Bandeira Jr. & Suguio (1975, apud SUGUIO E BIGARELLA, 1990) o rio Doce (ES) mudou seu padrão de canal, de meandrante para anastomosado (situação atual) nos últimos milênios. A partir da análise das imagens dos três períodos diferentes do rio (vazante, normal e cheia), identificou-se a

presença de barras arenosas nos períodos de vazante e de normal, e a presença de ilhas vegetadas nos três períodos, inclusive no de cheia. Na Tabela 1 abaixo seguem as quantidades de barras arenosas e ilhas vegetadas encontradas em cada um dos períodos:

Período da imagem	Quantidade de barras arenosas	Quantidade de ilhas vegetadas	Cota registrada no dia* (cm)
Vazante - 07.08.2014	202	141	49,23
Normal - 30.04.2013	103	141	123
Cheia - 26.12.2013	0	121	663,67
*Cotas registradas na estação Corpo de Bombeiros, à montante da área de estudo, no município de Colatina.			

Tabela 1 - Quantificação das barras arenosas e ilhas vegetadas encontradas nos três períodos.
Organização: Andressa P. Gil.

É importante destacar o evento de cheia de dezembro de 2013, mês que registrou o maior volume de precipitações dos últimos 90 anos (INCAPER, 2014) e consequentemente a maior cheia do rio Doce registrada, considerando toda a série histórica de dados disponível, segundo dados da Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2014¹). Em contrapartida, de acordo com notícias divulgadas pelo jornal A Gazeta em 15/09/2014 (GAZETA, 2014), o ano de 2014 vem apresentando uma das piores secas do rio Doce dos últimos 70 anos, segundo análise feita pela CPRM. Analisando dados do 5º relatório de “Acompanhamento da estiagem na região sudeste do Brasil” (CPRM, 2014²), destaca-se que a vazão do rio Doce medida em agosto de 2014 (214,64m³/s) na estação Colatina, a montante do município de Linhares, é menor que a vazão mínima da série histórica medida até o ano de 2013 (217 m³/s), quando o rio apresentou uma cota de 35 cm (no dia 31 de agosto de 2014).

O período normal analisado refere-se a abril de 2013, mês de transição entre os períodos chuvoso e seco da área estudada. Destaca-se que a imagem utilizada é anterior a cheia de dezembro do mesmo ano, apresentando em seu leito barras arenosa e ilhas vegetadas por ser um rio impactado por expressiva erosão e assoreamento ocorridos na área de sua bacia.

O período analisado de cheia refere-se ao mês de dezembro de 2013, época de chuvas expressivas na área de estudo, na qual se registrou um evento excepcional que não ocorria em muitos anos. Observou-se que as barras arenosas, constituídas de detritos móveis e caracterizadas por sua baixa permanência e instabilidade, ficaram emersas e sujeitas a variações em suas formas e tamanhos. Apenas algumas das ilhas vegetadas ficaram submersas neste evento de cheia e nenhuma foi transportada pela ação das águas, por serem mais fixas ao fundo do leito e consequentemente mais estáveis, além da presença de vegetação, que dificulta a erosão e o carreamento das mesmas (NOVO, 2008; CUNHA, 2005). Christofolletti (1981) afirma ainda que a principal fase de movimentação e deposição detrítica nos canais anastomosados

ocorre durante períodos de cheia.

Por fim, o período de vazante escolhido corresponde ao mês de agosto de 2014, estação seca da área estudada. À expressiva estiagem que ocorre desde o início do ano de 2014, soma-se o elevado aporte sedimentar promovido pela última cheia que precedeu este período de vazante analisado.

Comparando as imagens do período normal e de vazante, constatou-se um surgimento expressivo de novas barras arenosas presentes no leito do rio, de diferentes formas e tamanhos: algumas bem pequenas, outras médias. Em sua grande maioria, observou-se que estas tiveram origem anexas às margens do rio ou às ilhas vegetadas, poucas foram as barras que surgiram no meio do canal.

Também verificou-se uma ampliação significativa de barras já existentes, fato este que, em alguns trechos, levou a conexão de ilhas vegetadas que encontravam-se separadas no período normal. Notou-se também o transporte e/ou desaparecimento de algumas barras arenosas que podiam ser observadas no período normal, e foram deslocadas no período de vazante. No Segmento 1, Figura 2, apresentam-se alguns destes exemplos citados acima.

A Figura 3, do Segmento 2, apresenta mais uma vez o surgimento e ampliação de barras arenosas e o transporte de algumas. Neste ponto destaca-se à margem esquerda do rio Doce, no ponto 4, o transbordamento das águas do rio no período de cheia que inundou um conjunto habitacional construído na área de planície de inundação do rio.

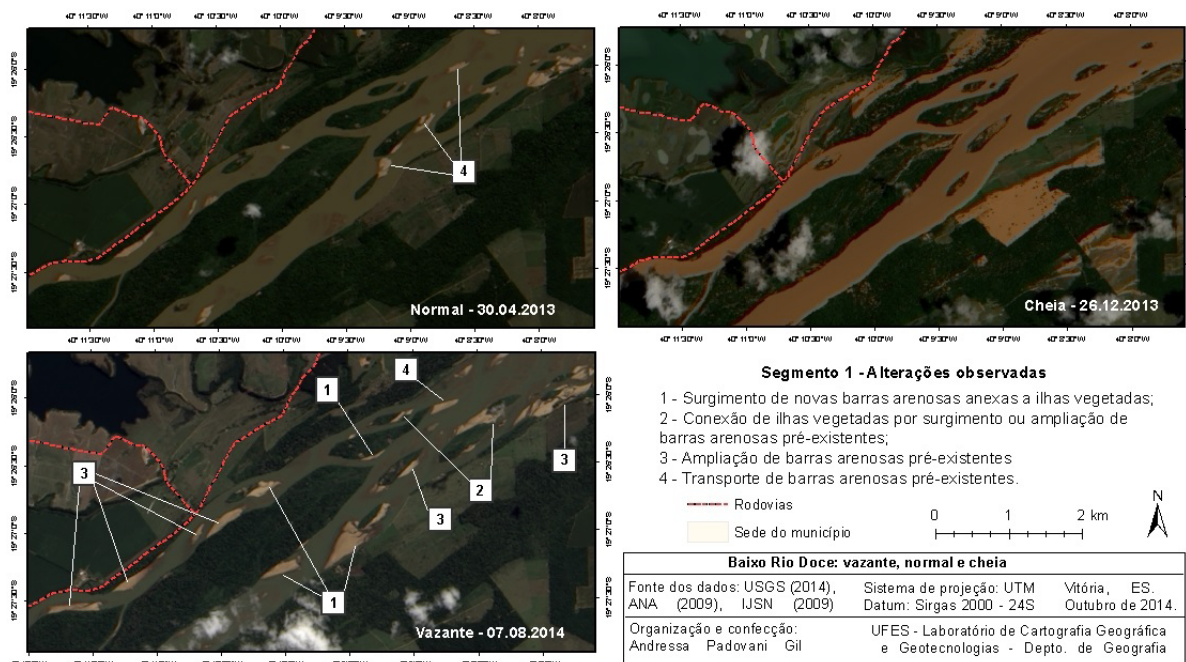


Figura 2 - Segmento 1 analisado em maior escala, destacando as alterações observadas nas feições geomorfológicas do rio Doce nos três períodos distintos. Organização e confecção: Andressa P. Gil - 2014.

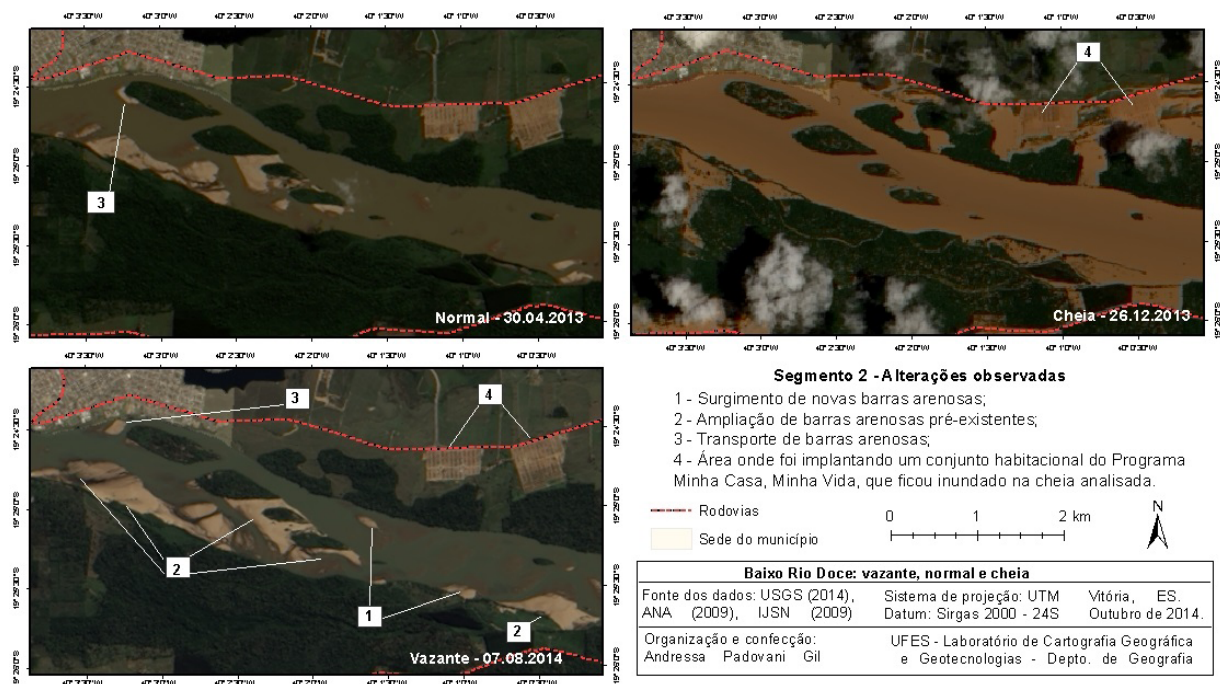


Figura 3 - Segmento 2 analisado em maior escala, destacando neste a inundação de um conjunto habitacional à margem esquerda. Organização e confecção: Andressa P. Gil - 2014.

Dados do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce revelam que os processos de ocupação e crescimento econômico na área da bacia aconteceram de forma totalmente desordenada, em especial nos últimos 50 anos, sem levar em conta possíveis reflexos futuros desta ocupação (CBH-DOCE, 2000). Somado à vulnerabilidade natural à erosão, as diversas atividades econômicas que ocorrem em seu interior causaram profundas modificações no sistema da bacia. Exploração mineral, atividades industriais diversas, pecuária, agricultura, entre outros, e o conseqüente desmatamento e erosão dos solos contribuíram, ao longo dos anos, para o processo de assoreamento de diversos cursos d'água da bacia, em especial do rio Doce. Destaca-se também, no estado mineiro, a presença de importantes usinas hidrelétricas, cujos represamentos desencadeiam diversos impactos socioambientais, dentre os quais se pode citar o assoreamento dos cursos d'água (COELHO, 2007; CUNHA, 1995).

A identificação das feições geomorfológicas presentes na calha dos rios pode contribuir significativamente para a compreensão da dinâmica de processos fluviais atuais responsáveis pelo seu desenvolvimento e evolução do comportamento e auto ajuste do canal, diante das modificações promovidas no sistema hidrográfico (HINGEL E MARÇAL, apud KLEINA, 2013). Também, tais estudos podem contribuir na elaboração de metodologias adequadas ao manejo dos cursos d'água e de ambientes fluviais como um todo, visando um planejamento na escala de bacia hidrográfica. Conhecendo a dinâmica fluvial e ambiental do local, possibilita-se um ordenamento socioambiental adequado, minimizando os impactos negativos ao meio ambiente e à própria sociedade, a exemplo dos casos de ocupação em áreas suscetíveis a acidentes naturais, como no caso do conjunto habitacional destacado neste estudo,

implantado na planície de inundação do rio Doce.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, evidenciou-se a interdependência entre os processos de erosão, transporte e deposição de um sistema hídrico e a relação destes processos com a dinâmica socioambiental da bacia hidrográfica como um todo, destacando a grande importância das intervenções antrópicas como agentes transformadores do ambiente, em especial aos tipos de uso e ocupação do solo. Reforça-se a importância de uma abordagem sistêmica da paisagem e de planejamentos baseados em escala de bacias hidrográfica, visto que as ações realizadas dentro destas repercutem direta ou indiretamente no ambiente como um todo, tendo o rio um papel importante como modelador e transformador da paisagem.

As técnicas integradas de sistemas de informações geográficas e produtos de sensoriamento remoto, neste caso imagens orbitais, possibilitam a visualização, análise e acompanhamento de sistemas ambientais (tais como bacias hidrográficas). A metodologia utilizada com imagens do satélite Landsat 8 mostrou-se satisfatória na identificação das feições geomorfológicas presentes na calha principal do rio Doce, constituindo-se como importantes ferramentas de auxílio para a tomada de decisões e melhor ordenamento socioambiental de áreas como a estudada.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional das Águas. Planos de informação - formato *shapfile*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?Tocltem=4100>>. Acesso em: 05 out. 2014.

ANA - Agência Nacional das Águas: hidroweb, dados de séries históricas, 2014. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 05 out. 2014.

COELHO, A.L.N. **Alterações hidrogeomorfológicas no médio-baixo Rio Doce / ES**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia, Área de concentração: Ordenamento Territorial Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007.

COELHO, A. L. N.; RAMOS, A. L. D.; BERGAMASCHI, R. B. Uso Imagens Temporais CBERS-2B/ CCD para Zoneamento de Área Sazonalmente Inundável no Município de Piúma - ES: uma proposta metodológica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, XV, 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos**. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0381.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2014.

CPRM¹ - Serviço Geológico do Brasil. CPRM divulga balanço do monitoramento das Cheias do Rio Doce. 24 de janeiro de 2014. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?infoid=2975&sid=48>>. Acesso em: 10 out. 2014.

CPRM² - Serviço Geológico do Brasil. **Acompanhamento da estiagem na região sudeste do Brasil - relatório 5**. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/arquivos/pdf/dehid/RT05_Estiagem_BH.pdf>. Acesso em: 10 out. 2014.

CUNHA, S.B. Canais fluviais e a questão ambiental. In: CUNHA, S.B; GUERRA, A.J.T.. (Orgs.) **A Questão Ambiental: Diferentes Abordagens**. 1. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. p. 219-238.

CUNHA, S.B. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. (Orgs.) **Geomorfologia uma Base de Atualização e Conceitos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 211-252.

CUNHA, S.B. **Impactos das obras de engenharia sobre o ambiente biofísico da bacia do rio São João (Rio de Janeiro - Brasil)**. Rio de Janeiro: Ed: Instituto de Geociências, UFRJ, 1995. 378p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce). **Caracterização da Bacia, 2010**. Disponível em <http://www.riodoce.cbh.gov.br/bacia_caracterizacao.asp>. Acesso em: 05 out. 2014.

Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (CBH-Doce). **Diagnóstico Consolidado da Bacia, 2005**. Disponível em: <<http://www.riodoce.cbh.gov.br/Diagnostico2005/diagnostico.pdf>>. Acesso em: 05 out. 2014.

FLORENZANO, T.G. Uso de Imagens no Estudo de Fenômenos Ambientais in: **Iniciação em Sensoriamento Remoto: Imagens de satélites para estudos ambientais**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. p. 57 - 65.

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Plano de Manejo da Floresta Nacional de Goytacazes**. Vitória, Janeiro de 2013.

IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves. Planos de informação - formato *shapefile*. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/Sitio/index.php?option=com_content&view=article&id=3780&Itemid=330>. Acesso em: 05 out. 2014

INCAPER - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural. Balanço das chuvas no Espírito Santo. Disponível em: <hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/?pagina=ultimasnoticias>

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

KLEINA, M. Estilos fluviais do rio Sagrado (Morretes/PR): análise comparativa dos anos de 2006 e 2011. 2013. 60 F. Monografia (Graduação em Bacharelado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes fluviais. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. P.219-246.

Rio Doce tem uma das piores secas em 70 anos e causa prejuízos no ES. Gazeta On Line, Espírito Santo, 15 set. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/espírito-santo/noticia/2014/09/rio-doce-tem-uma-das-piores-secas-em-70-anos-e-causa-prejuizos-no-es.html>>. Acesso em 10 out. 2014.

SUGIO, K.; BIGARELLA, J.J. Ambientes Fluviais. 2. ed. Florianópolis: Editora UFPR, 1990.

USGS - United States Geological Survey - **Imagens do satélite Landsat-8 - câmera/sensor OLI/TIRS, Órbita 215, ponto 074**, datas de passagem 30/04/2013, 26/12/2013 e 07/08/2014. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 02 out. 2014.

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA OCUPAÇÃO DA ÁREA E ENTORNO DO PARQUE MUNICIPAL DUNAS DE ABRANTES, CAMAÇARI - BAHIA

Luiz Felipe Moura Bastos Borges

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geografia
Salvador - Bahia

Desiree Alves Celestino Santos

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geografia
Salvador - Bahia

Fábia Antunes Zaloti

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geografia
Salvador - Bahia

Saulo Medrado dos Santos

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geografia
Salvador - Bahia

Dária Maria Cardoso Nascimento

Universidade Federal da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia
Salvador – Bahia

RESUMO: O Parque Municipal Dunas de Abrantes (PMDA) possui uma área de 6,869 Km², localizado no município de Camaçari – Bahia. Por situar-se na faixa costeira, desde a década de 80 o PMDA vem sofrendo com processo de urbanização potencializado pela pressão imobiliária à procura de locais de lazer, recreação, turismo e bem-estar social. O uso de sensoriamento remoto permitiu realizar

um mapeamento espaço-temporal do PMDA utilizando imagens orbitais datadas de 1984 e 2016, no qual o principal objetivo era classificar os diferentes tipos de uso e cobertura da terra destacando as implicações do processo de ocupação no PMDA e entorno. A identificação e interpretação das classes de mapeamento procedeu-se por processamento digital em ambientes de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), baseado nos trabalhos realizados por Anderson et al (1979), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2013), Borges (2014) e visita de campo. Constatou-se que as áreas urbanas tiveram um crescimento de 130% quando ocupava 7,69 Km² em 1984 para 17,7 Km² em 2016, conseqüentemente as áreas recobertas por dunas decresceram 2,92 Km² o equivalente a 38,13%. Verificou-se que devido ao intenso processo de ocupação diversos conflitos ambientais se instalaram no PMDA e entorno tendo em vista despejo de resíduos sólidos e líquidos em ambientes dunares e lagunares, extrativismo de areias das dunas, aterramento das lagoas, dentre outros.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, processamento digital, Abrantes, ocupação, dunas.

ABSTRACT: The Abrantes Dunes Municipal Park (ADMP) has an area of 6,869 square kilometers which is located in Camaçari – Bahia.

Due to be situated in the coastal strip the ADMP has been suffering from urbanization process potentiated by the real estate pressure to seek places of leisure, recreation, tourism and social welfare. The use of remote sensing allowed a spatiotemporal mapping using orbital images dated from 1984 and 2016, which the main goal was to classify the different types of land use and land cover highlighting the implications of the occupation process in the ADMP and surroundings. The identification and interpretation of mapping classes it was preceded by digital processing in Geographic Information Systems (GIS) environments, based on work carried out by Anderson et al (1979), IBGE (2013), Borges (2014) and field visits. It was found that urban areas grew by 130% when occupied 7,5 square kilometers in 1984 to 17,7 square kilometers in 2016, consequently the areas covered by dunes decreased 2,92 square kilometers the equivalent a reduction of 38,13%. It was verified that due to intense occupation process various environmental conflicts settled in ADMP and surroundings in order to dump solid and liquid residues in dunes and lagoon environments, extraction of sands dunes, backfill process of ponds, among others.

PALAVRAS-CHAVE: remote sensing, supervised classification, Abrantes-Camaçari, occupation, dunes.

1 | INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro abrange diversos ecossistemas de grande relevância, dentre os quais encontram-se as dunas, entendidas como “unidades geomorfológicas de constituição predominante arenosa, com aparência de cômodo ou colina, produzida pela ação dos ventos, situada no litoral ou no interior do continente, podendo estar recoberta, ou não, por vegetação” (CONAMA, 2002). As dunas são importantes, pois: i) são fonte de sedimento para outras regiões costeiras; ii) mitigam a erosão costeira, amenizando o efeito de ondas e tempestade; e iii) são áreas de recarga do lençol freático.

No Parque Municipal Dunas de Abrantes (PMDA) e no entorno de sua poligonal existem ecossistemas enquadradas por Lei como áreas de caráter permanente. De acordo com artigo 3º, II do Código Florestal, descreve as Áreas de Preservação Permanente (APP) como: “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (BRASIL, 2012).

São consideradas ainda áreas de APP, as matas ciliares, o entorno de lago e lagoas naturais, o entorno de nascentes, as restingas e dunas, os manguezais, as bordas de tabuleiros, dentre outras (Amado, 2013).

As áreas do PMDA estão também inseridas, em grande parte, na Zona de Vida Silvestre – ZVS da Área de Proteção Ambiental (APA) Joanes-Ipitanga (CEPRAM, 2002). A Resolução CEPRAM nº 2974/2002 dispõe que na ZVS desta APA não são

permitidos novos parcelamentos e a ocupação do solo.

A APA Joanes Ipitanga foi criada por meio do Decreto Estadual nº 7.596 de 05 de junho de 1999, e dá outras providências de competências previstas em legislação própria, especialmente na Resolução CONAMA nº10, 14 de dezembro de 1988, na qual sua resolução tratava-se em elaborar um plano de manejo, estabelecer um zoneamento ecológico-econômico, traçar limites da APA, analisar, emitir pareceres e aprovar a implantação de empreendimentos, dentre outras providências (BAHIA, 1999). A APA, portanto está associada à preservação de ambientes costeiros de restingas, dunas e lagoas, no qual apresenta uma grande e importante biodiversidade, abrigando diversas espécies da fauna e flora, e a abundância de recursos hídricos, cujo objetivo é proteger os mananciais e os ecossistemas presentes. O processo de expansão urbana e a especulação imobiliária nas áreas costeiras são algumas das causas possíveis de ameaça a estes ecossistemas, uma abordagem relevante mostrada neste trabalho que tem ocorrido de forma recorrente desde décadas pretéritas.

As imagens obtidas por meio do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Essa visão da paisagem e/ou do meio ambiente permite realizar estudos regionais e integrados, mostrando a dinâmica e a transformação destes ambientes; destacam os impactos causados por fenômenos naturais e antrópicos, como os desmatamentos, queimadas, expansão urbana, ou outras alterações do uso e da ocupação da terra (Florenzano, 2002). O sensoriamento remoto permite coletar dados da superfície que captam as energias de alvos refletidos pela mesma.

Diante do exposto, o objetivo geral deste trabalho consiste em uma análise espaço-temporal, utilizando-se imagens de satélite, com vista a investigação e implicações da ocupação no Parque Municipal Dunas de Abrantes, e seu entorno, no município de Camaçari - Bahia.

2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A área escolhida para o desenvolvimento deste trabalho corresponde uma área de 60,33 km² que abrange o PMDA e seu entorno, conforme a área hachurada da Figura 1. Localiza-se na porção sul do município de Camaçari. Este foi criado pelo Decreto Municipal nº 116, de 01 de março de 1977, com uma área de 686,94 hectares ou 6,86 km².

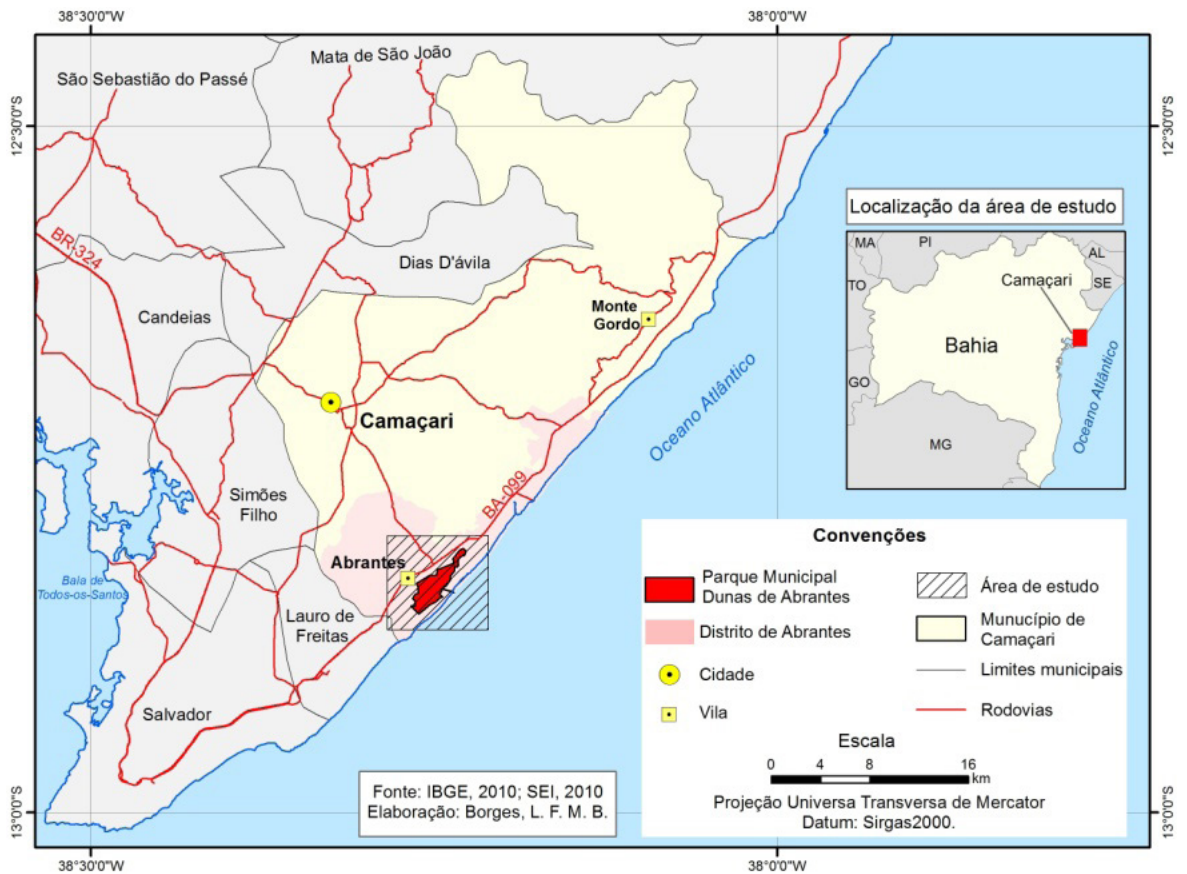


Figura 01. Localização e situação da área de estudo. Parque Municipal das Dunas de Abrantes, Camaçari – BA.

O clima atuante no município de Camaçari é do tipo Úmido, com a pluviosidade média anual de 1.976,3 mm, concentradas nos meses de fevereiro a agosto. A temperatura média anual é de 24,5 °C (SEI, 2012).

A área de estudo situa-se em uma planície costeira, recoberta por campos de dunas. A vegetação essencialmente é a de restinga, a qual de acordo com a Resolução CONAMA n° 417, de 23 de novembro de 2009, corresponde ao conjunto de comunidades vegetais, distribuídas em mosaico, associado aos depósitos arenosos costeiros quaternários e aos ambientes rochosos litorâneos, também consideradas comunidades edáficas, por dependerem mais da natureza do solo do que do clima (CONAMA, 2009). Ainda de acordo com a mesma (*op. cit*) as restingas são encontradas nos ambientes de praias, cordões arenosos, dunas, depressões e transições para ambientes adjacentes, podendo apresentar, de acordo com a fitofisionomia predominante, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado. Esta formação, apesar de estar protegida legalmente, encontra-se sujeita a descaracterização pela intensificação do processo de ocupação ao longo da área costeira, acarretando a progressiva degradação e destruição de seus componentes físicos, químicos e biológicos.

2.2 Materiais e Método

Para análise espaço-temporal da ocupação da área de estudo foi utilizada imagens de satélites Landsat 5 e 8 dos sensores *Thematic Mapper* (TM) (bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 6) e *Operational Land Imager* (OLI) (bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7), das datas de 19/07/1984 e 13/09/2016, respectivamente, orbita-ponto 215-069. O formato disponibilizado é GeoTIFF, com 8 e 16 bits (Landsat 5 e 8), na projeção cartográfica UTM no sistema geodésico de referência WGS 84. Estas imagens estão classificadas como produto nível 1 (Level 1) e são ortorretificadas. As imagens foram obtidas a partir do aplicativo na internet *Earth Explorer* (USGS, 2016).

Foram realizados os seguintes processos nas imagens de satélite *Landsat*: correção radiométrica e atmosférica, segmentação, coleta de amostra de treinamento, classificação supervisionada e o mapeamento das classes. A figura 2 ilustra os processos realizados:

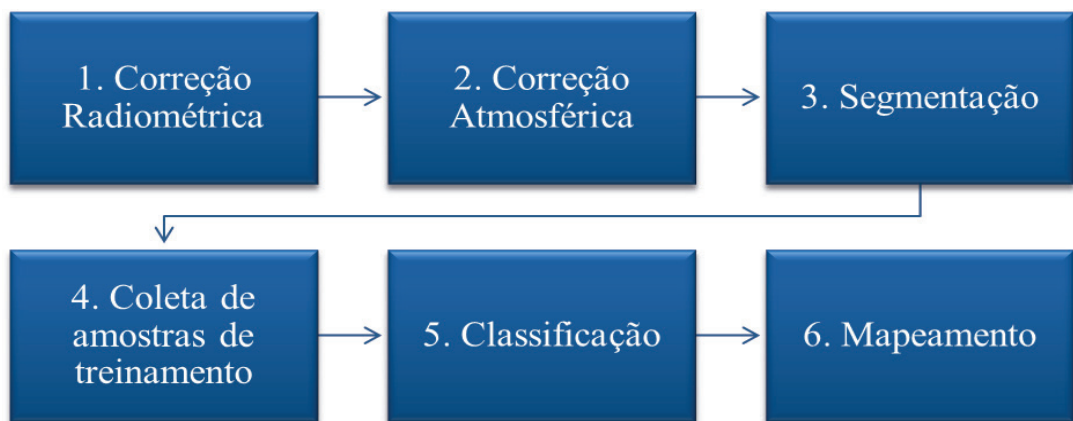


Figura 2. Fluxo dos processos de processamento das imagens de satélites.

O processo de correção radiométrica é necessário devido às imagens de diferentes bandas de um mesmo sensor, e de sensores diferentes, não estarem na mesma escala de números digitais, sendo preciso corrigir as imagens radiometricamente antes do processo de classificação, ou seja, convertê-las para imagem reflectância (Ponzoni et al, 2015).

Os parâmetros atmosféricos podem gerar interferências na medida de reflectância, sendo estes, a umidade atmosférica e a presença de aerossóis (Novo, 2014).

A segmentação trabalha com agregação dos alvos que são relativamente homogêneos na imagem, aplicando uma operação de gradiente local para determinar os limites das regiões ou áreas, ou agregar *pixels* da vizinhança, sendo que os *pixels* similares são alocados dentro de regiões ou áreas maiores (Schowengerdt, 2007).

A classificação utilizada para obter o mapeamento temático da ocupação foi a classificação supervisionada por regiões, o tipo de classificador Bhattacharya. Os classificadores por regiões usam a informação espectral de cada *pixel* da imagem e

a informação espacial que abrange a relação entre o *pixel* e seus vizinhos. Este tipo de classificador busca simular o comportamento do intérprete ao reconhecer as áreas homogêneas nas propriedades espectrais e espaciais da imagem (Moreira, 2012).

Para o classificador utilizado é necessário coletar amostras de treinamento, e estas determinarão a função densidade de probabilidade para as classes coletadas como amostras. Neste processo o algoritmo avalia para cada região a distância Bhattacharyya entre as classes, e a classe que apresentar a menor distância será atribuída a região avaliada (Moreira, 2012).

Para coleta das amostras de treinamento das classes foram realizados trabalhos de campo (13/05/2016 e 14/10/2016) com intuito de levantar e validar os padrões de cada classe a ser mapeada. Com as informações deste campo coletaram-se as amostras de treinamento. A figura 3 ilustra um dos pontos coletados em campo e duas fotografias da mesma área e perspectivas diferentes.

Para definição da nomenclatura das classes do mapeamento foi utilizado como referência os Manuais Técnicos de Vegetação Brasileira e de Uso da terra (IBGE, 2012; 2013), o sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização de dados de sensores remoto do autor Anderson et al. (1979), e o mapa sobre o estudo de uso e ocupação da terra com aplicação de geotecnologias no distrito de Abrantes no município de Camaçari no estado da Bahia (Borges, 2014).

Como o objetivo do artigo foi quantificar a ocupação nos anos de 1984 e 2016, na revisão da classificação optou-se por trabalhar com as bandas do infravermelho próximo, do infravermelho médio e vermelho, pois estas bandas destacam mais as áreas de cobertura vegetal, relevo, solo exposto, pastagens, vegetação de baixo porte e densidade (Florenzano, 2011).

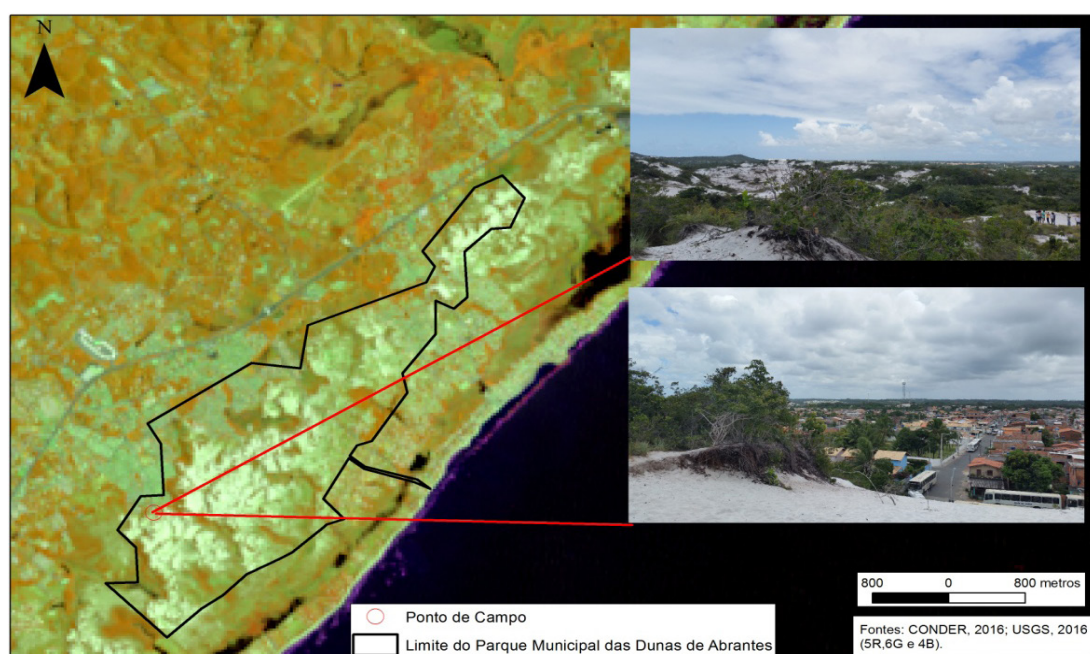


Figura 3. Um dos pontos coletados em campo e duas fotografias da mesma área (out/2016).

Os *softwares* para correção radiométrica e atmosférica utilizado foi o ENVI versão 5.3.1, para o processamento de imagens, como segmentação, coleta de amostra de treinamento, classificação e mapeamento foi o Spring versão 5.4.3, e para elaboração dos cartogramas o ArcGIS versão 10.4.1.

O limite referente ao PMDA, utilizado neste trabalho foi disponibilizado pela CONDER (2016) em arquivo no formato *shapefile* fruto de uma delimitação da área por meio de fotografias aéreas de 1976.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se que devido ao intenso processo de ocupação, os impactos ambientais foram evidenciados por meio da utilização do sensoriamento remoto, e visitas de campo, os quais os principais impactos foram: o lançamento de efluentes domésticos e industriais nos cursos d'água, ocupação de áreas de preservação permanente como: dunas, restingas, lagoas e matas ciliares; extração de areia das dunas e descarte de resíduos sólidos. Além disso, a ocupação trás consigo outros tipos de impactos, tendo em vista a necessidade da supressão vegetal, aterramento de lagoas, como foi o exemplo de diversos condomínios instalados no entorno e inserido no PMDA; ocasionando destruição do habitat de espécies vegetais (junco) e animais, como: anfíbios, peixes, aves, moluscos, crustáceos que vivem se alimentam, se reproduzem nestes frágeis ecossistemas (Borges, 2014).

A partir da comparação dos mapeamentos de 1984 e 2016 foi possível observar o avanço da ocupação na área de estudo. No ano de 1984 as classes de Áreas Urbanizadas, Pastagem, Remanescentes de Floresta Ombrófila Densa, Restinga, Dunas, Áreas Descobertas, Áreas Úmidas representavam 12,75%, 2,64%, 21,86%, 17,24%, 12,73%, 1,47%, 2,48%, respectivamente. Em 2016 as classes Áreas Urbanizadas, Pastagem, Remanescentes de Floresta Ombrófila Densa, Restinga, Dunas, Áreas Descobertas, Áreas Úmidas representavam 29,34%, 2,35%, 16,16%, 12,81%, 7,89%, 0,52%, 3,76%, respectivamente. Verifica-se com este mapeamento que a classes de áreas urbanizadas sofreram um aumento de 130% em 2016, e a classe de Dunas foi a que mais diminuiu em 2016, sendo de 38,13% a redução. A tabela 1 ilustra a área das classes mapeadas em quilômetros quadrados e em percentagem.

Classes Mapeadas	2016		1984	
	Área km ²	%	Área km ²	%
Áreas Urbanizadas	17,70	29,34	7,69	12,75
Pastagem	1,42	2,35	1,60	2,64
Remanescentes de Floresta Ombrófila Densa	9,75	16,16	13,19	21,86
Formações Pioneiras - Restinga	7,73	12,81	10,40	17,24
Formações Pioneiras - Dunas	4,76	7,89	7,68	12,73
Áreas Descobertas	0,31	0,52	0,89	1,47
Áreas Úmidas	2,27	3,76	1,50	2,48
TOTAL*	43,94	72,83%*	42,95	71,17%*

Tabela 1. Áreas e percentuais das classes mapeadas no ano de 1984 e 2016 na área de estudo no município de Camaçari – Bahia.

* Os trechos com massas d'água não foram quantificados.

Foram gerados dois mapas para representar espacialmente a ocupação nos dois anos mapeados, 1984 e 2016, conforme pode ser observado nos mapas 1 e 2 da figura 4.

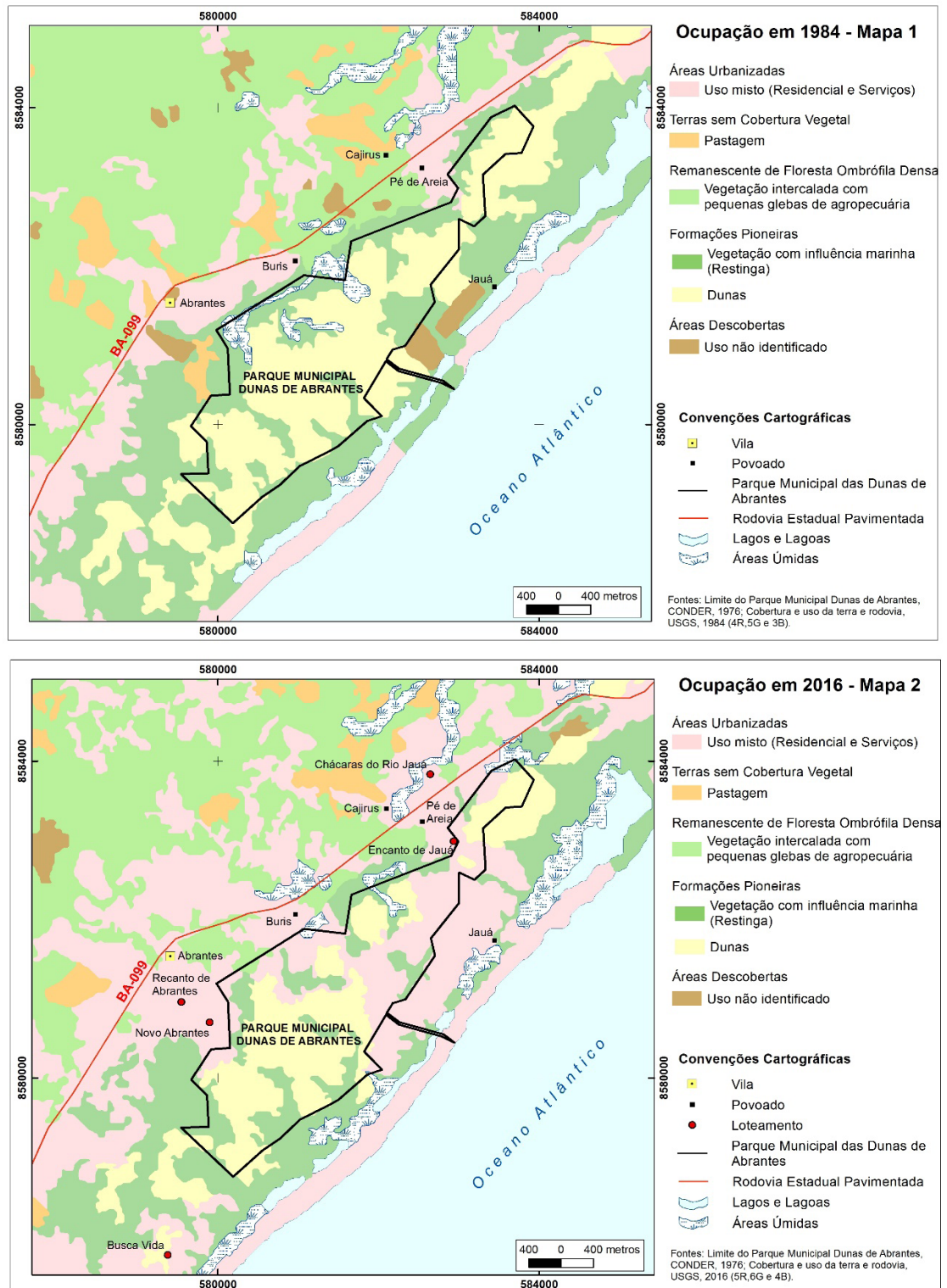


Figura 4. Ocupação nos anos de 1984 e 2016 na área de estudo no município de Camaçari, Bahia.

4 | CONCLUSÕES

A análise multitemporal do PMDA e seu entorno no município de Camaçari – BA, mostra que existem conflitos de cunho social e ambiental refletindo em ecossistemas de dunas, restingas e lagoas ocasionando transformações dos tipos de uso que envolve o homem como agente modificador destes. As áreas urbanizadas correspondem

a um crescimento de 130% entre 1984 e 2016, enquanto neste mesmo período a classe de Dunas reduziu 38,13%. Diante deste contexto, os conflitos ambientais foram potencializados ainda mais, dentro da APA, com destaque para o processo de expansão urbana, devido à pressão imobiliária em intensa ampliação, ocupando áreas de APP, protegidas por lei. Ressalta-se ainda os descartes de resíduos sólidos nesses ecossistemas, extrativismo ilegal das areias das dunas utilizado como insumo na construção civil o que contribui ainda mais para descaracterização desses locais, que são extremamente importantes para manutenção do meio e recarga hídrica.

A utilização do sensoriamento remoto foi essencial no processo dessa pesquisa, pois, permitiu o armazenamento de informações, a coleta e otimização dos dados, a identificação e a análise multitemporal dos documentos digitais.

O emprego da classificação supervisionada por regiões foi essencial para espacializar e individualizar as classes mapeadas visando às mudanças ocorridas na área de estudo, pois demonstrou maior rapidez do que no processo de interpretação visual. Outra vantagem foi permitir a contribuição dos pesquisadores no processo de coleta das amostras de treinamento, no mapeamento das classes, e também possibilitou a utilização das informações levantadas em campo na área do PMDA e entorno para validação e identificação da ocupação inadequada.

5 | AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Cartografia (LACAR) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), no qual se desenvolve o grupo de pesquisa: Cartografia aplicada a estudos ambientais e de ensino, vinculado ao CNPq. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Bahia (POSGEO/UFBA). A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio a pesquisa.

REFERÊNCIAS

Amado, F. A. Di T. **Direito ambiental esquematizado**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: Forense; São Paulo: Método, 2013.

Anderson, J. R.; Hardy, E. E.; Roach, J. T.; Witmer, R. E. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução Haroldo Strang. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 78 p.

BAHIA (Estado). Decreto nº 7.596, de 05 de junho de 1999. Cria a Área de Proteção Ambiental – APA de Joanes-Ipitanga e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado da Bahia**, Poder Executivo, Salvador, BA, 09 jun. 1999. Disponível em: <<http://www.inema.ba.gov.br/gestao-2/unidades-de-conservacao/apa/apa-joanes-ipitanga/>>. Acesso em: 08 set. 2014.

Borges, L. F. M. B. **Estudo de uso e ocupação da terra com aplicação de geotecnologias no distrito de Abrantes, Camaçari – BA**. 75f. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção de vegetação nativa. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 25. mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em: 20 out. 2016.

CEPRAM. **Conselho Estadual de Meio Ambiente**. Resolução 2.974 de 24 de maio de 2002: Aprova o Zoneamento Ecológico-Econômico da Área de Proteção Ambiental – APA Joanes-Ipitanga, integrante do Sistema de Áreas Protegidas do Litoral Norte. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/legislacao-ambiental/resolucoes/resolu-o-cepram-n-2974>>. Acesso em: 24 out. 2016.

CONAMA. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002: Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html>>. Acesso em: 24 out. 2016.

_____. **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Resolução nº 417, de 23 de novembro de 2009: Dispõe sobre parâmetros básicos para definição de vegetação primária e dos estágios sucessionais secundários da vegetação de Restinga na Mata Atlântica e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=617>>. Acesso em: 24 de out. de 2016.

CONDER. Companhia de Desenvolvimento Urbano do Estado da Bahia. **Parque Municipal Dunas de Abrantes**. 1976. Sistema de Informações Geográficas Urbanas do Estado da Bahia - INFORMS e Dados Institucionais - RMS. Salvador, 2016.

Florenzano, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

_____. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 317p.

IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2012. 271 p.

_____. **Manual Técnico de uso da terra**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 2013. 171 p.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 4. Ed. Viçosa: Ed. UFV, 2012. 422 p.

Novo, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicação**. 4ª ed. – São Paulo: Blucher, 2014.

Ponzoni, J.; Shimabukuro, Y. E.; Kuplich, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Texto, 2015. 176 p.

Schowengerdt, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing**. 3ª ed. San Diego, USA: Academic Press, 2007. 515p.

SEI. **Estatísticas dos Municípios Baianos**: território de identidade Metropolitano de Salvador. Salvador: Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia, 2012.v.4. n.1. 416 p. ISSN 1519-4124.

USGS. **United States Geological Survey**. imagem de satélite Landsat 5 e 8 (órbita-ponto: 215-069 – Datas: 19/07/1984 e 13/09/2016). Canais 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e composição colorida 4, 5, 3 (Landsat 5), e 5, 6 e 4 (Landsat8): USGS. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 18 set. 2016.

ANÁLISE MORFOMÉTRICA DA BACIA DO RIO SÃO JOÃO, MG: UMA PROPOSTA PARA MELHOR ENTENDIMENTO DOS LIMITES E DA DINÂMICA ESPACIAL DAS SUPERFÍCIES EROSIVAS

Samia de Moura Passarella

superfícies erosivas , Bacia do Rio São João.

RESUMO: Os parâmetros morfométricos da superfície do relevo são essenciais para a caracterização e o entendimento da formação de uma paisagem, especialmente em áreas que passaram por processos erosivos e tectônicos bem marcados, como o caso da região da Bacia do Rio São João, no sudoeste de Minas Gerais. Com o propósito de reconhecer os traços tectônicos que pudessem interferir no desenvolvimento do canal e por fim afetar os ciclos erosivos, foram realizadas uma série de análises geomorfológicas; tais como a Isobase, o Fator de simetria topográfica transversal com assimetria da bacia de drenagem e a Curva e integral hipsométrica. Estes índices foram produzidos através do aplicativo TecDEM, que compilou em sua interface de trabalho todo o procedimento e rotina, utilizando-se apenas das informações espaciais do modelo digital de elevação (SRTM). Estas análises, favoreceram satisfatoriamente o entendimento das estruturas e do relevo no contexto da bacia, assim evidenciando os domínios topográficos e limites das superfícies, a dinâmica erosiva, o deslocamento dos canais pertencentes as bacias de quarta e quinta ordem, e por fim o momento de transição do relevo.

PALAVRAS-CHAVE: parâmetros morfométricos,

ABSTRACT: The morphometric parameters of relief surface are essential for characterizing and understanding the landscape formation, especially in areas that have been undergone erosion and tectonic processes, as the case of the Sao Joao River Basin in southwest the Minas Gerais state. In order to recognize tectonic features that could interpose the development of the channel and ultimately affect the erosion cycles, were performed a series of geomorphological analysis, such as: isobase, factor transverse topographic symmetry and asymmetry of the drainage basin, and the curve and hypsometric integral. These results were produced through rates obtained by the TecDEM, software used to compile the entire procedure and routine, just using spatial information of the digital elevation model (SRTM). These analyzes satisfactorily gave us the understanding of the structures and relief in the basin context, and thus, showing the topography and boundary areas, as well as the erosive dynamic displacement of channels belonging to fourth and fifth basins orders, and finally the moment of transition relief.

KEYWORDS: morphometric parameters, erosive surfaces, São João River Basin.

1 | INTRODUÇÃO

Estudos de parâmetros morfométricos são essenciais para o entendimento da paisagem geomorfológica, sua evolução e dinâmica, pois fornecem o reconhecimento de elementos geomórficos típicos para a caracterização de áreas sob a influência de atividades de natureza tectônica e a possibilidade de distinguí-las das erosivas. Desde a década de 1960 com as primeiras análises e produtos feitos por Filosofov (1960), estes parâmetros têm sido constantemente aprimorados com diferentes metodologias multidisciplinares, conforme (HOWARD, 1968; MORISAWA & HACK, 1985; SUMMERFIELD 1987, 1991; SCHUMM, 1981, 1986, 2000, 2007; COX, 1994; BURBANK & ANDERSON, 2001).

Os sensores remotos, ao gerarem informações mais completas da superfície terrestre, em especial a geração de modelos digitais de elevação (MDE), proporcionaram o desenvolvimento de análises cada vez mais refinadas, com informações espaciais de latitude, longitude e altitude. Estes dados tornaram possível a implementação de ferramentas capazes de cobrir, dos mais antigos aos mais recentes fenômenos tectônicos nos mais variados ambientes. Exemplos de aplicações geomorfológicas e tectônica usando dados remotamente situados podem ser encontrados em (GARROTE *et al.*2008; GROHMANN *et al.*2007, 2011; SHAHZAD *et al.*2009; SHAHZAD & GLOAGUEN, 2011 a, b; KIRBY & WHIPPLE, 2001).

Neste trabalho, foram usadas as análises morfométricas de *Isobase*, *Fator de simetria topográfica transversal* e *Assimetria da bacia de drenagem e Integral hipsométrica*, com o objetivo de reconhecimento do controle de estruturas sobre do relevo da Bacia do Rio São João, Figura 1. Também foi objetivo identificar a sua relação com as superfícies erosivas dispostas na área que foi afetada por processos intensos de denudação associados a soerguimento de arcos, deposição de sedimentos em bacias marginais e formação de bacias continentais, com diferentes ciclos erosivos.

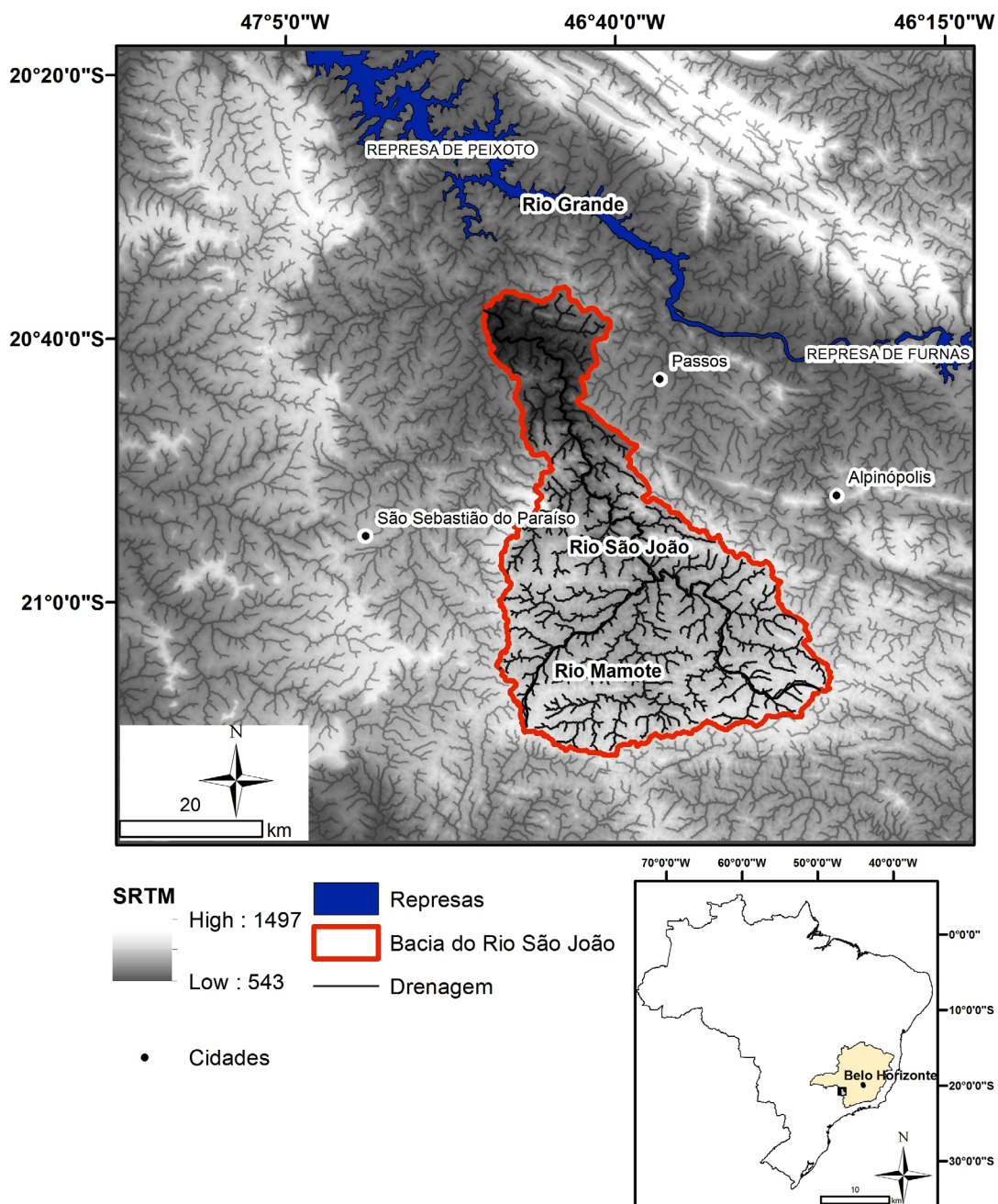


Figura 1 - Localização e contexto da área estudada. Fonte: Passarella et al; 2016.

2 | ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo está localizada na Plataforma Sul-Americana, porção sudeste do Brasil, sendo composta por núcleos pré-cambrianos relacionados com áreas cratônicas e faixas de dobramentos Almeida *et al.* (1977), Figura 2. A unidade geológica mais antiga compreende o Cráton do São Francisco, caracterizado por embasamento arqueano exposto, composto por gnaiss, migmatito e anfibolito, cujos protólitos se caracterizam por idades entre 3,2 e 2,9 Ga, segundo, (CAMPOS NETO, 2000 e BARBOSA & SABATÉ, 2004).

A Faixa Brasília compreende uma zona de faixas de dobramentos, onde seu setor meridional é marcado por empilhamento de terrenos e escamas de empurrão

(Figura 2). As principais unidades compreendem rochas metassedimentares que foram afetadas por diversos processos de metamorfismo. Destacam-se na área estudada o Grupo Canastra, Ibiá, Grupo Araxá, e Andrelândia (VALERIANO *et al.*2004).

Episódios magmáticos cretáceos ocorreram na região no início da abertura do Atlântico a partir da quebra do supercontinente Gondwana há aproximadamente 130 Ma e.g., (ALKMIM & MARTINS-NETO, 2001; CONDIE, 2005; HASUI, 2010, TELLO *et al.*2003; TELLO *et al.*(2005); SOARES *et al.*2013). Neste processo destaca-se: (1) o magmatismo basáltico na Bacia do Paraná entre ~130-120 Ma (MARQUES & ERNESTO, 2004); (2) os complexos alcalino-carbonatíticos de Araxá, Tapira e Poços de Caldas que intrudem rochas metamórficas neoproterozóicas da Faixa Brasília, Soares *et al.*(2013); e (3) rochas ultrabásicas potássicas e ultrapotássicas com afinidades kamafugíticas, representadas pelo Grupo Mata da Corda (LEONARDOS & ULBRICH, 1991; ALKMIM, 2004).

De acordo com Hasui (2010), esta região passou por um período de estabilidade tectônica entre o final do Cretáceo e o início do Paleógeno, originando a Superfície Sul-Americana. Atualmente, esta superfície está associada a topos aplainados a altitudes entre 1100 e 1200 m.

A estabilidade tectônica posterior à ruptura do supercontinente Pangéia favoreceu a formação de coberturas detrítico-lateríticas ferruginosas do Paleógeno ao Quaternário que se encontram sobrepostas aos demais grupos rochosos, Hasui (2010) (Fig. 2).

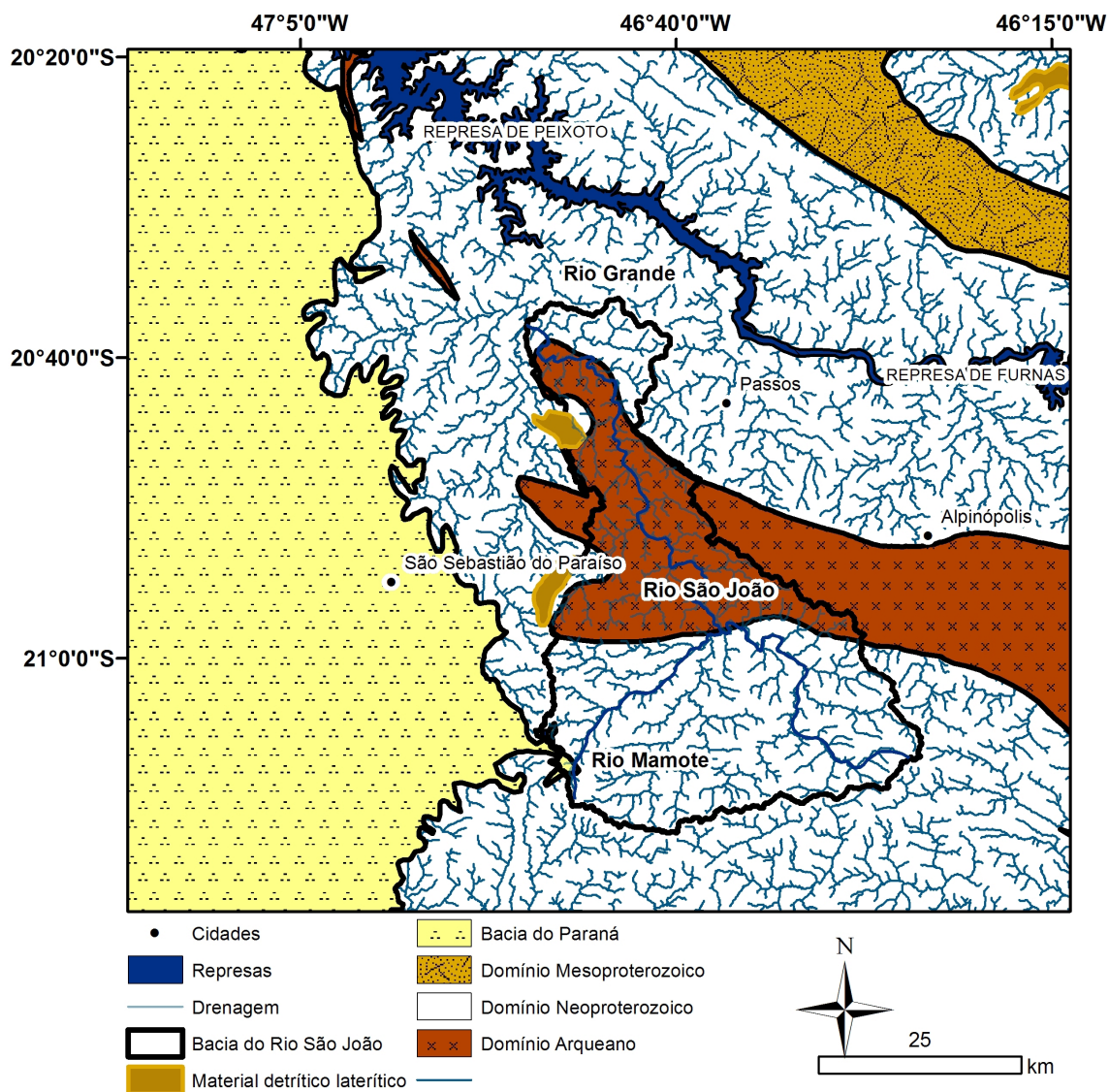


Figura 2 - Mapa geológico regional simplificado, extraído da base de dados da CPRM Fonte: Passarella et al; 2016.

3 | METODOLOGIA

Foram aplicadas as técnicas morfométricas de *Isobase*, *Fator de simetria topográfica transversal e da bacia* e *integral hipsométrica*, através do ferramental do software MATLAB o TecDEM, (SHAHZAD & GLOAGUEN, 2011 a, b), com MDE (Modelo Digital de Elevação), com resolução espacial de 90 m, trabalhados a partir da base de dados **SRTM** (*Shuttle Radar Topographic Mission*, FARR et al.2007). Todos os produtos gerados para o estudo da morfotectônica foram extraídos apartir deste do MDE, tabela 1.

Técnica	Propósito	Unidade trabalhada
<i>a-Isobase e knicpoints</i>	Compor uma melhor delimitação das diferentes superfícies erosivas.	km
<i>bFator de simetria topográfica transversal e Assimetria da bacia de drenagem</i>	Verificar o comportamento do deslocamento do canal e da bacia a cada 2km.	Km
<i>c-Integral Hipsométrica</i>	Caracterizar o nível de desenvolvimento do relevo mediante a relação da altura pela área do canal	Km

Tabela1: Parâmetros morfométricos. Fonte: Passarella et al; 2016.

a - Isobase

A isobase é considerada uma superfície hipotética determinada pela intersecção entre drenagens de ordem similar, com a topografia associada (FILOSOFOV, 1960), é uma representação simplificada mediante o relevo original, Steiner, (2007), que assim permite classificar num DEM, zonas que compõe em um relevo homogêneo a partir de uma determinada ordem de drenagem. O produto gerado permite uma comparação entre as superfícies mais elevadas que representam as formas de relevo antes da dissecação dos canais, da ordem selecionada para comparação, e as zonas mais dissecadas, que sofreram com a atuação dos mesmos.

Esse processo pode ser melhor observado e compreendido através da figura 3 baseada em Golts & Rosental (1993), apresentada no trabalho de (SHAHZAD & GLOAGUEN, 2011 a, b). No polígono (a), observa-se o modelo digital de elevação em tons de cinza, com a sobreposição das curvas de nível e os canais de diferentes ordens no caso, 1^a, 2^a e 3^a. Em seguida, no polígono (b), as linhas de isobase são derivadas da elevação dos canais de 2^a e 3^a ordem em sobreposição aos níveis altimétricos. A mancha mais clara na imagem, marca claramente a posição de uma feição morfotectônica (SHAHZAD & GLOAGUEN, 2011 a, b).

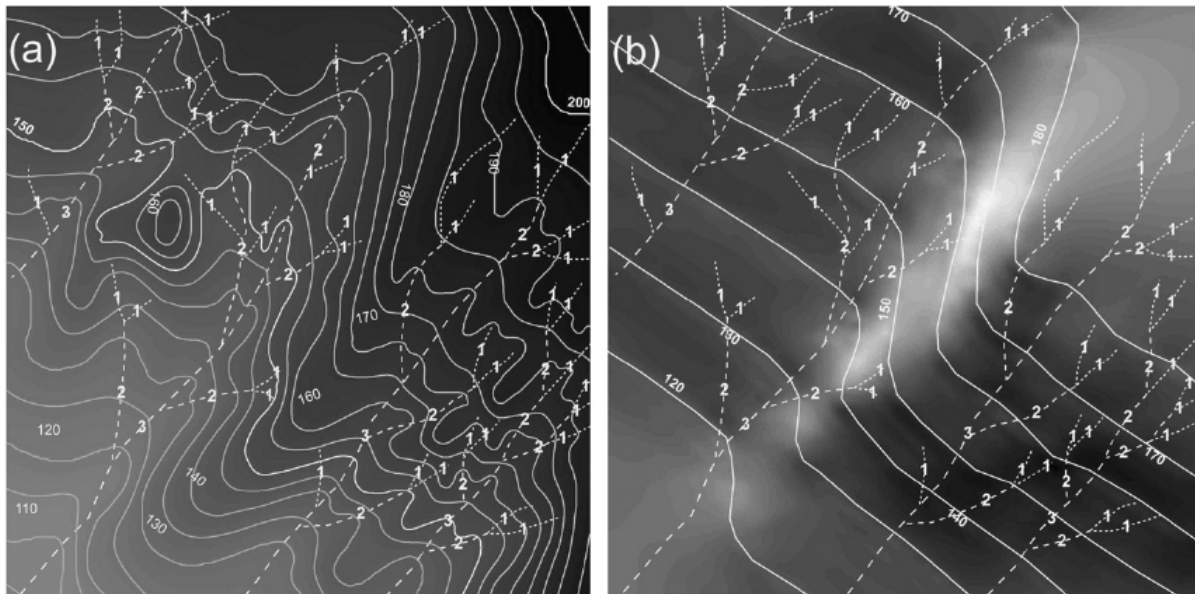


Figura 3 - Etapas para a construção do mapa de isobase. Fonte: Shahzad & Gloaguen, 2011, b.

No caso deste trabalho os canais selecionados se encontram acima da segunda ordem.

b - Fator de simetria topográfica transversal e Assimetria da bacia de drenagem

O fator de simetria topográfica transversal (**FSTT**), quantifica numa escala de 0 a 1 a direção da migração média dos canais, considerando que a migração preferencial do canal indica a assimetria do perfil topográfico transversal ao seu eixo, através da relação: $T = Da/Dd$

Onde **T** corresponderia ao fator de simetria, **Da**, seria a distância da linha média do eixo da bacia de drenagem até a linha média do cinturão do meandro ativo e **Dd** a distância da linha média da bacia ao divisor da bacia, **Figura 4**.

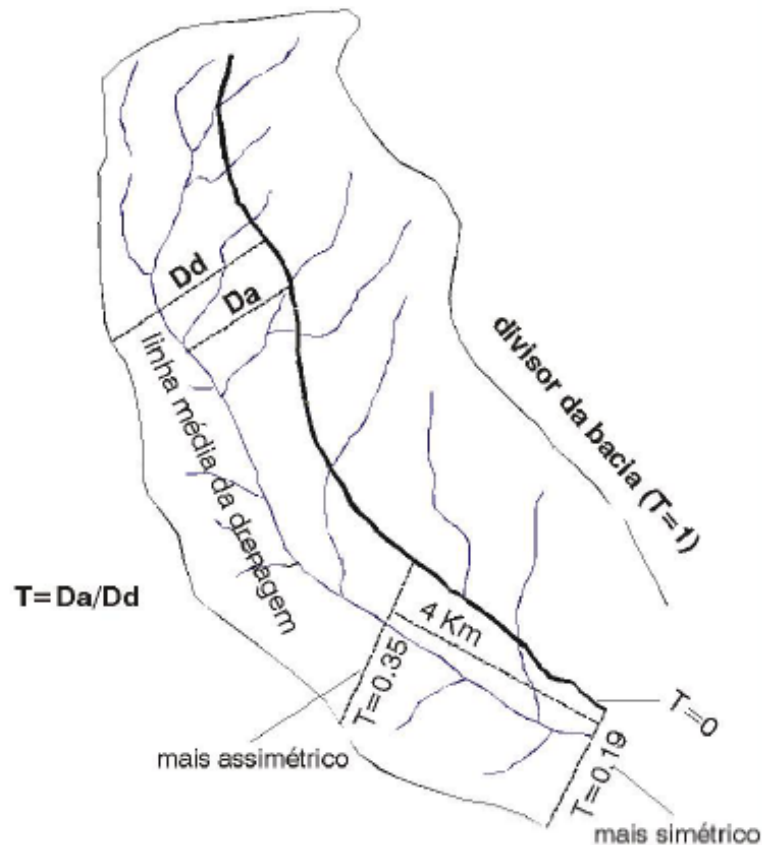


Figura 4 - Fator de Simetria Topográfica Transversa (**FSTT**), como fator de quantificação de deslocamento de um rio, Salamuni 2004, (mod. COX, 1994)

Essa relação permite uma discriminação entre migração de canais como uma consequência de processos internos fluviais (valores próximos de 0) ou de forças tectônicas (valores próximos de 1), Cox (1994), Cox *et al.*(2001), Garrote *et al.* (2008).

Já o fator de assimetria da bacia de drenagem (**FABD**), Hare & Gardner, (1985), Keller & Pinter (1996), Salamuni (1998), apresenta o componente de migração perpendicular ao seu eixo que pode ser resultado de processos fluviais internos, com valores iguais ou próximos a 50, ou processos fluviais suscetíveis a forças externas que no caso, menores que 50 indicam um basculamento do canal na sua margem esquerda, se maior que 50 demonstram provável basculamento na margem direita, **Figura 5**.

$A_f = 100 (A_r/A_t)$
 $A_f = 100 (3.2 \text{ Km}^2/4.9 \text{ Km}^2) = 65$ (exemplo numérico)
 $A_f > 50 \Rightarrow$ implica que a bacia bascula para a esquerda (olhando para jusante)

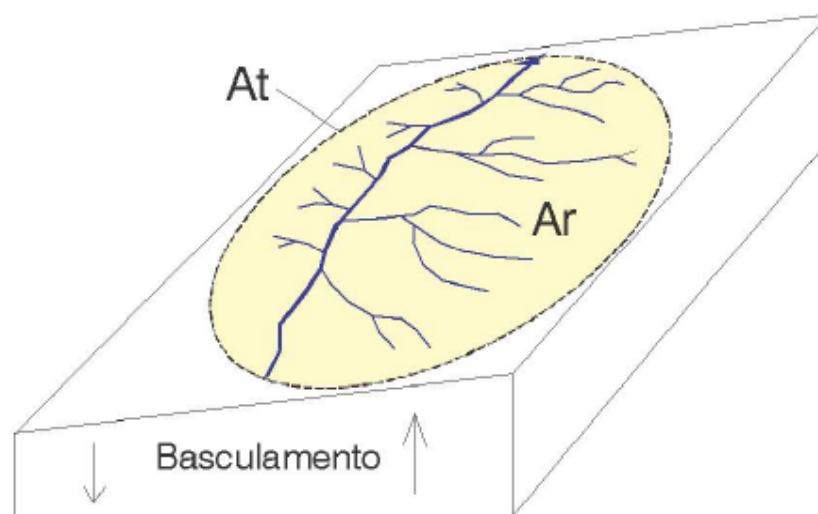


Figura 5 - Fator de assimetria da bacia de drenagem (**FABD**), Salamuni et al. (2004), Hare e Gardner, (1985).

Esses valores são obtidos através da equação: **FA = 100 (Ar/At)**, onde **FA** seria o fator de assimetria, **Ar**, corresponderia a área da bacia à direita do rio (olhando a jusante), **At** a área total da bacia de drenagem.

c - Curva e Integral Hipsométrica

A curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo de uma bacia hidrográfica. Essa representação se dá através da integral Hipsométrica (*Hi*), índice que descreve a “curva” de distribuição de elevação do terreno de uma determinada área da paisagem por meio da frequência acumulada das altitudes (CHORLEY & MORLEY, 1959; STRAHLER, 1957; SCHUMM, 1981, 1986, 2000 e 2007). Esse índice (*Hi*) em termos quantitativos, representa porções do relevo que ainda não foram sujeitas ao rebaixamento erosivo e por isso pode indicar diversos estágios evolutivos da paisagem (KELLER E PINTER, 1996; PÉREZ-PEÑA et al.2009; ZANI *et al.* 2010).

Portanto cada curva obtida por essa técnica representa a proporção total da altura da bacia (**h/H**) pela proporção total de sua área (**a/A**). Cabe ressaltar também que todas as equações utilizadas para determinar integral da curva hipsométrica no software TecDEM, (SHAHZAD & GLOAGUEN, 2011 a, b) foram extraídas de Harlin (1978) e Pérez-Peña et al.(2009p.1216).

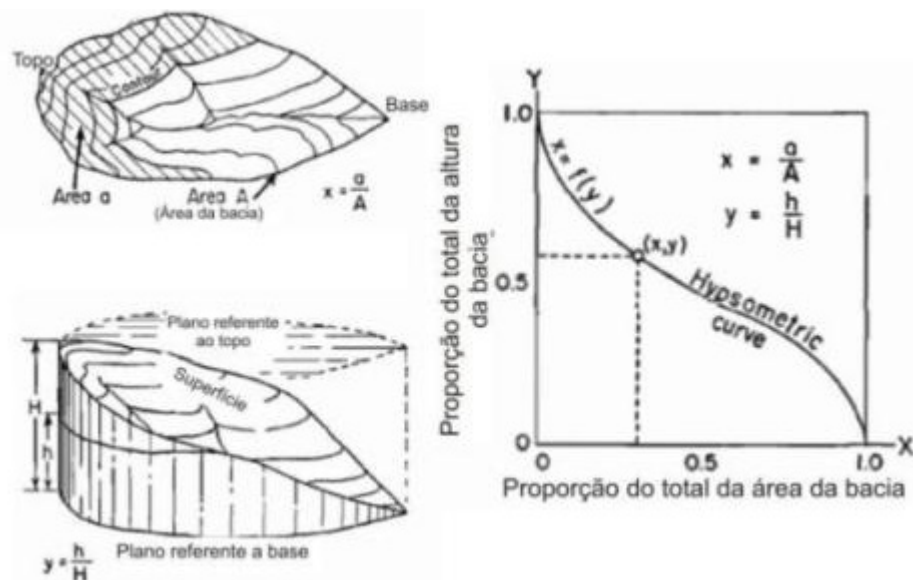


Figura 6 - Integral hipsométrica demonstrando sua representatividade através da proporção total da altura (h/H) pela área (a/A).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

a - Isobase

O mapa de isobase, representado na Figura 7, apresenta três diferentes domínios evolutivos na zona da bacia, **a) domínio das antigas superfícies, b) zona de transição, c) domínio das superfícies recentes.**

O primeiro domínio, **(a) domínio das antigas superfícies**, remete às áreas mais elevadas da região, indicado pelos tons de amarelo claro a vermelho, que estão acima de 900 metros, e apresenta zonas preservadas pelo arcabouço litológico do Neoproterozóico, indicando que sua formação sucede os intensos processos metamórficos da Faixa Brasília, Figura 2. Na área, esse fato é comprovado através dos depósitos lateríticos que estão instalados a 1200m, recobrendo a sinforma do Morro do Chapadão, Passarella *et al.*(2010), Figura 8. Outro acontecimento importante é a correlação do material presente no divisor da bacia que forma um transecto com o *knickpoint* destacado pelo número 3, Figuras 7 e 8, assim sugerindo que aconteceu em algum momento de transição destes ciclos erosivos uma alteração do nível de base. Alguns autores dizem que neste caso o material laterítico em destaque seria um remanescente da Superfície Sul Americana, King (1956) e Valadão (1998).

O domínio **(b) zona de transição**, possui uma coloração verde que representa a zona de intermediária que marca a passagem do domínio de antigas superfícies preservadas para a porção mais rebaixada da topografia, nele se concentram dois *knickpoints* da bacia do Rio São João (1 e 2), reforçando ainda mais seu caráter de transição. Em toda sua extensão foi denudado até o embasamento cristalino, sem preservar se quer um depósito detrítico laterítico, conferido no mapa geológico pelo domínio arqueano Figuras 2 e 7.

O domínio(c), das superfícies recentes, se encontra em tons de azul com cotas altimétricas que variam de 700 a 600m. Nesse patamar é possível de observar a

reorganização da paisagem na construção de superfícies recentes mais próximas dos níveis de base regionais atuais. Também é possível de reconhecer que neste trecho existiu uma forte influência tectônica que alterou toda a estrutura da bacia, mudando o rumo do curso principal assim como o basculamento do canal, que passa a alterar de forma mais agressiva, Figura 7 e Tabela 2.

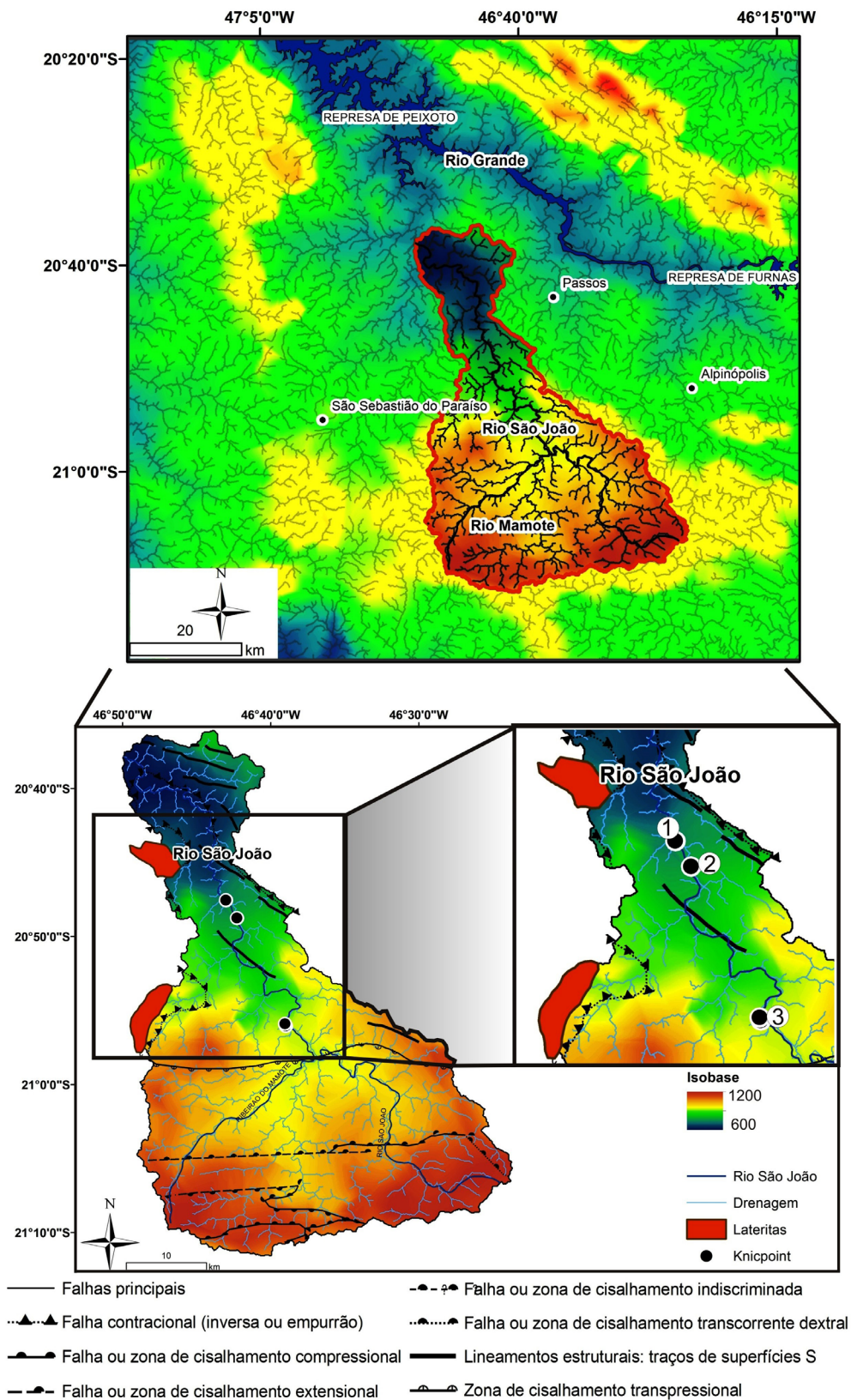


Figura 7-Mapas de isobase e *knicpoints*, com os principais lineamentos e materiais detríticos lateríticos, (extraídos da base de dados CPRM, Brasil ao milionésimo) gerado a partir do modelo digital de elevação **SRTM** (*Shuttle Radar Topographic Mission*, FARR et al.2007).

b - Fator de simetria topográfica transversal e Assimetria da bacia de drenagem

A análise de simetria topográfica transversal se estabeleceu na composição de quinta ordem da bacia do Rio São João, apresentada na Tabela 2 e Figura 8.

Os canais com maiores valores de deslocamento, acima de 0.65km, seguem sequencialmente do número 21 ao 29 e se apresentam no trecho que remete ao domínio **(a) (domínio das antigas superfícies)**, nele as estruturas marcadas por falhamentos antigos, apresenta o deslocamento obedecendo ao desenho das escamas de empurrão da Faixa Brasília, de escala crustal que convergiram para leste, contra o Cráton do São Francisco, durante o Ciclo Brasileiro (Neoproterozóico) entre 780 a 640 Ma, Morales *et al.* (1993), Heilbron *et al.*(1987); Simões (1993).

O nível de deslocamento intermediário é representado pelos canais 12 ao 18 que são aqueles que estão entre os limites dos domínios geológicos, Neoproterozóico e Arqueano, o que pode indicar que ainda existe influência nestes canais das atividades tectônicas destacadas no parágrafo acima, Tabela 2.

No entanto para os canais de 11, 12, 13 essa influencia não seria dominante, pois já se encontram bem estabelecidos no domínio Arqueano.

Fica nítido tanto pela Figura 8 tanto quanto pela Tabela 2 que o basculamento preferencial dos canais segue para a direita, onde todos eles se apresentam com valores acima de 50km.

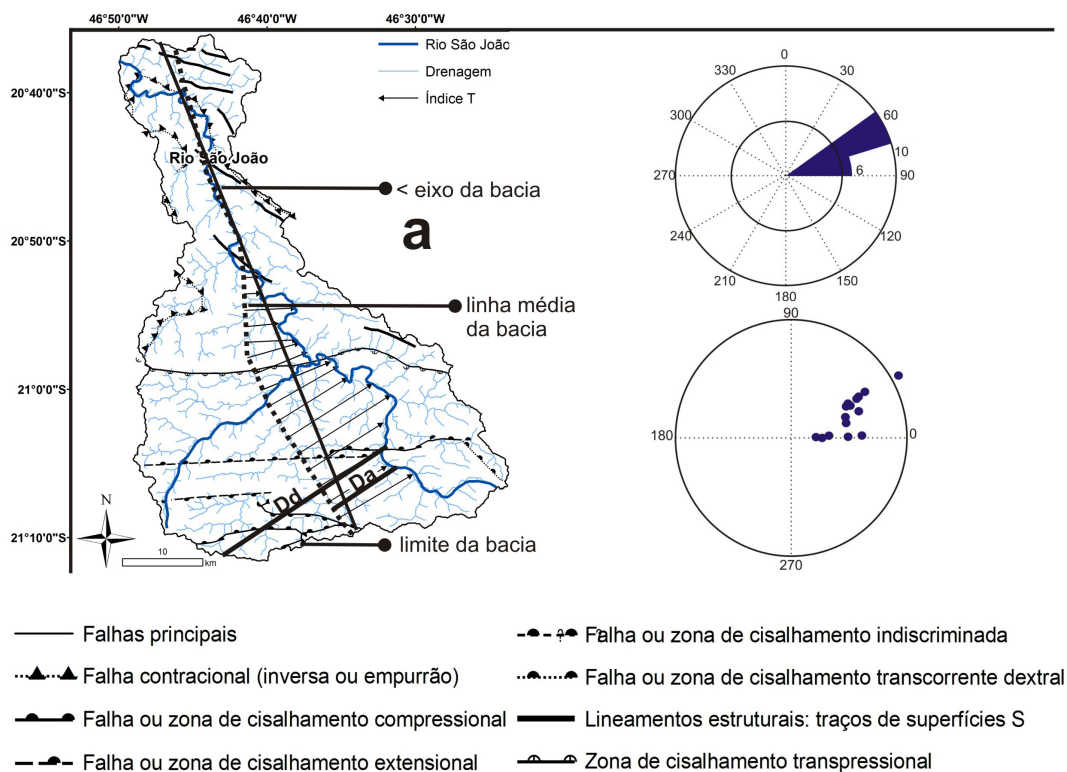


Figura 8-Mapa do **Fator de simetria topográfica transversal** com os principais falhas regionais (base de dados CPRM, Brasil ao milionésimo), junto com os diagramas de roseta e polar extraídos do canal principal do rio São João.

No entanto, não devemos desprezar a forte tração do basculamento para a direita, na porção mais baixa da bacia, que representa de forma clara a atividade tectônica que recotou o trecho em duas porções totalmente diferentes em termos de direção.

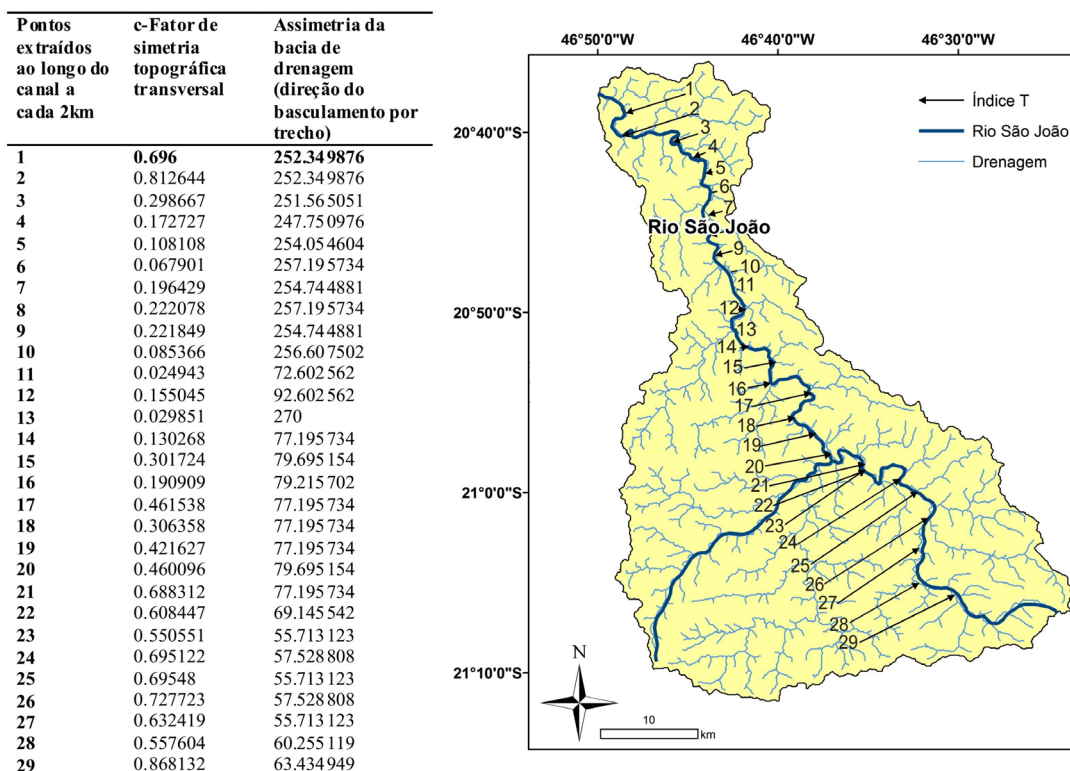


Figura 9: Dados morfométricos do *Fator de simetria topográfica transversal e Assimetria da bacia de drenagem*.

c - Curva e Integral Hipsométrica

A curva de integral hipsométrica, apresenta um reforço aos dados da isobase, pois representa de forma gráfica a disposição dos três domínios da bacia por meio da proporção total da altura X área da bacia Figura 9.

Podemos perceber num primeiro instante que a bacia majoritariamente se encontra no domínio **(a)**, *domínio das antigas superfícies*, onde os canais possuem o maior índice de deslocamento em relação ao seu eixo principal para o sentido E, Figuras 8, 9 e 10.

No entanto existe uma quebra levemente abrupta na curva que marca o momento de mudança altimétrica do canal onde ele parte para uma cota mais baixa e busca por estabilidade, que por fim, pode ser relacionada ao domínio **(b)** *zona de transição*. Até este momento nota-se que pela estabilidade da curva, a bacia ainda manteve um baixo potencial denudacional, típico de um relevo bem estabelecido na paisagem, Figuras 8, 9 e 10.

A partir dessa quebra apresenta-se um momento denudacional mais intenso, que leva o sistema a cotas altimétricas mais baixas e por isso indica um estágio de desenvolvimento de uma topografia jovem em busca de equilíbrio, possível de se

relacionar com o domínio (c), *domínio das superfícies recentes*, Figuras 8, 9 e 10.

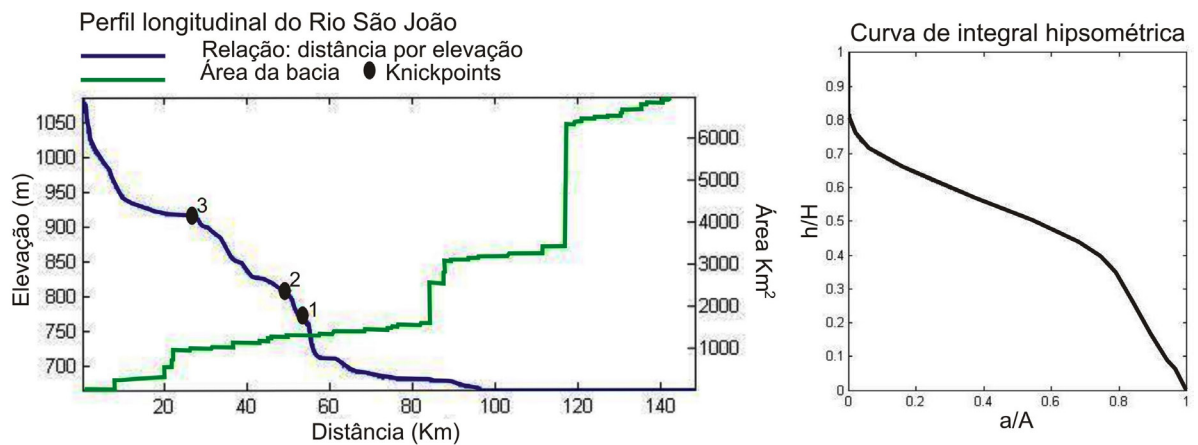


Figura 10-Perfil longitudinal do canal e curva da Integral hipsométrica.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Bacia do Rio São João possui características marcantes a respeito de seus canais, que foram fortemente condicionados pela tectônica, e posteriormente retrabalhados pelas condições climáticas. As análises de *isobase*, *fator de simetria topográfica transversal* e *assimetria da bacia de drenagem e integral hipsométrica*, favoreceram uma melhor compreensão a respeito da delimitação, desenvolvimento e comportamento do relevo da área investigada.

Os resultados obtidos se mostraram plausíveis com o histórico geológico e geomorfológico pré-existente, e ofereceram arcabouço ao entendimento mais refinado da dinâmica da área estudada, tanto no aspecto erosivo quanto tectônico.

O mapa de isobase, representado pela Figura 7, demarcou os 3 domínios topográficos principais. O primeiro ciclo, demarcado pelo domínio (a), *antigas superfícies*, remonta um momento mais antigo, que se casa com as propostas de King (1956) e Valadão (1998) que seria relativo a Superfície Sul Americana. Fato este que pode ser confirmado por uma série de premissas indicadas pelos mesmos autores, como a altimetria acima de 950m, onde os depósitos de materiais detríticos lateríticos, geralmente se localizam sobre as rochas Neoproterozóicas em que registram deformações como sinformas, antiformas e escarpas de falhas, o arranjo da drenagem da bacia fortemente condicionado pela estrutura litológica e o aspecto de material ser apresentado por crostas endurecidas duras e homogêneas, Figuras, 2, 7 e 8.

Um segundo ciclo, demarcado pelo domínio (b) *zona de transição*, marca a mudança do relevo, que após a quebras dos *knickpoints* (1 e 2), passa rebaixar abruptamente até a fase atual. Neste domínio nota se que a denudação começa a se intensificar, levando e retrabalhando quase todo o material superficial que recobre o domínio Arqueano, Figuras 7 e 8.

O domínio (c), *das superfícies recentes*, demarca um novo ciclo erosivo que ainda passa por um processo de ajuste com a topografia atual, e boa parte dos

remanescentes dele se encontram retrabalhados com mais materiais ricos em quartzo próximos as calhas fluviais do Rio Grande.

A integral e curva, hipsométrica, reforça de forma gráfica essa passagem de diferentes níveis erosivos, mostrando em sua curva que a bacia segue de um relevo aplainado e bem estabelecido para uma topografia mais acidentada. O que nos leva a “deduzir” em conjunto com os outros resultados que existe a atuação de um processo de denudação que permitiu um rebaixamento do nível de base e que pode ter ocorrido o transporte dos materiais lateríticos retrabalhados em cotas menos elevadas.

O deslocamento do canal do Rio São João, foi evidenciado pelo *fator de simetria topográfica transversal e assimetria da bacia de drenagem*. Esses fatores sugeriram que o deslocamento intenso do canal se deu por falhas que formaram uma zona de cisalhamento que divide a bacia da parte alta para a parte baixa, Figuras 7, 8 e 9.

Na porção mais rebaixada nota-se um deslocamento para o sentido esquerdo mas mesmo assim com intenso basculamento para a direita (ainda mais forte que na porção sul), a medida que o canal segue para o limite sul da bacia, correspondente ao domínio Neoproterozóico, mais intensa é a influência da atividade tectônica em seu curso com o trend preferencial de N60E. O deslocamento do canal neste sentido permite deduzir que a dinâmica tectônica facilitou o processo erosivo da bacia no sentido da margem direita do Rio São João, provavelmente por possuir uma litologia mais sensível que a da margem esquerda que portanto preservou os antigos materiais lateríticos naquela porção.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y; NEVES, B.B.B; FUCK, R.A., 8., 1977, Campina. **SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE**: Atas. Campina Grande: Sbg, 1977. P. 363-391.

ALKMIM F.F. & MARTINS-NETO M.A. A Bacia Intracratônica do São Francisco: Arcabouço Estrutural e Cenários Evolutivos. In: PINTO, C.P.; MARTINS-NETO, M.A. (Ed.). **Bacia do São Francisco: Geologia e Recursos Naturais**. Belo Horizonte: Sbg/mg, 2001. p. 9-30.

ALKMIM F.F. O que faz de um cráton um cráton ? O Cráton do São Francisco e as revelações Almeidianas ao delimita-lo. In: MARTINS-NETO, M.A. et al (Ed.). **Geologia do Continente Sul Americano**: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Becca, 2004. p. 17-35.

BARBOSA, J. S. F. & SABATÉ, P. **Archean And Paleoproterozoic Crust Of The São Francisco Cráton, Bahia, Brazil**. Geodynamic Features: Prec. Res, 2004.

BURBANK, D; ANDERSON, R. **Tectonic geomorphology**. Oxford: Blackwell Publishing, 2001.

CAMPOS NETO, M. C. Orogenic Systems from Southwestern Gondwana, an approach to Brasiliano-Pan African Cycle and Orogenic Collage in Southeastern Brazil. In: CORDANI, U.G, et al. **Tectonic Evolution in South America**. Rio de Janeiro: Becca, 2000. p. 335-365.

CHORLEY, R. J & MORLEY, L.S.D. A Simplified Approximation for the Hypsometric Integral. **Journal of Geology**, Chicago, p. 566-571, 1959.

CONDIE, K. C. High field strength element ratios in Archean basalts - a window to evolving sources of mantle plumes? **Lithos**, Amsterdam, v. 79, p.491-504, abr. 2005.

COX, RANDEL TOM. Analysis of drainage-basin symmetry as a rapid technique to identify areas of possible Quaternary tilt-block tectonics: an example from the Mississippi Embayment. **Bulletin Of The Geological Society Of America**, Boulder, v. 106, n. 5, p.571-581, 1994.

FARR, TOM G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. **Rev. Geophys.**, [s.l.], v. 45, n. 2, 19 maio 2007. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1029/2005rg000183>.

FILOSOFOV, V.P. **Brief Guide to Morphometric Methods in Search of Tectonic Features**. Saratov: Saratov University Publishing House, 1960.

GARROTE, J.; HEYDT, G.G.; COX, R.T. Multi-stream order analyses in basin asymmetry: a tool to discriminate the influence of neotectonics in fluvial landscape development (Madrid Basin, Central Spain). **Geomorphology**, Amsterdam, v. 1, n. 102, p.130-144, 2008.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; CHAMANI, M. A. C. Regional scale analysis of landform configuration with base-level (isobase) maps. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, [s.l.], v. 15, n. 5, p.1493-1504, 18 maio 2011. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/hess-15-1493-2011>

HARLIN, JOHN M. Statistical moments of the hypsometric curve and its density function. **Statistical Moments Of The Hypsometric Curve And Its Density Function**, [s.l.], v. 10, n. 1, p.59-72, jan. 1978.

W, HARE P; GARDNER, I. Geomorphic indicators of vertical neotectonism along converging plate margins. Nicoya Peninsula, Costa Rica. In: M, Morisawa; T, Hack J (Ed.). **Tectonic Geomorphology: 15th. Annual Binghamton Geomorphology Simp**. Binghamton: Proceedings, 1984. p. 390.

HEILBRON, M. et al. O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 4., 1987, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Sbg/mg, 1987. v. 6, p. 176 - 198.

HOWARD, A. D. Stratigraphic and structural controls on landform development in the Central Kentucky Karst. **National Speleological Bulletin**, [s.l.], v. 30, n. 1, p.95-114, jan. 1968.

KELLER, E.A; PINTER, N. **Active tectonics**. Santa Barbara: Prentice-hall, 1996.

KING, Charles Lester. A Geomorfologia do Brasil Oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 2, p.147-266, 1956.

LEONARDOS, H. O; ULBRICH, M. N; GASPAR, J.C. The Mata da Corda volcanic rocks. In: FIFTH INTERNATIONAL KIMBERLITE CONFERENCE, 50., 1991, Araxá. **Conference**. Cprm, 1991. p. 655 - 673.

MARQUES, S L; ERNESTO, M. O Magmatismo Toleítico Da Bacia Do Paraná. In: Martins-Neto, M. A. et al (Ed.). **Geologia Do Continente Sul - Americano: Evolução Da Obra De Fernando Flávio Marques De Almeida**. São Paulo: Becca, 2004. p. 245-263.

MORALES, NORBERTO. **Evolução tectônica do cinturão de cisalhamento Campo do Meio na sua porção ocidental**. 1993. 2 v. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia Regional, Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1993.

MORISAWA, M; HACK, T J. ed: Tectonic geomorphology. In: 15TH ANNUAL BINGHAMTON GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM, 15., 1984, Boston. **Symposium**. Boston: Allen And Unwin, 1985. p. 1 - 390.

PASSARELLA, S., LADEIRA, F. S. B., LIESENBERG, V. Morfometria da bacia do rio São João, MG: uma proposta de entendimento dos limites e da dinâmicas das superfícies erosivas. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v 17, n.2, pg.241-252, 2016.

PEREZ-PENA, J.V., AZANON, J.M., AZOR, A. CalHypso: an ArcGIS extension to calculate hypsometric curves and their statistical moments. Applications to drainage basin analysis in SE Spain. **Comp & Geoci**, [s.l.], v. 6, n. 6, p.1214-1223, 2009.

SALAMUNI, E. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba (PR)**. 1998. 214 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia Regional, Departamento de Petrologia e Metalogenia, Universidade Estadual Paulista-Rio Claro, Rio Claro, 1998.

SCHUMM, S. A; Patton, P C. Ephemeral-stream processes: Implications for studies of Quaternary valley fills. **Quaternary Research**, [s.l.], v. 15, p.24-43, jan. 1981.

SCHUMM, Stanley A. Alluvial river response to active tectonics. In: A SCHUMM, Stanley (Ed.). **Active tectonics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1986. p. 80-94.

SCHUMM Stanley A. Active Tectonics and Alluvial Rivers. In: Dumont, F J; Holbrook, J M (Ed.). **Active Tectonics and Alluvial Rivers**. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 276.f.

SCHUMM Stanley A. Rivers and humans—Unintended consequences. In: GUPTA, A. (Ed.). **Large Rivers: Geomorphology and Management**. Chichester: John Wiley & Sons, 2007. p. 517-533.

SHAHZAD, FAIZAL; MAHMOOD, SYED AMER; GLOAGUEN, RICHARD. Drainage network and lineament analysis: an approach for Potwar Plateau (northern Pakistan). **Journal Of Mountain Sciences**, [s.l.], v. 1, n. 6, p.14-24, fev. 2009.

SHAHZAD, FAIZAL; GLOAGUEN, RICHARD. TecDEM: A MATLAB based toolbox for tectonic geomorphology, part 1: drainage network preprocessing and stream profile analysis. **Comp & Geoci**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.250-260, fev. 2011(a).

SHAHZAD, FAIZAL; GLOAGUEN, RICHARD. TecDEM: A MATLAB based toolbox for tectonic geomorphology, part 2: Surface dynamics and basin analysis. **Comp & Geoci**, [s.l.], v. 1, n. 37, p.261-271, fev. 2011(b).

SIMÕES, LUÍS AMARANTE. Dobras em bainha macroscópicas relacionadas ao cisalhamento dúctil de baixo ângulo da Nappe Araxá-Canastra. **Geociências**, São Paulo, v. 12, n. 1, p.111-121, jan. 1993.

SOARES, C. J. et al. Further investigation of the initial fission-track length and geometry factor in apatite fission-track thermochronology. **American Mineralogist**, [s.l.], v. 98, n. 8-9, p.1381-1392, fev. 2013.a

SUMMERFIELD, M. Neotectonics and landform genesis. **Progress In Physical Geography**, [s.l.], v. 11, n. 11, p.384-397, 1987.

SUMMERFIELD, M. **Global Geomorphology: An Introduction to the Study of Landforms**. New York: John Wiley Inc, 1991. 537 f.

STEINER, SAMAR DOS SANTOS. **Aquisição e processamento de dados morfométricos derivados do modelo digital de elevação SRTM**. 2007. 1 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2007.

STRAHLER, A N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions Of The American Geophysical Union**, Si, v. 6, n. 8, p.913-920, jan. 1957.

VALADÃO, R. C. **Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental (Desnudação, Superfícies de Aplainamento e Soerguimentos Crustais)**. 1998. 243 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1998.

VALERIANO, C. M. et al. U-Pb geochronology of the southern Brasília belt (SE-Brazil): sedimentary provenance, Neoproterozoic orogeny and assembly of west Gondwana. **Precambrian Research**, [s.l.], v. 1, n. 130, p.27-55. 2004.

ZANI, H; ANDRADE FILHO, C. Hipsometria aplicada à evolução do megaleque do Taquari. In: 3º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** . Cáceres: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2010. v. 1, p. 203 - 203.

ASSIMILAÇÃO DE DADOS COM O MÉTODO LETKF NO OCEANO ATLÂNTICO SUDOESTE: A IMPORTÂNCIA DAS OBSERVAÇÕES DE SATÉLITE

Leonardo Nascimento Lima

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, São Paulo, Brasil

Luciano Ponzi Pezzi

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
São José dos Campos, São Paulo, Brasil

RESUMO: Modelos numéricos dos oceanos incorporam erros que são originados por diferentes fontes (por exemplo, forçantes atmosféricas, parametrizações físicas, condições de contorno, batimetria, erro numérico). Os métodos de assimilação de dados combinam observações com resultados de modelos numéricos e produzem as análises, que são resultados mais acurados. Neste estudo, foram conduzidas simulações por conjuntos utilizando o Regional Ocean Modeling System (ROMS) no oceano Atlântico Sudoeste visando investigar as incertezas na representação numérica do oceano que são derivadas de perturbações nas forçantes atmosféricas. As perturbações nas componentes do vento provocaram um maior impacto no espalhamento do conjunto oceânico em relação às perturbações aplicadas sobre outras variáveis atmosféricas. Os resultados mostraram uma forte influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul no oceano subjacente. Em seguida, experimentos que

utilizaram o método de assimilação de dados Local Ensemble Transform Kalman Filter com o ROMS investigaram o impacto da assimilação dos perfis de temperatura (T) e salinidade (S), topografia dinâmica absoluta (ζ) e temperatura da superfície do mar (TSM) na representação numérica do oceano a partir do modelo regional. Os resultados exibiram a importância da assimilação dos perfis T/S para a correção da representação termohalina, reduzindo o erro quadrático médio da T e S em 39% e 27%, respectivamente. A assimilação de ζ foi importante para produzir uma representação da mesoescala oceânica com mais acurácia, principalmente na região da Confluência Brasil-Malvinas. A assimilação de TSM produziu melhorias adicionais para a T nos níveis verticais do modelo que são internos à camada de mistura oceânica.

PALAVRAS-CHAVE: Confluência Brasil-Malvinas, filtro de Kalman por conjuntos, modelagem oceânica regional.

ABSTRACT: Numerical ocean models incorporate errors that are originated from different sources (e.g. atmospheric forcing, physics parameterization, boundary conditions, bathymetry, numerical error). Data assimilation is an important tool for correcting the numerical representation generated by the ocean model itself. In this study, ensemble experiments were

performed using Regional Ocean Modeling System (ROMS) in the Southwest Atlantic Ocean (55°S – 5°S; 70°W – 20°W), with the aim to investigate uncertainties in the ocean state that derived from perturbations in atmospheric forcing fields. The wind component perturbations dominated and provoked the largest impact in the ocean ensemble spread as compared with other atmospheric variables. The results indicated a strong influence of the South Atlantic Convergence Zone on the underlying ocean. Next, the Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF) was applied to ROMS in order to examine the impact of the assimilation of observed temperature and salinity (TS) profiles, absolute dynamic topography (ADT) and sea surface temperature (SST) on the regional ocean analysis. The results showed the importance of the T/S profiles assimilation to correct the thermohaline representation, reducing the root mean square error of T and S in 39% and 27% respectively. The ADT assimilation was important to produce a more accurate representation of the oceanic mesoscale mainly in the Brazil-Malvinas Confluence region. SST assimilation was important to provide additional improvements to the T at the model vertical levels within the oceanic mixed layer.

KEYWORDS: Brazil-Malvinas Confluence, ensemble Kalman filter, oceanic regional modeling.

1 | INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os métodos de assimilação de dados (MADs) se tornaram ferramentas importantes, pois combinam as observações de satélite e *in situ* com os resultados de um modelo numérico e produzem as análises, que constituem resultados mais acurados em relação àqueles derivados puramente do modelo (KALNAY, 2003). Com a assimilação de dados, as informações das observações podem ser propagadas para diferentes regiões oceânicas através da dinâmica do modelo numérico. As análises então permitem um melhor entendimento dos mecanismos físicos responsáveis pela variabilidade dos oceanos e também podem ser usadas como condição inicial de modelos previsores.

O desenvolvimento dos sistemas de observação do oceano tem sido crucial para a melhoria dos resultados obtidos com a assimilação de dados, visto que a qualidade da análise é fortemente dependente do número de observações disponíveis. A evolução desses sistemas foi potencializada principalmente pelo desenvolvimento da capacidade da oceanografia por satélites, permitindo a aquisição de dados com alta cobertura espacial e temporal, como por exemplo as observações da altura do nível do mar (ANM), temperatura da superfície do mar (TSM) e salinidade superficial do mar (SSM) provenientes, respectivamente, das missões Jason, Aqua e Aquarius (<http://podaac.jpl.nasa.gov/>). Os instrumentos a bordo de satélites proporcionam informações valiosas sobre os oceanos. Por exemplo, os altímetros fornecem dados de altura do nível do mar em alta resolução espacial e temporal. O nível do mar é diretamente relacionado à circulação oceânica através da aproximação geostrófica (RISIEN;

STRUB, 2016). O avanço dos altímetros ajudou no conhecimento da circulação oceânica em alta resolução, possibilitando muitas descobertas de processos oceânicos importantes, como aqueles associados à variabilidade de mesoescala dos oceanos. Nas regiões menos cobertas por nuvens e ao longo das zonas costeiras, os dados de TSM do radiômetro *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) são importantes e constituem 40% ou mais dos dados de TSM disponíveis. Em geral, os satélites fornecem informações substanciais sobre a variabilidade espacial e temporal na superfície dos oceanos, entretanto, eles são insuficientes quando o objetivo é a representação da variabilidade de subsuperfície. Desta forma, o desenvolvimento do sistema Argo (FREELAND et al., 2010), composto por flutuadores autônomos, e de outras plataformas de observação *in situ* (e.g. boias meteo-oceanográficas, *gliders*) vem sendo importante para a representação dos campos de temperatura (T) e salinidade (S), principalmente em subsuperfície.

Este capítulo descreve os MADs destacando a importância da estimativa, com acurácia, das incertezas do modelo numérico, especialmente para os métodos baseados em conjuntos. Estas incertezas são estudadas aqui através de experimentos por conjuntos com perturbações nas forçantes atmosféricas. Além disso, são apresentados os resultados de experimentos de assimilação de dados com o método *Local Ensemble Transform Kalman Filter* (LETKF) (HUNT et al., 2007), enfatizando a influência das observações de satélite na qualidade da previsão oceânica.

2 | MÉTODOS DE ASSIMILAÇÃO DE DADOS

Os MADs corrigem as soluções numéricas geradas pelos modelos oceânicos em direção às observações. Eles combinam os resultados do modelo e as observações levando em consideração as incertezas destas duas fontes para produzir um campo mais acurado, a análise oceânica (KALNAY, 2003). A estimação das incertezas das observações considera o erro do instrumento de medição (ϵ), o erro de representatividade (δ) e, em algumas situações, os erros associados com a distância temporal entre cada observação e o momento de criação da análise (τ) (OKE et al., 2008). Valores típicos de ϵ são iguais a 0,04 m e 0,25 °C respectivamente para as observações de nível do mar e TSM oriundas de satélite (OKE et al., 2008). O δ é relacionado às diferenças nas resoluções espaciais do modelo e das observações e, de uma forma generalizada, pode ser atribuído a qualquer processo físico que é caracterizado a partir das observações, mas tem uma representação limitada através do modelo (OKE; SAKOV, 2008). As informações desses erros são armazenadas na matriz de covariância dos erros das observações.

Por outro lado, as incertezas do modelo são difíceis de serem estimadas e têm um impacto crucial na qualidade da análise. Surgiram diversas estratégias de estimação dessas incertezas de modo que os MADs as incluam na matriz de covariância dos

erros do *background*. Esta matriz inclui as covariâncias dos erros entre as variáveis do vetor de estado do modelo numérico. Os MADs menos robustos, como a interpolação ótima (HOLLINGSWORTH; LÖNNBERG, 1986; LIMA; TANAJURA, 2013), empregam uma matriz de covariância dos erros do *background* prescrita, que não varia no tempo. Enquanto os métodos avançados, como o *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) (EVENSEN, 1994), buscam estimar essa matriz a partir das covariâncias dos erros que dependem do fluxo, *i.e.*, variam de acordo com a dinâmica do modelo numérico e evoluem durante os ciclos de assimilação de dados.

O EnKF é um método por conjuntos no qual os erros do modelo são estimados a partir de um conjunto de integrações, que evoluem no tempo, do próprio modelo. A eficácia do EnKF depende do tamanho desse conjunto, que é definido pelo número de membros. Se o número de membros do conjunto é suficiente o bastante e se o modelo tem um viés desprezível, a estimação da matriz de covariância dos erros do *background* pode ser uma boa aproximação do “erro do dia”. Em contrapartida, a utilização de um conjunto de tamanho reduzido pode conduzir à divergência do filtro (*i.e.*, a análise tende a divergir da realidade enquanto o espalhamento do conjunto permanece pequeno). A fim de resolver esta divergência em sistemas de alta dimensão, algumas estratégias podem ser utilizadas: a localização para reduzir o problema de alta dimensão das matrizes envolvidas na etapa da análise, além de filtrar os ruídos derivados de covariâncias espúrias (MIYOSHI et al., 2007) e a inflação para evitar a subestimação das variâncias dos erros (MIYOSHI, 2011). Desta forma, a utilização do EnKF com modelos oceânicos tem empregado um tamanho do conjunto de $O(10) - O(100)$ membros e aplicado ambos localização e/ou inflação (HOFFMAN et al., 2012; SAKOV et al., 2012). Novos MADs combinam as abordagens dos métodos por conjuntos e variacionais (*e.g.* 3DVar, 4DVar), prevenindo os problemas intrínsecos derivados da aplicação de cada abordagem sozinha. Estes métodos híbridos podem reduzir a sensibilidade às estratégias de localização e inflação, particularmente, quando se tem um tamanho do conjunto reduzido (PENNY, 2014), e podem também mitigar os problemas relacionados aos erros sistemáticos do modelo (PENNY et al., 2015; PENNY, 2017).

Diversos MADs baseados em conjuntos são derivados do EnKF, destaca-se aqui o LETKF em função deste método ser computacionalmente bastante eficiente em relação aos seus antecessores (MIYOSHI; YAMANE, 2007). No LETKF, a análise é gerada de forma independente para cada ponto de grade do modelo numérico usando somente as observações localizadas ao redor desse ponto, o que favorece a elaboração de um algoritmo em paralelo. Trata-se de um *Square Root Filter* (WHITAKER; HAMILL, 2002) onde a equação da análise é resolvida através da média do conjunto, de tamanho n , da seguinte forma:

$$\mathbf{X}^a = \mathbf{X}^b + \mathbf{K}(\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\mathbf{X}^b)), \quad (1)$$

onde \mathbf{X} contém a média do conjunto de todas as variáveis do modelo oceânico

(e.g. $T, S, u, v, \zeta, u_{\text{bar}}, v_{\text{bar}}$) em um único vetor de tamanho N . Os índices sobrescritos a e b indicam, respectivamente, análise e *background*. \mathbf{K} é a matriz de ganho de Kalman, \mathbf{y}^o denota um vetor que inclui as observações, \mathbf{H} é operador da observação o qual projeta $\bar{\mathbf{X}}^b$ no espaço das observações. Diferente do EnKF, a matriz de covariância dos erros do *background* não é explicitamente calculada no LETKF. Em vez disso, perturbações do conjunto do *background* ($\delta\mathbf{X}^b$), de tamanho m , são transformadas em perturbações do conjunto da análise ($\delta\mathbf{X}^a$):

$$\delta\mathbf{X}^a = \delta\mathbf{X}^b \left[(m-1)\tilde{\mathbf{P}}^a \right]^{1/2}, \quad (2)$$

com $\delta\mathbf{X} = \mathbf{X} - \bar{\mathbf{X}}$ uma matriz $N \times m$ cujas as colunas são as perturbações do conjunto. A covariância dos erros da análise $\tilde{\mathbf{P}}^a$ é dada pela equação:

$$\tilde{\mathbf{P}}^a = \left[(m-1)\mathbf{I} + (\mathbf{H}\delta\mathbf{X}^b)^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{H}\delta\mathbf{X}^b \right]^{-1}. \quad (3)$$

\mathbf{R} é simétrica e corresponde a matriz de covariância dos erros das observações. Trata-se de uma matriz diagonal onde os elementos que não pertencem à diagonal principal são iguais a zero, significando que as covariâncias entre os erros de diferentes observações não são consideradas. A diagonal principal inclui as variâncias das observações, a partir dos valores de $\varepsilon_i, \varepsilon_r$ e ε_a .

Em seguida, a média do conjunto da análise é determinada pela equação:

$$\bar{\mathbf{X}}^a = \bar{\mathbf{X}}^b + \delta\mathbf{X}^b \tilde{\mathbf{P}}^a (\mathbf{H}\delta\mathbf{X}^b)^T \mathbf{R}^{-1} \left(\mathbf{y}^o - \mathbf{H}(\bar{\mathbf{X}}^b) \right). \quad (4)$$

Esta média é usada para obter um novo conjunto de análises, somando-a aos membros da matriz de perturbações do conjunto da análise, que são provenientes da equação 2. Então, esse novo conjunto de m análises é utilizado como condição inicial para um próximo ciclo de integrações do modelo numérico ou ciclo de previsões em sistemas de previsão oceânica.

3 | INVESTIGAÇÃO DAS INCERTEZAS DO MODELO A PARTIR DE EXPERIMENTOS POR CONJUNTOS E ASSIMILAÇÃO DE DADOS NO ATLÂNTICO SUDOESTE

Esta seção apresenta as configurações do *Regional Ocean Modeling System* (ROMS), que é o modelo oceânico utilizado na realização dos experimentos por conjuntos. A finalidade aqui é investigar as incertezas no modelo oceânico que são derivadas de perturbações nas forçantes atmosféricas e o impacto da assimilação de dados com o método LETKF no Atlântico Sudoeste.

3.1. O Modelo Oceânico

O ROMS é um modelo oceânico regional, de superfície livre e de coordenadas verticais sigma, que seguem a batimetria. Ele resolve a equação de Navier-Stokes usando a média de Reynolds, a aproximação de Boussinesq e o balanço de momentum vertical hidrostático (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005).

Os experimentos realizados neste estudo utilizaram o ROMS para o domínio numérico 55°S-5°S; 70°W-20°W com resolução horizontal 1/12°, sendo 602 pontos na direção zonal e 736 pontos na direção meridional, e 30 níveis verticais. Este domínio resolve o Atlântico Sudoeste. As integrações utilizaram forçantes atmosféricas a cada 6 h. Estas forçantes são campos atmosféricos de radiação de onda curta, radiação de onda longa, precipitação, pressão atmosférica, umidade específica, temperatura da superfície do ar e velocidade do vento em 10 m provenientes do *Climate Forecast System Reanalysis do National Centers for Environmental Prediction (CFSR/NCEP)* (SAHA et al., 2010). Os fluxos superficiais de calor sensível, calor latente e momentum foram calculados a partir das forçantes atmosféricas utilizando a formulação *bulk* descrita em Fairall et al. (1996) e Fairall et al. (2003). Como condições de contorno laterais oceânicas, foram empregados campos médios mensais de T, S, velocidade das correntes e altura da superfície do mar derivados da reanálise *Simple Ocean Data Assimilation* (CARTON; GIESE, 2008). Os experimentos utilizam a batimetria derivada do ETOPO *high-resolution global topography* (AMANTE; EAKINS, 2009).

3.2. Experimentos Incluindo Perturbações nas Forçantes Atmosféricas e sem Assimilação de Dados

Experimentos sem assimilação de dados iniciaram em 1 de janeiro de 2009 a partir de um conjunto constituído por 28 condições iniciais idênticas, i.e., o espalhamento inicial é nulo. Em seguida, as perturbações são realizadas nas forçantes atmosféricas. Os experimentos avançam com cada membro do seu conjunto integrado de forma independente. Portanto, as perturbações causam a divergência dos membros e conseqüentemente, são responsáveis pelo aumento do espalhamento do conjunto ao longo do tempo. O espalhamento é o desvio padrão dos membros do conjunto em relação à média, e fornece uma estimativa quantitativa das incertezas que dependem do fluxo.

As perturbações nas forçantes atmosféricas são realizadas nas variáveis do CSFR que são usadas pela fórmula *bulk* do ROMS. Os campos de perturbações são provenientes da reanálise atmosférica chamada 20th Century Reanalysis version 2c (20CR) (COMPO et al., 2011). Trata-se de uma reanálise por conjuntos que é constituída por 56 membros. Neste estudo, foram escolhidos apenas 28 membros de forma aleatória. A média destes 28 membros é subtraída de cada membro para gerar as respectivas perturbações $\delta X_m^R = X_m^R - \bar{X}^R$, onde m é um membro do conjunto e o

índice sobrescrito R indica 20CR. As perturbações foram interpoladas para a resolução do CFSR usando um programa de computador que é estruturado com o Earth System Modeling Framework (www.earthsystemcog.org/projects/regridweightgen/). Os campos perturbados do CFSR foram então calculados por $\tilde{X}_m^C = \bar{X}^C + \delta X_m^R$, onde m é um membro do conjunto e o índice sobrescrito C indica CFSR. Os campos foram preparados a cada 6 h de modo que as perturbações atmosféricas variam com o tempo. Quatro experimentos por conjuntos foram realizados aplicando perturbações separadamente aos campos de vento, fluxos de radiação e precipitação. Um experimento final foi realizado aplicando simultaneamente perturbações a todos os campos do forçamento atmosférico.

3.3. Experimentos de Assimilação de Dados

Os experimentos realizados com assimilação de dados iniciaram em 1 de julho de 2009 e utilizaram somente o conjunto inicial de 28 membros proveniente do experimento que inclui as perturbações sobre todas as forçantes atmosféricas. Mesmo incluindo a assimilação de dados, as perturbações nas forçantes atmosféricas persistiram no tempo para representar as incertezas do modelo numérico que dependem do fluxo de forma adequada, mantendo um espalhamento do conjunto satisfatório ao longo da integração. Caso o contrário, após diversos ciclos de assimilação, o conjunto pode apresentar um espalhamento bastante reduzido. A manutenção das perturbações então evita um colapso do conjunto e a divergência do filtro.

Diversos experimentos foram realizados incluindo a assimilação de perfis T/S, topografia dinâmica absoluta (ζ) e TSM. O LETKF é um método multivariado, *i.e.*, a assimilação de um tipo de observação interfere em todas as variáveis do vetor de estado do modelo numérico. Entretanto, a assimilação de TSM não impactou a S nos experimentos conduzidos neste estudo. O impacto da assimilação dessas observações na representação do oceano é acessado a partir da avaliação da média das “previsões”. A previsão oceânica propriamente dita utiliza forçantes atmosféricas e condições de contorno laterais provenientes respectivamente de modelos de previsão atmosférico e oceânico. Porém isto não ocorreu neste estudo, por se tratar de um estudo diagnóstico e não prognóstico. Um experimento foi realizado sem assimilação e denominado de experimento de controle. O experimento de controle é uma simulação única com o ROMS e utilizou, como condição inicial, a média do conjunto oceânico calculada em 1 de julho de 2009 a partir do experimento que incluiu perturbações sobre todas as forçantes atmosféricas.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta os resultados do espalhamento das variáveis oceânicas

na superfície em 7 de janeiro de 2009. Buscou-se avaliar o impacto de curto-prazo das perturbações atmosféricas no oceano a partir dos experimentos sem assimilação de dados. Após 7 dias, identificou-se um maior impacto, com maiores valores de espalhamento, quando todas as variáveis atmosféricas são perturbadas. As perturbações nos ventos promovem um impacto nas correntes de superfície de forma análoga, confirmando o importante papel que os ventos têm na transferência de momentum da atmosfera para o oceano. Os ventos também são importantes no cálculo dos fluxos de calor sensível e calor latente através da formulação *bulk*, justificando os valores expressivos que são encontrados nos campos de espalhamento da TSM e SSM.

Em janeiro de 2009, o Boletim CLIMANÁLISE (CLIMANÁLISE, 2009) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) documentou dois eventos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O primeiro se estendeu de 4 a 8 de janeiro e pode ser caracterizado como um caso de ZCAS oceânica (PEZZI et al., 2016). A presença da ZCAS promove um impacto importante, principalmente no campo de espalhamento da SSM que é derivado do experimento com perturbações na precipitação. A análise deste campo permite a identificação de uma banda com orientação NW-SE e perpendicular a linha de costa, onde os valores do espalhamento são relativamente mais elevados. Essa banda está localizada no oceano em torno de 20°S-30°S e 30°W-45°W e coincide com a posição da ZCAS (Fig. 2). O sinal da ZCAS está presente no espalhamento do conjunto de uma determinada variável oceânica dependendo do tipo de perturbação atmosférica. Na região oceânica subjacente à ZCAS, os experimentos com perturbações na precipitação e dos fluxos de radiação geram valores de espalhamento elevados respectivamente para SSM e TSM, excedendo 0,08 e 0,2 °C. Devido à transferência de momentum na superfície, as perturbações do vento estendem o impacto para as componentes u e v de velocidade das correntes, com o espalhamento destas variáveis alcançando valores maiores que 0,1 m s⁻¹.

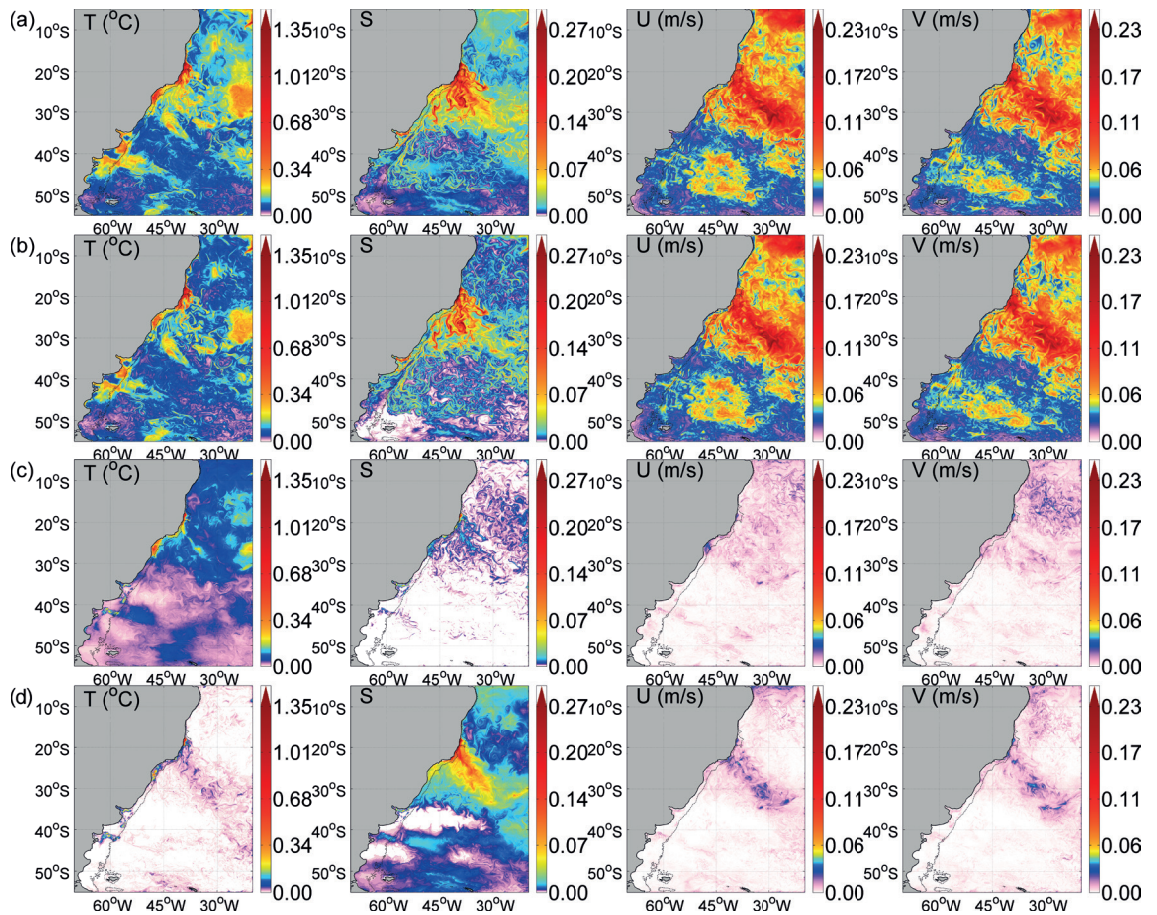


Figura 1: Espalhamento do conjunto das principais variáveis do modelo oceânico na superfície: TSM (°C), SSM, u (m/s) e v (m/s). Os experimentos estão ordenados, de cima para baixo, de acordo com o impacto na TSM. O espalhamento é calculado em 7 de janeiro de 2009 a partir dos resultados dos experimentos por conjuntos com perturbações sobre (a) todos os forçantes, (b) ventos, (c) fluxos de radiação e (d) precipitação.

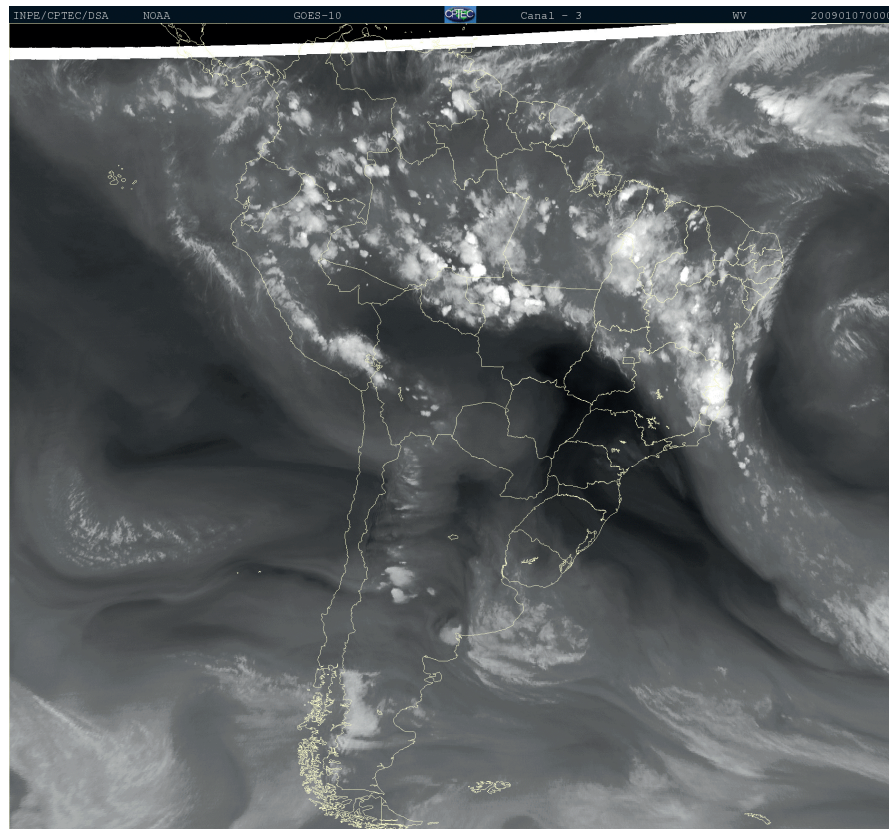


Figura 2: Imagem de alta resolução de vapor d'água proveniente do satélite GOES-10. Nota-se a presença da ZCAS em 7 de janeiro de 2009 (extraído de <http://satellite.cptec.inpe.br/>).

Um estudo da variabilidade da mesoescala oceânica foi conduzido através da avaliação qualitativa da energia cinética turbulenta (ECT) (Fig. 3). Como referência, utilizou-se o campo médio da ECT gerado a partir das componentes u e v de velocidade do *Ocean Surface Current Analyses* (OSCAR) (Dohan et al., 2010). Este campo apresenta um padrão não-homogêneo a partir do qual é possível distinguir a Corrente do Brasil (CB), Corrente das Malvinas (CM) e Confluência Brasil-Malvinas (CBM). Provost e Le Traon (1993), a partir de dados altimétricos, estimaram valores de ECT iguais a $800 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$, $150 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ e $1700 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ nas regiões da CB, CM e CBM, respectivamente. Enquanto o campo do OSCAR exibe valores que alcançam $500 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ sobre a CB, $500\text{-}750 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ sobre a CM e superam $1500 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ sobre a CBM. Esse padrão não é visto no campo médio do experimento de controle, no qual os valores da ECT variam entre 500 e $1250 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-2}$ ao longo de quase toda extensão da quebra da plataforma continental. Em latitudes mais baixas, os resultados do experimento de controle não permitem distinguir as regiões da CB, CBM e CM. A assimilação de dados somente dos perfis T/S é importante e produz valores de ECT que se aproximam daqueles do OSCAR, embora não proporcione fielmente a representação das feições espaciais presentes nesse campo de referência. Em contrapartida, o experimento que inclui a assimilação de ζ reproduz mais propriamente os valores de ECT do OSCAR, principalmente sobre a CBM. Isto indica a importância da assimilação de dados altimétricos visando a representação da variabilidade da mesoescala oceânica com acurácia.

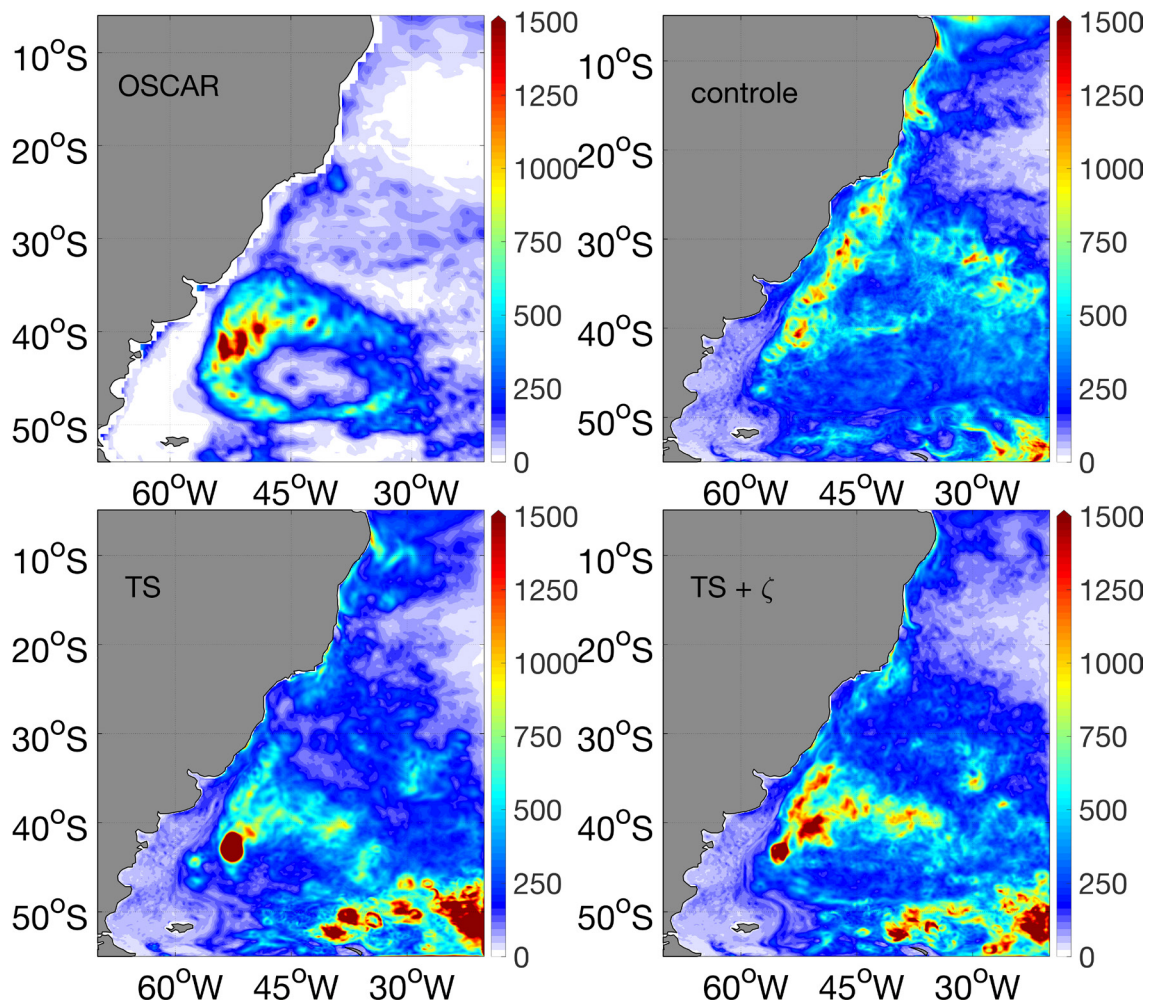


Figura 3: Mapas horizontais da ECT em $\text{cm}^2 \text{s}^{-2}$ produzidos a partir das componentes horizontais da velocidade u e v . As médias são calculadas de 1 de julho de 2009 a 30 de junho de 2010 a partir das análises objetivas de u e v na resolução horizontal de $1/3^\circ$ do OSCAR e os resultados de u e v do experimento de controle e das médias das previsões dos experimentos com assimilação de perfis T/S e assimilação de perfis T/S e ζ .

A avaliação do impacto da assimilação em subsuperfície foi verificada através de perfis verticais da média do erro quadrático médio (EQM) de T e S (Fig. 4). A assimilação dos perfis T/S é crucial e promove uma redução do EQM de $0,19 \text{ }^\circ\text{C}$ e $0,08$ na camada de mistura, $1,08 \text{ }^\circ\text{C}$ e $0,12$ respectivamente na termoclina e haloclina, e $0,30 \text{ }^\circ\text{C}$ e $0,03$ no oceano profundo. Além da assimilação de T/S, a inclusão da assimilação de ζ promove um impacto discreto, produzindo uma pequena correção da T acima de aproximadamente 303 m. Entretanto, a inclusão de ζ degrada a T em níveis mais profundos. Com a assimilação de T/S, ζ e TSM, as correções da T se estendem às profundidades acima de 366 m, devido à adição da TSM. Neste caso, a TSM mostra-se crucial na correção do perfil de T, principalmente na região da camada mistura oceânica. Oke e Schiller (2007) identificaram um impacto da assimilação de TSM dependente da profundidade da camada de mistura em latitude. Acima de 165 m, a correção se estende ao perfil de S, indicando que as correções da T, em função da assimilação de TSM, podem ser estendidas à S através da dinâmica do modelo numérico. Em profundidades mais elevadas, prevalece um impacto ligeiramente negativo decorrente da assimilação de ζ .

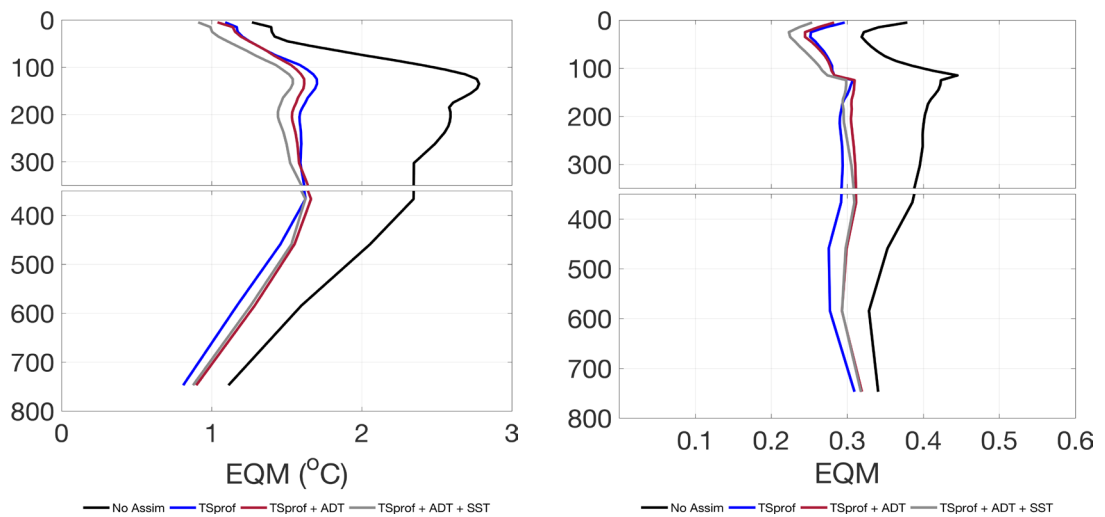


Figura 4: Perfis verticais médios do EQM de T em °C (painel esquerdo) e S (painel direito). O eixo indica a profundidade (em m). O EQM é computado de 1 de julho de 2009 a 30 de junho de 2010 entre as observações de T e S provenientes dos perfis verticais *in situ* e os resultados do experimento de controle (preto) e das médias das previsões dos experimentos com assimilação de somente perfis T/S (azul), perfis T/S e ζ (vermelho), perfis T/S, ζ e TSM (cinza).

5 | CONCLUSÕES

Neste capítulo, foram apresentadas e discutidas simulações numéricas oceânicas por conjuntos realizadas com perturbações nas forçantes atmosféricas. O principal objetivo foi investigar as incertezas nas representações numéricas do modelo. A resposta de curto-prazo mostrou a importância dos ventos no cálculo dos fluxos de momentum, calor sensível e calor latente através da formulação *bulk* do ROMS. Apenas as perturbações nos ventos produziram valores do espalhamento das variáveis oceânicas comparáveis aos gerados quando todas as forçantes atmosféricas foram perturbadas. Enquanto as perturbações nos campos de radiação (precipitação) produziram um maior impacto somente na TSM (SSM). Assim, a utilização de estratégias que aplicam perturbações apenas nos ventos pode ser suficiente, ao menos, no oceano Atlântico Sudoeste. Constatou-se a influência de fenômenos atmosféricos importantes que ocorrem nessa região, como a ZCAS. O espalhamento do conjunto das variáveis atmosféricas perturbadas apresentou valores relativamente mais altos ao longo da ZCAS. Respondendo às perturbações atmosféricas nessa região, os valores do espalhamento do conjunto das variáveis oceânicas foram mais elevados, como foi verificado nos resultados do espalhamento da SSM a partir da simulação por conjuntos com perturbações no campo de precipitação. Outras alternativas de perturbações a serem incluídas no modelo numérico (por exemplo: parametrizações físicas, condições de contorno laterais, batimetria) não são verificadas aqui. Entretanto, a resposta do oceano as perturbações de outras variáveis atmosféricas, além de comparações com perturbações no campo de batimetria são investigadas em Lima et al. (2018) e Lima (2018). Estes trabalhos mostram que as características do campo do espalhamento do conjunto das variáveis oceânicas dependeram de como cada variável atmosférica

foi utilizada no cálculo dos fluxos turbulentos atmosféricos através da fórmula *bulk*. Em adição, eles identificaram um impacto, com maiores valores do espalhamento do conjunto, ao longo da simulação por conjuntos que empregou perturbações no campo de batimetria do modelo oceânico, especialmente em águas rasas, em consequência do modelo oceânico ROMS ser estruturado com coordenadas verticais que seguem a batimetria.

Os experimentos de assimilação de dados foram avaliados e os resultados mostraram a importância da assimilação de dados na correção da representação oceânica no Atlântico Sudoeste. A assimilação de perfis T/S é fundamental na correção da T e S em subsuperfície. A assimilação de dados altimétricos são importantes para a representação da variabilidade da mesoescala oceânica com acurácia. As correções impostas ao nível do mar do modelo oceânico podem ser transmitidas para as componentes de velocidade das correntes através da assimilação de ζ e da própria física do modelo pela aproximação geostrófica. No entanto, alguns ajustes estão sendo planejados buscando evitar o impacto negativo da assimilação de ζ nos níveis mais profundos de T e S. A assimilação de TSM promove a correção de T nos níveis mais superficiais do modelo que estão internos à camada de mistura oceânica. As correções da T podem ser estendidas à S pela dinâmica interna do modelo numérico.

REFERÊNCIAS

AMANTE, C.; EAKINS, B. W. **ETOPO1 1 Arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis**. NOAA Technical Memorandum NESDIS NGDC-24, p. 19, Mar. 2009. Disponível em: <<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>>.

CARTON, J. A.; GIESE, B. S. **A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA)**. Monthly Weather Review, v. 136, n. 8, p. 2999–3017, 2008.

CLIMANÁLISE. **Boletim de Monitoramento e Análise Climática (CPTEC/INPE) Climanálise**, 2009. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/pdf/pdf03/jan03.pdf>>.

COMPO, G. P.; WHITAKER, J. S.; SARDESHMUKH, P. D.; MATSUI, N.; ALLAN, R. J.; YIN, X.; GLEASON, B. E.; VOSE, R. S.; RUTLEDGE, G.; BESSEMOULIN, P.; BRÖNNIMANN, S.; BRUNET, M.; CROUTHAMEL, R. I.; GRANT, A. N.; GROISMAN, P. Y.; JONES, P. D.; KRUK, M. C.; KRUGER, A. C.; MARSHALL, G. J.; MAUGERI, M.; MOK, H. Y.; NORDLI, O.; ROSS, T. F.; TRIGO, R. M.; WANG, X. L.; WOODRUFF, S. D.; WORLEY, S. J. **The twentieth century reanalysis project**. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 137, n. 654, p. 1–28, 2011.

DOHAN, K.; BONJEAN, F.; CENTURIONI, L.; CRONIN, M.; LAGERLOEF, G.; LEE, D.-K.; LUMPKIN, R.; MAXIMENKO, N. A.; NIILER, P. P.; UCHIDA, H. **Measuring the Global Ocean Surface Circulation with satellite and in situ observations**. In: OCEANOBS'09, 2009. European Space Agency Publication, 2010. Disponível em: <<http://www.oceanobs09.net/proceedings/cwp/cwp23>>.

EVENSEN, G. **Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics**. Journal of Geophysical Research, v. 99, n. C5, p. 10143, 1994.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; HARE, J. E.; GRACHEV, A. A.; EDSON, J. B. **Bulk**

parameterization of air-sea fluxes: updates and verification for the COARE algorithm. Journal of Climate, v. 16, n. 4, p. 571–591, 2003.

FAIRALL, C. W.; BRADLEY, E. F.; ROGERS, D. P.; EDSON, J. B.; YOUNG, G. S. **Bulk parameterization of air-sea fluxes for Tropical Ocean-Global Atmosphere Coupled-Ocean Atmosphere Response Experiment.** Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 101, n. C2, p. 3747–3764, 1996.

FREELAND, H. J.; ROEMMICH, D.; GARZOLI, S. L.; LETRAON, P.-Y.; RAVICHANDRAN, M.; RISER, S.; THIERRY, V.; WIJFFELS, S.; BELBÉOCH, M.; GOULD, J.; GRANT, F.; IGNAZEWSKI, M.; KING, B.; KLEIN, B.; MORK, K. A.; OWENS, B.; POULIQUEN, S.; STERL, A.; SUGA, T.; SUK, M.-S.; SUTTON, P.; TROISI, A.; VÉLEZ-BELCHI, P. J.; XU, J. **Argo: a decade of progress.** In: OCEANOBS'09, 2009. European Space Agency Publication, 2010. Disponível em: <<http://www.oceanobs09.net/proceedings/cwp/cwp32>>.

HOFFMAN, M. J.; MIYOSHI, T.; HAINE, T. W. N.; IDE, K.; BROWN, C. W.; MURTUGUDDE, R. An advanced data assimilation system for the Chesapeake Bay: performance evaluation. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 29, n. 10, p. 1542–1557, 2012.

HOLLINGSWORTH, A.; LÖNNBERG, P. **The statistical structure of short-range forecast errors as determined from radiosonde data. Part I: The wind field.** Tellus A, v. 38A, p. 111–136, 1986.

HUNT, B. R.; KOSTELICH, E. J.; SZUNYOGH, I. **Efficient data assimilation for spatiotemporal chaos: A local ensemble transform Kalman filter.** Physica D: Nonlinear Phenomena, v. 230, n. 1–2, p. 112–126, 2007.

KALNAY, E. **Atmospheric modeling, data assimilation and predictability.** Cambridge: Cambridge University Press, 2003. ISBN 9780521796293. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Uqc7zC7NULMC>>

LIMA, L. N.; TANAJURA, C. A. S. **A study of the impact of altimetry data assimilation on short-term predictability of the HYCOM ocean model in regions of the Tropical and South Atlantic Ocean.** Revista Brasileira de Geofísica, v. 31, n. 2, p. 271–288, 2013.

LIMA, L. N.; PEZZI, L. P.; PENNY, S. G.; TANAJURA, C. A. S. (Em revisão). **An investigation of ocean model uncertainties through ensemble forecast experiments in the Southwest Atlantic Ocean.** Journal of Geophysical Research: Oceans, 2018.

LIMA, L. N. **Estudo das incertezas na simulação por conjuntos e no uso da assimilação de dados no oceano Atlântico Sudoeste.** 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, São Paulo.

MIYOSHI, T. **The Gaussian approach to adaptive covariance inflation and its implementation with the local Ensemble transform Kalman Filter.** Monthly Weather Review, v. 139, n. 5, p. 1519–1535, 2011.

MIYOSHI, T.; YAMANE, S. **Local Ensemble Transform Kalman Filtering with an AGCM at a T159/L48 Resolution.** Monthly Weather Review, v. 135, p. 3841–3861, 2007.

MIYOSHI, T.; YAMANE, S.; ENOMOTO, T. **Localizing the error covariance by physical distances within a Local Ensemble Transform Kalman Filter (LETKF).** Sola, v. 3, n. 1, p. 89–92, 2007.

OKE, P. R.; BRASSINGTON, G. B.; GRIFFIN, D. A.; SCHILLER, A. **The Bluelink ocean data assimilation system (BODAS).** Ocean Modelling, v. 21, n. 1–2, p. 46–70, 2008.

OKE, P. R.; SCHILLER, A. **Impact of Argo, SST, and altimeter data on an eddy-resolving ocean reanalysis.** Geophysical Research Letters, v. 34, n. 19, p. 1–7, 2007.

PENNY, S. G. **The hybrid local ensemble transform Kalman Filter**. Monthly Weather Review, v. 142, n. 6, p. 2139–2149, 2014.

PENNY, S. G.; BEHRINGER, D. W.; CARTON, J. A.; KALNAY, E. **A Hybrid Global Ocean Data Assimilation System at NCEP**. Monthly Weather Review, v. 143, n. 11, p. 4660–4677, 2015.

PENNY, S. G. **Mathematical foundations of hybrid data assimilation from a synchronization perspective**. Chaos, v. 27, n. 12, 2017.

PEZZI, L. P.; DE SOUZA, R. B.; QUADRO, M. F. L. **Uma revisão dos processos de interação oceano-atmosfera em regiões de intenso gradiente termal do oceano atlântico sul baseada em dados observacionais**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 31, n. 4, p. 428–453, 2016.

PROVOST, C.; LE TRAON, P.-Y. **Dominance of the semiannual period and large spatial scales**. Journal of Geophysical Research: Oceans, v. 98, p. 18037-18051, 1993.

RISIEN, C. M.; STRUB, P. T. **Blended sea level anomaly fields with enhanced coastal coverage along the U.S. West Coast**. Scientific Data, v. 3, p. 1–15, 2016.

SAHA, S.; MOORTHI, S.; PAN, H. L.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; KISTLER, R.; WOOLLEN, J.; BEHRINGER, D.; LIU, H.; STOKES, D.; GRUMBINE, R.; GAYNO, G.; WANG, J.; HOU, Y. T.; CHUANG, H. Y.; JUANG, H. M. H.; SELA, J.; IREDELL, M.; TREADON, R.; KLEIST, D.; VAN DELST, P.; KEYSER, D.; DERBER, J.; EK, M.; MENG, J.; WEI, H.; YANG, R.; LORD, S.; VAN DEN DOOL, H.; KUMAR, A.; WANG, W.; LONG, C.; CHELLIAH, M.; XUE, Y.; HUANG, B.; SCHEMM, J. K.; EBISUZAKI, W.; LIN, R.; XIE, P.; CHEN, M.; ZHOU, S.; HIGGINS, W.; ZOU, C. Z.; LIU, Q.; CHEN, Y.; HAN, Y.; CUCURULL, L.; REYNOLDS, R. W.; RUTLEDGE, G.; GOLDBERG, M. **The NCEP climate forecast system reanalysis**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 91, n. 8, p. 1015–1057, 2010.

SAKOV, P.; COUNILLON, F.; BERTINO, L.; LISTER, K. A.; OKE, P. R.; KORABLEV, A. **TOPAZ4: an ocean-sea ice data assimilation system for the North Atlantic and Arctic**. Ocean Science, v. 8, n. 4, p. 633–656, 2012.

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. **The regional oceanic modeling system (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model**. Ocean Modelling, v. 9, n. 4, p. 347–404, 2005.

WHITAKER, J. S.; HAMILL, T. M. **Ensemble data assimilation without perturbed observations**. Monthly Weather Review, v. 130, n. 7, p. 1913–1924, 2002.

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO POTENCIAL DA ESPÉCIE *WUNDERLICHIA AZULENZIS*

Alline Zagnoli Villela Motta

Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Diamantina – Minas Gerais

Sollano Rabelo Braga

Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Diamantina – Minas Gerais

Alessandra Morais Melo

Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri Diamantina – Minas Gerais

Nathalia Drummond Marques da Silva

Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Florestais
Lavras – Minas Gerais

Cristiano Christofaro

Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Departamento de Engenharia Florestal
Diamantina – Minas Gerais

RESUMO: Modelos de distribuição potencial de espécies consistem em uma ferramenta poderosa para programas de conservação de recursos naturais, permitindo o mapeamento da probabilidade de ocorrência das espécies. Esse trabalho avalia o desempenho de algoritmos de modelagem na distribuição da espécie *Wunderlichia azulenzis*, que consta na lista das espécies da flora ameaçada de extinção no bioma Caatinga. A partir dos registros de ocorrência da espécie no GBIF (*Global Biodiversity Information Facility*) e de seis

variáveis ambientais, foram gerados mapas de distribuição para a espécie por meio de seis algoritmos distintos. Os algoritmos foram divididos em dois grupos, (apenas presença ou presença e ausência) e avaliados pelo critério AUC (*Area Under the Curve*) e por informações disponíveis na literatura. Os métodos da Distância de Mahalanobis (apenas presença) e Random Forest (presença e ausência) foram considerados os mais eficientes, com elevados AUCs (0,978 e 0,993, respectivamente) e coincidência entre a distribuição gerada e a distribuição esperada nos termos da literatura especializada. Todos os modelos testados apresentaram AUC satisfatório, contudo a distribuição gerada muitas vezes não correspondeu à distribuição esperada pela literatura, indicando que o AUC deve ser considerado em conjunto com outros critérios, a fim de evitar falsos positivos. Os resultados demonstram o potencial de aplicação dos modelos de distribuição na conservação de espécies.

PALAVRAS-CHAVE: modelagem de distribuição de espécies, distribuição potencial, caatinga

ABSTRACT: Potential distribution models, when allowing the occurrence mapping of species, can be a powerful tool for conservation of natural resources programs. This work

evaluates the performance of modeling algorithms in the distribution of the species *Wunderlichia azulensis*, which appears in the list of species of endangered flora in the Caatinga biome. From the occurrences recorded for the species in GBIF (Global Biodiversity Information Facility) and six environmental variables, distribution maps for the species were generated from six different algorithms. The algorithms were divided into two groups, (presence or presence and absence only) and evaluated by the AUC (Area Under the Curve) criterion and by information available in the literature. The Mahalanobis distance (presence only) and Random Forest (presence and absence) methods were considered the most efficient ones, with high AUCs (0.978 and 0.993, respectively) and coincidence between the distribution generated for the species and the expected distribution according to the specialized literature. All the models tested presented satisfactory AUC, but the results were not always consistent with the literature expected distribution, indicating that the AUC criterion should be used in conjunction with other information, to avoid false positives. The results demonstrate that the distribution models have a high potential to contribute for species conservation.

KEYWORDS: specie distribution modelling, potential distribution, caatinga.

1 | INTRODUÇÃO

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, apresentando elevada biodiversidade, endemismo e heterogeneidade. Com uma área aproximada de 850 mil km², ocupa cerca de 11% do território nacional, englobando de forma contínua parte dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia (região Nordeste do Brasil) e parte do Norte de Minas Gerais (Região Sudeste do Brasil) (MMA, 2016). Contudo, essa enorme biodiversidade vem sendo ameaçada por alterações ambientais causadas pelo homem, como a perda e fragmentação de habitats e as mudanças climáticas, todas com consequências diretas sobre a distribuição das espécies (MITTERMEIER et al., 2005). Essas ameaças crescentes demandam abordagens que permitam adquirir ou aprofundar o conhecimento existente sobre as espécies e auxiliar em sua proteção e conservação.

Os modelos de distribuição de espécies (*Species Distribution Models* - SDMs), também chamados de modelos de nicho ecológico ou modelos de envelope bioclimático, são ferramentas úteis para complementar a informação sobre a distribuição geográfica das espécies ao longo do tempo (ELITH et al., 2006), bem como para o gerenciamento de recursos naturais. Atualmente, os SDMs constituem um dos campos de pesquisa mais ativos na ecologia, sendo aplicados em diversos estudos, como analisar a dinâmica de distribuição das espécies em cenários de mudanças climáticas passadas, análise dos padrões de riqueza de espécies, dentre outros (LIMA-RIBEIRO; DINIZ-FILHO, 2012).

A modelagem preditiva de distribuição de espécies consiste em um processamento

computacional que combina dados de ocorrência de uma ou mais espécies com variáveis ambientais, permitindo levantar as condições ambientais requeridas pelas espécies (ANDERSON; LEW; PETERSON, 2003). One recent study found the relationship between range size and model performance to be an artefact of sample prevalence, that is, the proportion of presence versus absence observations in the data used to train the model. We examined the effect of model type, species rarity class, species survey frequency, detectability and manipulated sample prevalence on the accuracy of distribution models developed for 30 reptile and amphibian species. Location Coastal southern California, USA. Methods Classification trees, generalized additive models and generalized linear models were developed using species presence and absence data from 420 locations. Model performance was measured using sensitivity, specificity and the area under the curve (AUC). Nesse contexto, os SDM podem ser utilizados como uma importante abordagem conservacionista, permitindo caracterizar a distribuição potencial de espécies da flora ameaçadas de extinção nos biomas brasileiros, avaliar a efetividade das unidades de conservação já existentes em relação a esse grupo, além de contribuírem para o estabelecimento de novas áreas prioritárias para a conservação das espécies ameaçadas.

O objetivo desse trabalho foi realizar a modelagem preditiva da espécie *Wunderlichia azulensis*, criticamente ameaçada de extinção e típica do bioma caatinga, a fim de avaliar a influência das variáveis ambientais e o desempenho dos algoritmos de modelagem.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O nome “Caatinga” é de origem Tupi-Guarani e significa “floresta branca”. Composta de árvores e arbustos baixos com algumas características xerofíticas, a Caatinga é caracterizada como floresta arbórea ou arbustiva. Comparada a outras formações brasileiras, apresenta a mais alta radiação solar, baixa nebulosidades, a mais alta temperatura média anual, as mais baixas taxas de umidade relativa, evapotranspiração mais elevada e precipitações mais baixas e irregulares. Possui temperaturas médias anuais muito elevadas com valores entre 26 a 28°C (LEAL; TABARELLI; SILVA, 2003).

Apesar da sua importância, o bioma tem sido desmatado de forma acelerada, principalmente nos últimos anos, devido ao consumo de lenha nativa, explorada de forma ilegal e insustentável, para fins domésticos e indústrias, à conversão para pastagens e agricultura e ao sobre pastoreio.

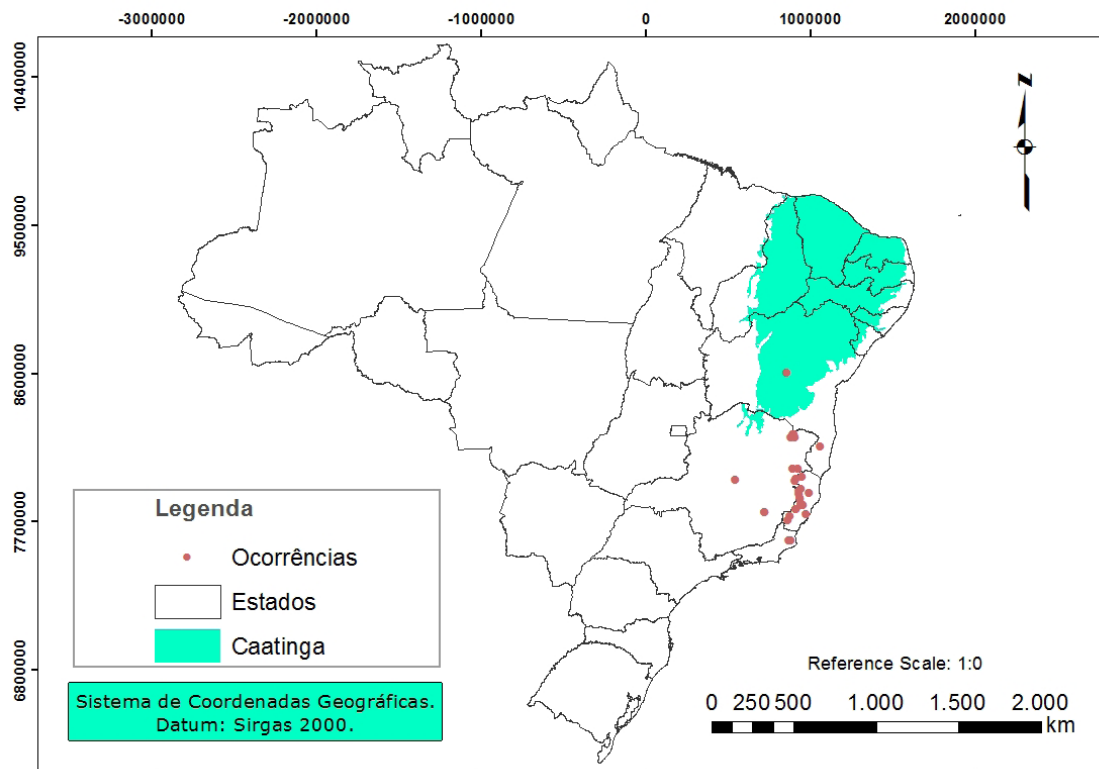


Figura 1. Mapa de localização do bioma Caatinga no Brasil e ocorrências da espécie *Wunderlichia azulensis*.

2.2 Seleção da Espécie

Optou-se por realizar a modelagem preditiva com espécies criticamente ameaçadas de extinção no bioma Caatinga segundo a Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção (MMA, 2008).

A espécie *Wunderlichia azulensis* é uma espécie arbustiva decíduifólia, típica de ambientes rupestres, atingindo 2 a 10 metros, pertencente à família *Asteraceae*. A espécie consta na lista de espécies ameaçadas de extinção no bioma Caatinga (MMA, 2008), apresentando, dentre as espécies ameaçadas da Caatinga, o maior número de registros no banco de dados *Global Biodiversity Information Facility* - GBIF.

A espécie foi coletada pela primeira vez por J. G. Kuhlmann (número coleção 6616, 1943/05/12, RB), e descrita por Barroso e Maguire (1973), com poucos registros seguintes. Apresenta registros em afloramentos rochosos na Bahia, Minas Gerais e Espírito Santo (MAUAD et al., 2014) com padrão de distribuição associado a locais com precipitação anual inferior a 1.200 mm.

Apesar de ter sido registrado em três estados brasileiros, sua ocorrência é limitada a afloramentos rochosos isolados com condições climáticas igualmente limitadas o que explica em parte o risco atual de extinção.

2.3 Variáveis Ambientais

Inicialmente, foi realizada uma busca na literatura a fim de identificar possíveis

variáveis que melhor explicassem a distribuição da espécie selecionada. A partir dessas informações, foram selecionadas variáveis climáticas e bioclimáticas no projeto *Worldclim* (HIJMANS et al., 2005), com resolução de 30 Arc segundos (aproximadamente 1km).

2.4 Modelagem a Avaliação

As ocorrências georreferenciadas da espécie disponibilizadas no banco de dados GBIF foram associadas aos dados ambientais e analisadas por diferentes algoritmos de modelagem de distribuição de espécies.

Diversos algoritmos podem ser utilizados na modelagem de distribuição. Esses algoritmos podem ser separados em dois grandes grupos, de acordo com os tipos de dados de entrada. O primeiro grupo consiste em modelos que utilizam apenas registros de presença e o segundo grupo em modelos que utilizam dados de presença e ausência. No primeiro grupo, podemos enquadrar os *Profile methods* (métodos de perfil) *Bioclim* (envelopes bioclimáticos), *Domain* e Distância de Mahalanobis. No segundo grupo estão os *Machine learning methods* (métodos de aprendizagem automática), *Random forest* e *Support vector machines - SVM*, bem como o método de *Logistic Regression* (regressão logística) e *Generalized Linear Model - GLM* (Modelo Linear Generalizado).

No conjunto dos métodos de perfil (apenas dados de presença) foram analisados os métodos *Bioclim*, *Domain* e Distância de Mahalanobis. O algoritmo *Bioclim*, amplamente utilizado para a modelagem de distribuição de espécies, consiste em um “envelope bioclimático” clássico. Este algoritmo calcula a semelhança de uma localização comparando os valores das variáveis ambientais em qualquer local com uma distribuição percentual dos valores em locais conhecidos de ocorrência.

O algoritmo Distância de Mahalanobis considera as correlações entre variáveis ambientais, identificando e analisando padrões. Após a normalização das variáveis ambientais a distância entre as condições ambientais e cada ponto de ocorrência da espécie é calculada, sendo selecionada a menor distância (distância mínima).

No algoritmo *Domain* a predição de adequabilidade é calculada pela distância mínima do espaço ambiental para cada ponto de presença, buscando gerar predições que se aproximam do nicho fundamental das espécies.

O segundo conjunto de algoritmos testados incluiu os métodos de aprendizagem automática (*Random Forest*, *Support Vector Machines*) e de regressão logística (GLM). O algoritmo *Random Forest* é um tipo de método de aprendizagem de conjunto que consiste de uma coleção de classificadores estruturados em árvores de decisão, que por sua vez são utilizadas na classificação de novos objetos (BREIMAN, 2001).

O algoritmo *Support Vector Machines* pertence à família dos classificadores lineares generalizados e consiste em um conjunto de métodos de aprendizagem supervisionado. A teoria do SVM preconiza a minimização do *risco estrutural*, ou

seja, a probabilidade de classificar errado padrões ainda não vistos pela distribuição de probabilidade dos dados. Os modelos gerados pela SVM dependem apenas de um subconjunto de dados de treino e utilizam apenas os dados mais informativos para gerar os SDM's. Isto faz com que essa técnica seja interessante para utilizar em situações onde os dados de entrada (registros de ocorrência da espécie e/ou variáveis ambientais) são duvidosos ou incompletos (JÚNIOR; SIQUEIRA, 2009) a uma comparação entre algumas técnicas de uso corrente (GARP, Maxent, SVM e BIOCLIM).

O GLM investiga a relação entre uma variável resposta e uma ou mais variáveis preditoras. É uma técnica complexa que precisa de dados de ausência e presença e um número maior de dados, além de ser considerada mais adequada para modelar a distribuição real (KAMINO, 2009).

Os modelos foram avaliados a partir da análise da curva *Receiver Operating Characteristic – ROC* (Características Operacionais do Receptor), considerando a *Area Under the Curve – AUC* (Área Abaixo da Curva). A curva ROC é a relação entre a sensibilidade (proporção de presenças corretamente preditas) e o erro de comissão (ou taxa de falsos positivos) (FRANKLIN et al., 2009) one recent study found the relationship between range size and model performance to be an artefact of sample prevalence, that is, the proportion of presence versus absence observations in the data used to train the model. We examined the effect of model type, species rarity class, species survey frequency, detectability and manipulated sample prevalence on the accuracy of distribution models developed for 30 reptile and amphibian species. Location Coastal southern California, USA. Methods Classification trees, generalized additive models and generalized linear models were developed using species presence and absence data from 420 locations. Model performance was measured using sensitivity, specificity and the area under the curve (AUC. Valores de AUC de 0,5 indicam um modelo aleatório, onde a proporção de locais preditos corretamente é igual à proporção de lugares preditos incorretamente. Valores de AUC mais próximos de 1 informam uma prevalência da sensibilidade sobre os erros de comissão. Valores entre 0,8 e 0,9 indicam bons modelos e valores acima de 0,9 indicam modelos ótimos. Todas as análises foram realizadas no programa R (R CORE TEAM, 2015).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram levantadas 33 ocorrências para a espécie estudada. As variáveis selecionadas no *WorldClim* foram: Temperatura média anual (bio1), Precipitação anual (bio12), Precipitação da estação úmida (bio16), Precipitação da estação seca (bio17), Temperatura máxima do mês mais quente (bio5) e Oscilação térmica anual (bio7).

3.1 Avaliação dos Métodos de Perfil

De acordo com a Tabela 1, o método da Distância de Mahalanobis foi o mais eficiente quando comparado aos outros dois métodos, com o mais elevado AUC para os dados de treino. O segundo método mais eficiente foi o *Domain*, sendo menos eficiente o *Bioclim* com o mais baixo valor de AUC nesse grupo.

Métodos de Perfil	AUC	Classificação do modelo*
Mahalanobis	0,978	Ótimo
Domain	0,961	Ótimo
Bioclim	0,931	Ótimo

Tabela 1. Valores de AUC dos modelos gerados pelos três métodos de perfil testados para a espécie *Wunderlichia azulensis*.

*Classificação segundo THUILLER et al., 2005.

A **Figura 2a** apresenta mostra os locais onde existe adequabilidade ambiental para a espécie de acordo com o método da Distância de Mahalanobis. A distribuição obtida neste modelo está de acordo com a literatura (MAUAD et al., 2014). Desta forma, o modelo foi considerado altamente eficiente, contudo restrito às condições ambientais similares àquelas verificadas nos locais com registro de ocorrência. Esta restrição é mais forte no modelo gerado pelo algoritmo *Bioclim* (**Figura 2b**), onde a predição aponta em maior parte as ocorrências na região Sudeste, incluindo alguns trechos do sul da região sudeste. Embora os resultados do *Bioclim* não sejam considerados tão bons como o de outros métodos de modelagem, o método ainda é amplamente utilizado, dentre outras razões, devido à facilidade de compreensão que o torna útil no ensino de modelagem de distribuição de espécies (HIJMANS; ELITH, 2016).

É possível perceber, por meio da **Figura 2c**, que a distribuição da espécie gerada pelo método *Domain* aponta ocorrências nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste, abrangendo ainda países da América do Sul e Central. Levando-se em consideração que esta distribuição gerada pelo modelo não corresponde às características reais da distribuição da espécie estudada, mesmo com alto valor de AUC, o modelo não foi considerado eficiente.

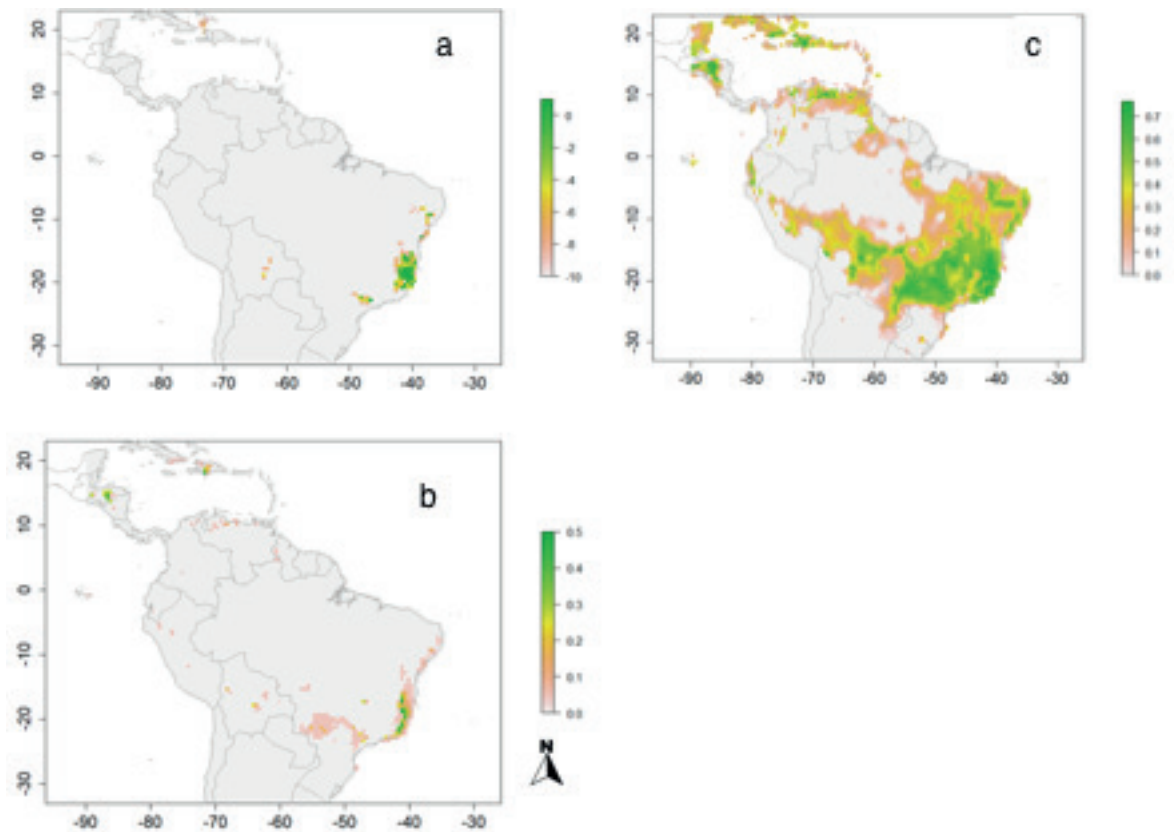


Figura 2. Predição potencial para a ocorrência de *Wunderlichia azulensis*, utilizando os métodos de perfil. (a) Distância de Mahalanobis. (b) Bioclim. (c) Domain.

3.2 Métodos de Aprendizagem Automática

De acordo com a Tabela 2, o método *Random Forest* foi mais eficiente que o método *Support Vector Machine*, com maiores valores de AUC.

Métodos de aprendizagem automática	AUC	Classificação do modelo*
Random Forest	0,993	Ótimo
Support Vector Machine	0,959	Ótimo

Tabela 2. Valores de AUC dos modelos gerados pelos dois métodos de aprendizagem automática testados.

*Classificação segundo THUILLER et al., 2005

Observa-se pela **Figura 3a** que a distribuição da espécie gerada pelo método *Random Forest* é bem mais restritiva que a gerada pelo método SVM (**Figura 3b**), concentrando a maior parte da distribuição da espécie na região Sudeste. Desta forma, o modelo apresenta certo grau de confiabilidade, pois as ocorrências registradas encontram-se na mesma região. O modelo gerado pelo método SVM apresentou ampla distribuição com maior concentração nas regiões Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste e baixos valores de probabilidade de ocorrência. Assim, mesmo apresentando altos valores de AUC, o modelo não foi considerado eficiente, gerando uma área de

predição em desacordo com as características ambientais das ocorrências registradas da espécie na literatura.

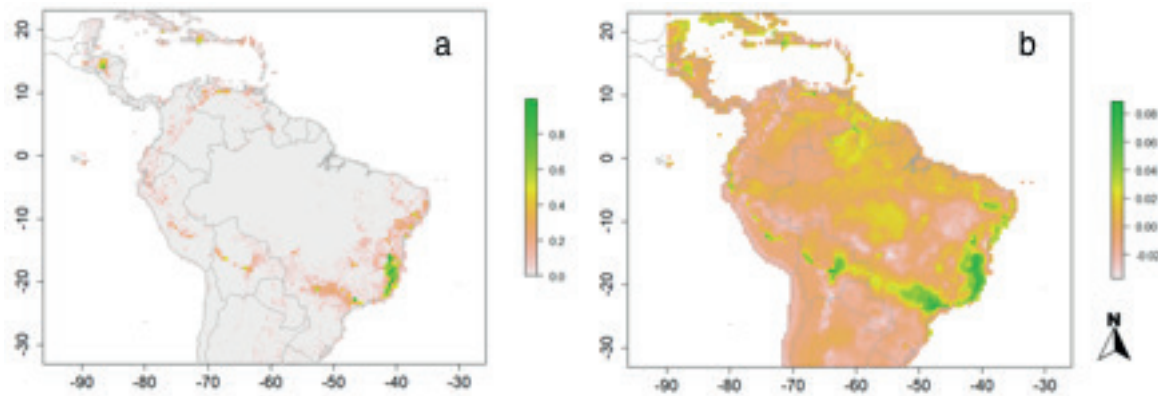


Figura 3. Predição potencial para ocorrência de *Wunderlichia azulensis*, utilizando os métodos de aprendizagem automática. (a) Random forest. (b) Support vector machines.

3.3 Método de Regressão Logística

O Modelo Linear Generalizado apresentou valor de AUC de 0,807, sendo considerado um bom modelo. É possível observar por meio da **Figura 4** que o Modelo Linear Generalizado resultou em uma ampla distribuição da espécie *W. azulensis*, com ocorrências da região Sudeste até a região Norte. Assim, apesar do AUC considerado bom, o modelo não foi considerado eficiente, uma vez que os resultados gerados incluíram áreas que não representam as características ambientais de ocorrência da espécie. Isso pode estar associado ao fato do GLM ser uma técnica complexa que exige uma maior amostragem, tanto dados de ausência (no presente estudo foram simulados os dados de ausência) quanto de presença (KAMINO, 2009).

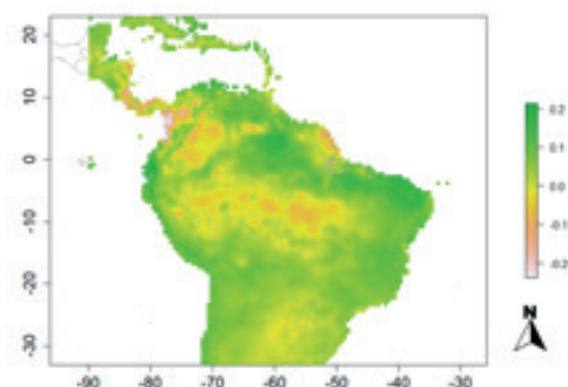


Figura 4. Predição potencial para a ocorrência *Wunderlichia azulensis*, utilizando o modelo linear generalizado.

4 | CONCLUSÃO

Dentre os métodos de perfil testados, o método da Distância de Mahalanobis

gerou o modelo mais eficiente, com a distribuição gerada para a espécie coincidindo com a distribuição atualmente disponível na literatura. O modelo gerado pelo método *Bioclim*, apesar de apresentar menor AUC dentre os métodos de perfil, pode ser considerado mais eficiente que o modelo gerado pelo método *Domain*, uma vez que sua área de predição coincidiu com ambientes onde ocorreram os registros da espécie.

Dentre os métodos de aprendizagem automática, o *Random Forest* foi considerado o mais eficiente, com AUC mais elevado e coincidência com a distribuição disponível na literatura. Os demais modelos de aprendizagem e o modelo linear generalizado (GLM), apesar dos valores satisfatórios para o AUC, não representaram de forma adequada a distribuição esperada da espécie em questão de acordo com as informações da literatura.

Os resultados indicam que a utilização do critério AUC deve se feita com cautela, devendo ser associada a informações gerais da distribuição da espécie de modo a evitar erros de falso positivo. De um modo geral, verifica-se que os modelos de distribuição apresentam grande potencial de contribuição para a conservação de espécies.

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R. P.; LEW, D.; PETERSON, A. T. **Evaluating predictive models of species ' distributions : criteria for selecting optimal models**. *Ecological Modelling*, v. 162, p. 211–232, 2003.
- BREIMAN, L. E. O. *Random Forests*. p. 5–32, 2001.
- ELITH, J. et al. **Novel methods improve prediction of species ' distributions from occurrence data**. *Ecography*, v. 2, n. January, 2006.
- FRANKLIN, J. et al. **Effect of species rarity on the accuracy of species distribution models for reptiles and amphibians in southern California**. *Biodiversity Research*, p. 167–177, 2009.
- HIJMANS, R. J. et al. **Very High Resolution Interpolated Climate Surfaces for Global Land Areas**. *International Journal of Climatology*, v. 19, p. 1565–1578, 1999.
- HIJMANS, R. J.; ELITH, J. **Species distribution modeling with R** *Introduction*, 2016.
- JÚNIOR, P. DE M.; SIQUEIRA, M. F. **Como determinar a distribuição potencial de espécies sob uma abordagem conservacionista?** *Megadiversidade*, v. 5, n. 1–2, p. 65–76, 2009.
- KAMINO, L. H. Y. **Modelos de Distribuição Geográfica Potencial: Aplicação com Plantas Ameaçadas de Extinção da Floresta Atlântica**. [s.l.] Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
- LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. [s.l.: s.n.].
- LIMA-RIBEIRO, M. D. S.; DINIZ-FILHO, J. A. F. **Modelando a distribuição geográfica das espécies no passado: uma abordagem promissora em Paleoecologia**. *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 15, n. 3, p. 371–385, 31 dez. 2012.
- MAUAD, L. P. et al. **New distribution record and implications for conservation of the endangered *Wunderlichia azulensis* Maguire & G.M. Barroso (Asteraceae: Wunderlichieae)**. *Check List*,

v. 10, n. 3, p. 706–708, jul. 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caatinga**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biomas/caatinga>>. Acesso em: 03 Outubro 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. 2008. Instrução Normativa nº 06, de 23 de setembro de 2008. **Lista Nacional de Espécies da Flora Ameaçadas de Extinção**. Imprensa Oficial. Brasília.

MITTERMEIER, C. G., GIL, P. R., HOFFMANN, M., PILGRIM, J., BROOKS, T., LAMOUREX, J. & FONSECA, G. A. B. **Hotspots Revisitados. As regiões biologicamente mais ricas e ameaçadas do planeta**. Belo Horizonte, Conservação Internacional do Brasil. 2005.

R CORE TEAM (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

SOUZA-BUTURI, F.O. 2015 *Wunderlichia* em **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB5542>>. Acesso em: 03 Outubro 2016.

THUILLER, W. et al. **Niche-based modelling as a tool for predicting the risk of alien plant invasions at a global scale**. *Global Change Biology*, v. 11, n. 12, p. 2234–2250, 2005.

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE SEQUESTRO DE CARBONO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PIRAJIBU-MIRIM EM SOROCABA (SP)

Darllan Collins da Cunha e Silva

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba - SP

Deborah de Matos

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba - SP

Renan Angrizani de Oliveira

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba - SP

Vanessa Cezar Simonetti

Universidade de Sorocaba, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba – SP

Roberto Wagner Lourenço

Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho, Departamento de Engenharia Ambiental, Sorocaba – SP

RESUMO: As interferências antrópicas provocadas no ambiente têm alterado significativamente a concentração do dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera, aumentando a temperatura global do planeta por ser um gás de efeito estufa. Também é um importante elemento para a realização da fotossíntese, onde a planta utiliza o CO_2 na síntese de carboidratos, e uma parte desse carbono fixado retorna à atmosfera pela decomposição da matéria orgânica, favorecendo o fluxo do carbono. Nesse sentido, o presente estudo objetivou estimar o potencial de estoque de carbono na Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, localizada no município

de Sorocaba-SP. A metodologia empregada foi por meio do processamento digital de imagens orbitais do Landsat-8, que foram utilizadas para a geração dos índices espectrais: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o Índice de Reflectância Fotoquímica (PRI) que possibilitaram gerar o índice espectral CO_2 Flux e, portanto, mensurar o fluxo de carbono na bacia hidrográfica. Os resultados obtidos revelaram que a bacia possui um índice de CO_2 variando entre -0,10 e 0,31, sendo que, quanto maior o valor de CO_2 Flux presente, mais desenvolvida é a vegetação. Foi possível inferir que a bacia hidrográfica apresenta um fluxo de CO_2 baixo quando comparado ao máximo da escala de valores possíveis, indicando a necessidade da ampliação da cobertura vegetal. Portanto, a utilização de índices espectrais como os utilizados neste estudo possibilita aos gestores públicos planejar o parcelamento do solo e propor medidas normativas que visem garantir o desenvolvimento sustentável frente ao crescimento urbano e econômico.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxo de Carbono, Análise Espacial, Sensoriamento Remoto, Bacia hidrográfica.

ABSTRACT: Anthropogenic interferences in the environment have altered significantly the concentration of carbon dioxide (CO_2) in the atmosphere, increasing the global temperature

of the planet because it is considered a greenhouse gas. It is Also, the CO_2 is an important element for the realization of photosynthesis, where the plant uses CO_2 in the synthesis of carbohydrates, and a part of this fixed carbon returns to the atmosphere by the decomposition of the organic matter, favoring the carbon flux. In this sense, the present study aimed to estimate the potential of carbon stock in the Pirajibu-Mirim River Watershed, located in the city of Sorocaba-SP. The methodology used was the digital processing of Landsat-8 orbital images, which were used to generate the spectral indexes: Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Photochemical Reflectance (PRI) that made it possible to generate the spectral index CO_2 Flux and therefore measure the carbon flux in the watershed. The results showed that the watershed has a CO_2 index ranging from -0.10 to 0.31, and the higher the CO_2 Flux value present, more developed is the vegetation. It was possible to infer that the watershed presents a low CO_2 flow when compared to the maximum of the possible values scale, indicating the necessity of the expansion of the vegetal cover. Therefore, the use of spectral indices such as those used in this study allows public managers to plan the land parceling and propose normative measures that aim to guarantee sustainable development in face of urban and economic growth.

KEYWORDS: Carbon flow, Spatial Analysis, Remote Sensing, Watershed.

1 | INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um processo físico que ocorre quando uma parte da radiação infravermelha é emitida pela superfície terrestre e absorvida por gases presentes na atmosfera, que estabilizam a temperatura média do planeta em 15°C , caso não houvesse esse processo a temperatura poderia cair em média 32°C , chegando a 18°C negativos, de forma que a vida no planeta não seria possível (CARVALHO et al., 2010; NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

Esses gases possuem importantes papéis nas trocas energéticas na atmosfera, sendo que os principais deles são o vapor d'água (H_2O), o dióxido de carbono (CO_2), ozônio (O_3), metano (CH_4) e óxido nitroso (NO_2), também denominados de gases do efeito estufa (GEE) (COTTA; COLTRI, 2009; ROBERTSON; PAUL; HARWOOD, 2000).

No entanto, o vapor d'água se sobressai por suas características físicas e radiativas, sendo sua molécula capaz de absorver radiação, principalmente na faixa do espectro eletromagnético referente ao infravermelho, com 51 W.m^{-2} , enquanto o CO_2 absorve 24 W.m^{-2} e os demais gases juntos uma proporção de 11 W.m^{-2} (BARBOSA, 2014; DIAS, 2006; NOBRE; REID; VEIGA, 2012).

A dinâmica desse fenômeno vem sendo alterada ao longo dos anos devido à grande influência antrópica, isso pode ser constatado através dos estudos sobre o aumento no aquecimento e concentração de CO_2 desde a Revolução Industrial, que passou de 280 ppm na era industrial para 400 ppm em 2015, que pode ter influenciado em um aumento de $1,1^\circ\text{C}$ na temperatura média do planeta registrado em 2016 (IPCC,

2007; TONIOLO; CARNEIRO, 2010; WMO, 2017).

O dióxido de carbono além de fazer parte do efeito estufa, é um importante elemento para a realização da fotossíntese, em que, o CO₂ é absorvido pelas plantas e liberado O₂ para a atmosfera. Neste processo, a planta utiliza o dióxido de carbono para a síntese de carboidratos e parte do carbono fixado é devolvida a atmosfera pela decomposição de matéria orgânica morta e outra parte utilizada para a biomassa dos seres vivos, denominado assim também como fluxo do carbono (BARRETO; FREITAS; PAIVA, 2009; BENJAMÍN; MASERA, 2001).

No entanto, o processo de fixação e liberação vem sofrendo interferências diretas devido às mudanças no uso do solo e desmatamento que são consideradas a segunda maior fonte de emissão do CO₂ no mundo, estando apenas atrás das atividades que promovem a queima de combustível fóssil (PACHAURI et al., 2014; MATA et al., 2015).

No Brasil a mudança de uso da terra é considerada a principal fonte de emissão de carbono para a atmosfera, no total o país emitiu entre os anos de 1990 e 2014 o valor de 56 bilhões de toneladas de dióxido de carbono, sendo que dois terços desse valor são devido à mudança de uso do solo, tanto para a transição em agricultura e pecuária, como para a urbanização (CERRI; CERRI, 2007; IMAZON, 2016).

Portanto, o sequestro de carbono é uma alternativa recomendada para mitigar as emissões de GEE, possibilitando assim o reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Juntamente com a crescente demanda dessa alternativa, surge também a necessidade por tecnologias que possibilitem estimar o sequestro de carbono, aprimorando e obtendo dados já existentes, podendo ser destacado o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e produtos provenientes do Sensoriamento Remoto (SR) (LEITE; FREITAS, 2013; POLONIO et al. 2015).

Estudos como os de Coltri et al. (2013), Polonio et al. (2015) e Folharini e Oliveira (2017) demonstram a importância da utilização de SIG na obtenção do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e sua interação com Índice de Reflectância Fotoquímico (PRI), para determinação do CO₂ Flux, utilizado na estimação da biomassa e estoque de carbono.

Portanto, o presente estudo visa estimar o potencial de fluxo de CO₂ a partir de índices espectrais calculados com o uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, localizada no Município de Sorocaba, no Estado de São Paulo.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, localiza-se ao sudeste do Município de Sorocaba, no bairro do Inhaíba, passando pelo bairro de Brigadeiro Tobias, aos pés da Serra de São Francisco (Figura 1). Sua cabeceira está localizada a aproximadamente 1.000 metros acima do nível do mar, com clima classificado como subtropical com temperaturas variando entre 15°C a 26°C (TARCITANI; BARRELLA, 2009).

A área foi prioritária, pois é considerada uma importante fonte de captação de água para a região, sendo responsável por 10% do abastecimento de água tratada e distribuída no município de Sorocaba, abastecendo uma população de aproximadamente 60 mil habitantes (CORRÊA; TONELLO; FRANCO, 2016).

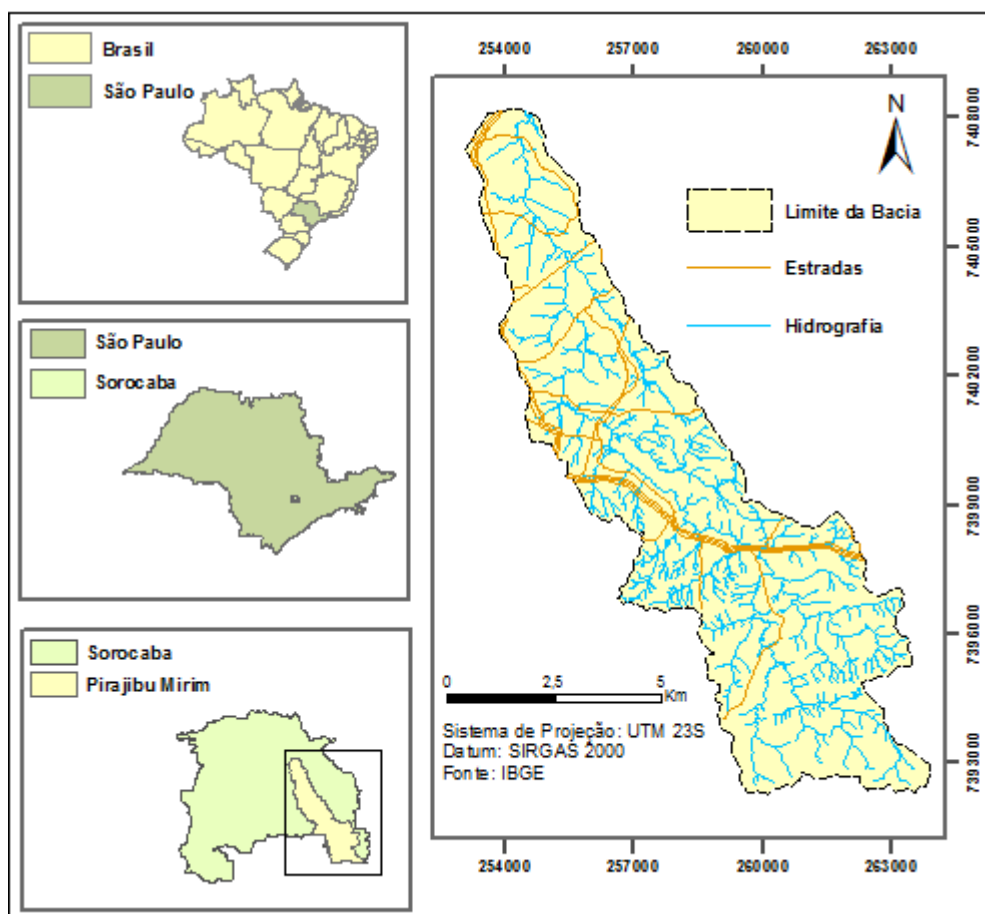


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim, Sorocaba (SP)

Fonte: Elaboração própria.

2.2 Determinação do potencial de fluxo de CO₂ através de índices espectrais

Para a análise do potencial de fluxo do dióxido de carbono presente na área de estudo foram adquiridas imagens do satélite Landsat 8 em vários comprimentos de ondas do espectro eletromagnético, na órbita 219 ponto 76 do dia 14 de novembro de 2017, por apresentarem a menor cobertura de nuvens na bacia durante o período chuvoso e quente, por apresentar intenso fluxo de dióxido de carbono e aumento da biomassa das plantas. Foram escolhidas as bandas 5 (infravermelho), 4 (vermelho), 3 (verde) e 2 (azul) para gerar o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o índice de reflectância fotoquímica (PRI) e o índice do potencial de fluxo de dióxido de carbono (CO₂ Flux).

As imagens obtidas em cada uma das bandas passaram por um pré-processamento consistindo na mudança do datum horizontal original (WGS1984) para o datum horizontal SIRGAS 2000 que é o sistema geodésico de referência oficialmente adotado no Brasil desde 25 de fevereiro de 2015.

O limite da bacia hidrográfica foi obtido a partir dos dados topográficos disponibilizados pela Prefeitura de Municipal de Sorocaba na escala de 1:1800, enquanto que a delimitação da bacia foi realizada de forma automática no ArcGIS 10.4 a partir do modelo digital do terreno (MDT) gerado pela interpolação dos dados topográficos. Uma vez gerado o limite da bacia hidrográfica, as bandas espectrais obtidas a partir do satélite Landsat 8 foram recortadas para sua utilização na geração dos índices NDVI e PRI.

Primeiramente foi realizado o cálculo do NDVI para estimar a biomassa fotossinteticamente ativa e, posteriormente, relacioná-lo ao estoque de carbono. As bandas espectrais utilizadas foram a banda 4 que expressa a absorção da clorofila pelo vermelho (V) e a banda 5 que possui alta reflectância interna das folhas no infravermelho próximo (IP). Esse índice é calculado pela relação entre o vermelho e o infravermelho próximo expresso na Equação (1) com valores variando entre -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior a ação fotossintética da vegetação (GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992; FOLHARINI; OLIVEIRA, 2017; SILVA *et al.*, 2017).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IP}-\text{V}}{\text{IP}+\text{V}} \quad (1)$$

Foi realizado, também, o cálculo do PRI, que tem como objetivo verificar as alterações nos pigmentos de carotenoides na folhagem. Esses pigmentos são indicativos de que houve eficiência do uso da luz fotossintética ou na taxa de dióxido de carbono armazenada pela folhagem (CANAVESI; PONZONI; VALERIANO, 2010; GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).

O índice PRI é utilizado em estudos de estresse e produtividade da vegetação e calculado pela relação entre a banda 2 no comprimento de onda visível do espectro eletromagnético do azul (A) e a banda 3 referente ao comprimento de onda eletromagnética visível do verde (Vd), sendo expressa esta diferença pela Equação (2) com seus valores variando, também, entre -1 a 1 (GAMON *et al.*, 2015; GAMON; PEÑUELAS; FIELD, 1992).

$$\text{PRI} = \frac{\text{A} - \text{Vd}}{\text{A} + \text{Vd}} \quad (2)$$

Em posse do índice PRI, faz-se necessário o reescalonamento de seus valores para positivos, gerando o índice sPRI. Este reescalonamento é necessário para normalizar os dados de “verdor” da vegetação. Esse índice é calculado pela Equação (3) e tem seus valores variando entre 0 e 1 (SILVA; BAPTISTA, 2015).

$$\text{sPRI} = \frac{(\text{PRI}+1)}{2} \quad (3)$$

Após o reescalonamento foi possível então combinar os índices NDVI e sPRI, por meio de uma multiplicação proposta por Rahman et al. (2000) para obtenção do índice CO₂ Flux, que determina o potencial de sequestro de dióxido de carbono pela vegetação fotossinteticamente ativa. Este índice é calculado pela Equação (4), sendo que quanto maior for seu o valor, maior será a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação na fase clara da fotossíntese (SILVA; BAPTISTA, 2015).

$$\text{CO}_2 \text{ Flux} = \text{sPRI} \times \text{NDVI} \quad (4)$$

Para comparar os valores obtidos para o potencial de fluxo de dióxido de carbono com os tipos de uso do solo existentes na bacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim foi utilizado o plano de informação que trata do uso do solo e cobertura vegetal do município de Sorocaba que disponibilizado pela prefeitura deste município, sendo este plano de informação recortado com o uso do plano de informação que contém o limite da área de estudo.

Para o cálculo dos índices espectrais, bem como para a elaboração dos layouts dos mapas foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 10.4.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de NDVI para a bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim podem ser observados na Figura 2, com valores que variaram de -0,20 a 0,62; sendo que as regiões em verde mais escuro são correspondentes ao valor mais alto, próximos de 0,62, indicando alta presença de vegetação. Segundo Silva et al. (2017), esse valor pode ser atribuído a áreas de floresta mais densas.

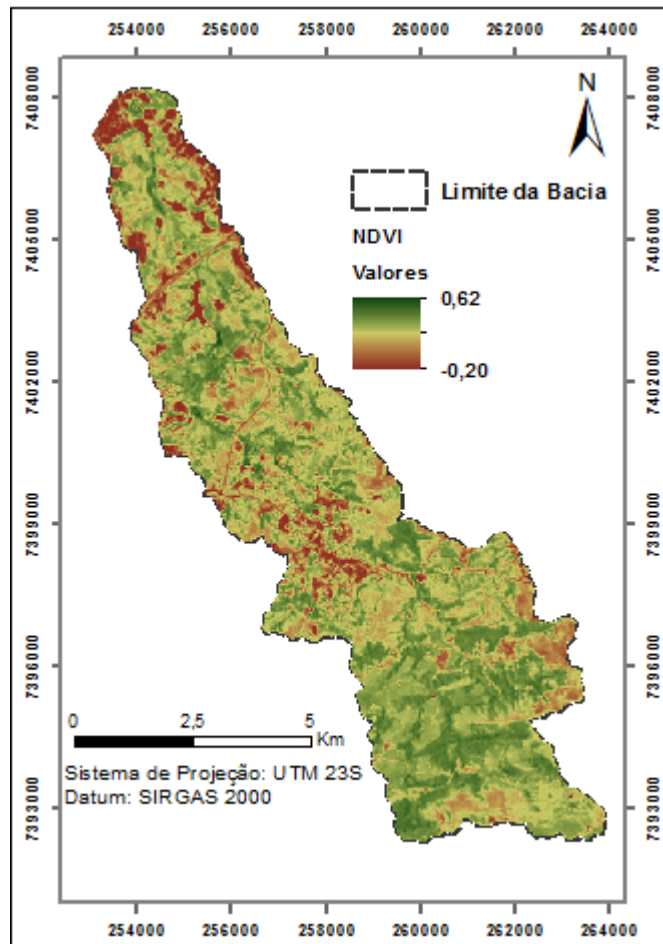


Figura 2. Valores do índice NDVI para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu Mirim

Fonte: Autoria Própria.

No entanto, as regiões em verde claro e amarelo são indicativas de áreas de agricultura e vegetações rasteiras como áreas de pastagens. Para as regiões em tons vermelhos com valores próximos de -0,20 podem representar áreas de solo exposto, área urbana e corpos hídricos, indicando ausência de vegetação.

O uso e ocupação do solo podem interferir em diversos aspectos de uma bacia hidrográfica devido à modificação da terra, onde áreas de matas são substituídas por áreas urbanizadas, além de culturas agrícolas e áreas de pastagem.

Assim, de modo a inferir sobre os usos do solo existentes na bacia hidrográfica do Pirajibu-Mirim, foi utilizado o mapa de uso do solo e cobertura vegetal disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Sorocaba (Figura 3).

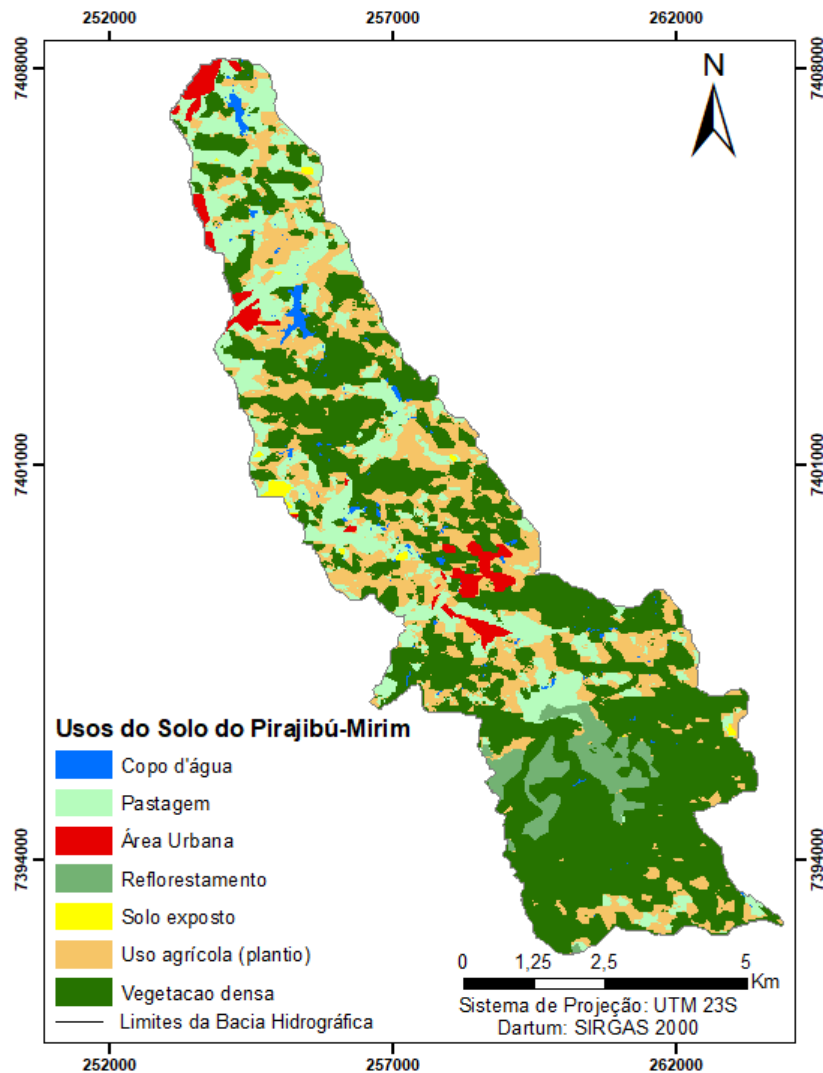


Figura 3. Uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim

Fonte: Adaptado da Prefeitura do Município de Sorocaba (2011).

A partir da Figura 3 foi possível inferir que as áreas com cobertura agrícola, área urbana, pastagem e solo exposto são áreas que apresentaram menor índice de NDVI, conforme expresso na Figura 2.

Os resultados obtidos do uso e ocupação do solo obtidos na Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim corroboram com os estudos realizados por Silva et al. (2017), que utilizou a metodologia de NDVI na Bacia Hidrográfica do Rio Una, e constatou que as áreas com maior perda de solos eram áreas com culturas agrícolas. Do mesmo modo, Demarchi et al. (2011) realizou uma análise temporal do uso do solo no município de Santa Cruz do Rio Pardo (SP) a partir de imagens do satélite Landsat-5, e utilizando os índices de vegetação NDVI e SAVI, tendo obtido bons resultados na análise temporal da vegetação do município. Estudos realizados por Melo, Sales e Oliveira (2011) permitiram a comparação da cobertura vegetal atual com a cobertura vegetal pretérita do município de Crateus (CE), na microbacia hidrográfica do Riacho de Cavalos, oferecendo subsídios à gestão pública do município.

Os resultados dos índices PRI e sPRI foram demonstrados na Figura 4, e

apresentaram valores de PRI variando de -0,11 a 0,14, que segundo Gamon (1997), indicam a eficiência quanto ao uso da luz na fotossíntese.

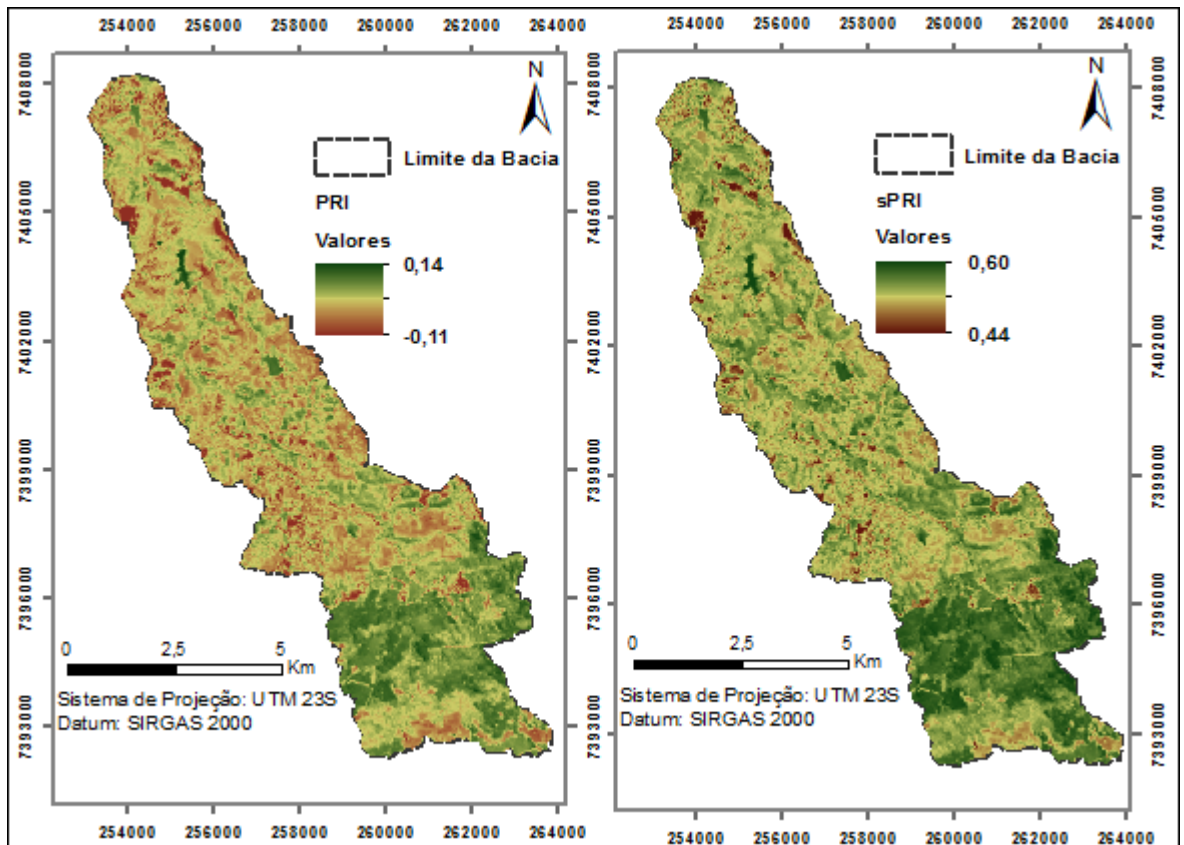


Figura 4. Valores dos Índices PRI e sPRI para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim
Fonte: Autoria Própria.

A partir da Figura 4 foi possível inferir que às áreas localizadas ao sul da bacia hidrográfica apresentaram maiores atividades fotossintéticas, com valores de PRI próximos de 0,14; onde estão situados os maiores fragmentos florestais da Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim. No entanto, para o sPRI, os valores variaram de 0,44 a 0,60 representando de forma mais clara que a bacia possui em sua extensão uma produção fotossintética moderada, devido ao tipo de vegetação presente ou possível estresse na vegetação.

Todavia, de modo a analisar o potencial de fluxo de carbono presente na Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim foi utilizado o índice CO₂ Flux (Figura 5).

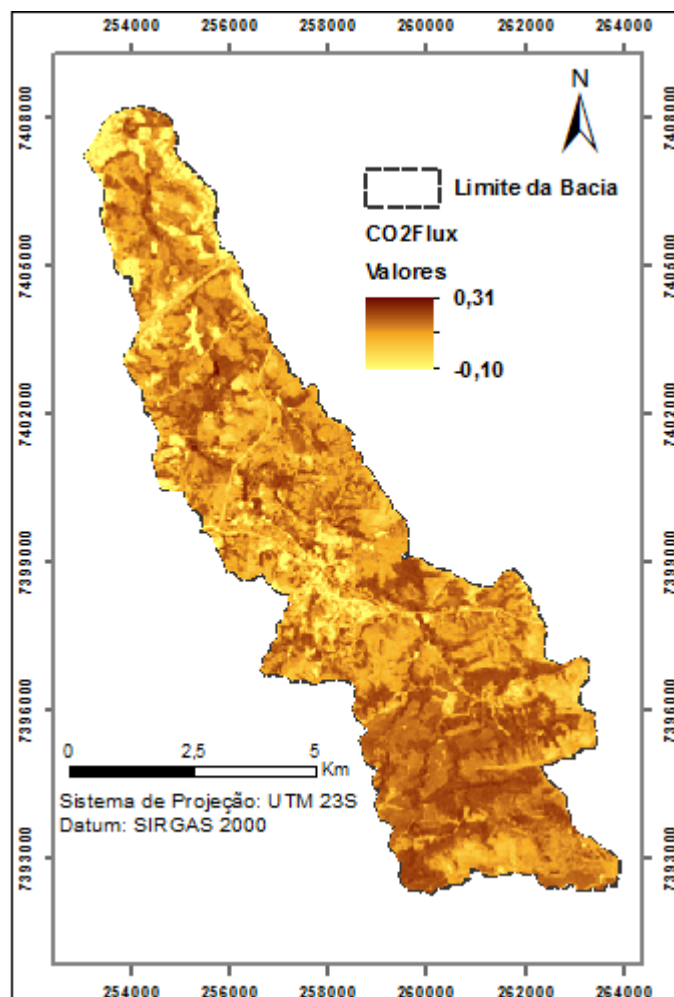


Figura 5. Valores do Índice CO₂ Flux para a Bacia Hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim

Fonte: Autoria Própria.

Os valores apresentados na Figura 5 para o CO₂ Flux, variaram de -0,10 a 0,31; sendo que quanto maior o valor obtido, maior será o estoque armazenado de carbono. Portanto, os valores mais elevados se encontraram nas regiões de floresta mais densa e mais desenvolvidas que estão localizadas ao sul da bacia. Entretanto, também foi possível observar algumas faixas com elevados valores distribuídas ao longo de toda a bacia hidrográfica.

Os valores mais baixos de CO₂ Flux indicam a diversidade da cobertura vegetal, absorvendo uma menor quantidade de CO₂. No entanto, os valores negativos indicam áreas urbanizadas, sendo pobres em valores de estoque de carbono, conforme constatado na Figura 3, que retratou o uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica. Ainda, foi possível inferir que as vastas áreas de pastagens e culturas agrícolas presentes na bacia diminuiriam significativamente a absorção do CO₂ na área.

Gomes et al. (2016) utilizaram o sensoriamento remoto no bioma da Caatinga de modo a verificar as mudanças provocadas pelo uso da terra, e verificaram que as alterações decorrentes das atividades antrópicas interferem significativamente na estocagem do carbono.

Resultados semelhantes foram obtidos nos estudos realizados por Polonio et

al. (2015), que encontraram faixas de CO₂ Flux entre 0,06 e 0,44 para o município de Botucatu, considerando o ano de 2001 como o melhor em termos de atividade fotossintética e estocagem de carbono pela vegetação nos períodos analisados pelos autores.

Baptista (2003) utilizou a metodologia proposta por Rahmam et al. (2000) para analisar uma área tropical de Cerrado, utilizando também um índice para identificação do CO₂ na coluna de ar, possibilitando a identificação de fenômenos de domos urbanos de CO₂ que, segundo o autor, indica uma elevada concentração de CO₂ atmosférico na coluna de ar adjacente às zonas ou alvos urbanos, sendo que essa concentração tende a diminuir nas zonas rurais.

Silva e Baptista (2015) analisaram dados espectrais por meio de imagem de satélites em diferentes ambientes na Amazônia brasileira, correlacionando os dados obtidos por sensoriamento remoto com os dados das torres de monitoramento de CO₂ presentes na Amazônia. Segundo os autores, os resultados obtidos das correlações estatísticas com o NDVI foi o que apresentou o melhor ajuste quando associado aos dados de CO₂ (em ppm) medidos pelas torres.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O NDVI encontrado para a bacia hidrográfica do Rio Pirajibu-Mirim apresentou valores que variaram de -0,20 a 0,62, indicando um melhor grau de saudabilidade da vegetação ao sul da bacia hidrográfica. Enquanto que para os índices PRI e sPRI, houveram variações de -0,11 a 0,14 e 0,44 a 0,60 sucessivamente, indicando maior eficiência fotossintética nas áreas ao sul da bacia.

Portanto, a partir dos índices NDVI, PRI, sPRI e CO₂ Flux foi possível verificar a vegetação presente na bacia estudada e estimar o potencial de fluxo de dióxido de carbono, demonstrando que a bacia apresenta um fluxo de dióxido de carbono baixo quando comparado ao máximo da escala de valores possíveis, indicando a necessidade da ampliação da cobertura vegetal que, por conseguinte, serve para proteger a quantidade e qualidade das águas dessa importante bacia hidrográfica para abastecimento público do município de Sorocaba.

Desta forma, os índices utilizados no estudo permitiram inferir sobre o estado da vegetação presente na Bacia Hidrográfica do Pirajibu-Mirim, evidenciando que a bacia possui fragmentos importantes de vegetação que devem ser preservados. No entanto, há a necessidade de recomposição florestal em boa parte da bacia hidrográfica, uma vez que as atividades predominantes da bacia consistem em atividades agrícolas e pastoris.

Estudos realizados por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento são ferramentas de extrema importância para a análise ambiental, pois permitem inferir sobre diversos aspectos da paisagem com custos bastante reduzidos quando

comparados às análises *in situ*.

Estudos como esse, demonstram ser importantes instrumentos para os gestores públicos no planejamento do parcelamento do solo e proposição de medidas normativas que garantam um ambiente mais sustentável frente ao crescimento urbano e econômico.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, G.M. M. D. Validação da modelagem de sequestro de carbono para ambientes tropicais de cerrado, por meio de dados AVIRIS HYPERION. In: XI **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2003, Belo Horizonte. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 1037-1044, 2003.
- BARBOSA, H. M. J. Vapor de Água na Atmosfera: do efeito estufa às mudanças climáticas. **Revista USP**, n. 103, p. 67-80, 2014.
- BARRETO, L. V.; FREITAS, A. C. S.; PAIVA, L. C. Sequestro de carbono. **Enciclopédia Biosfera**, n. 7, p. 1-10, 2009.
- BENJAMÍN, J. A.; MASERA, O. Captura de carbono ante el cambio climático. **Madera y bosques**, v. 7, n. 1, 2001.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J.; VALERIANO, M. M. Estimativa de volume de madeira em plantios de Eucalyptus spp. utilizando dados hiperespectrais e dados topográficos. **Revista Árvore**, v. 34, n. 3, p. 539-549, 2010.
- CARVALHO, J. L. N. et al. Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, 2010.
- CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Agricultura e aquecimento global. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 40-44, 2007.
- COLTRI, P. P.; ZULLO, J.; GONÇALVES, R. R. V.; ROMANI, L. A. S.; PINTO, H. S. Coffee Crop's Biomass and Carbon Stock Estimation With Usage of High Resolution Satellites Images. **Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, v. 6, n. 3, p. 1786-1795, 2013.
- CORRÊA, C. J. P.; TONELLO, K. C.; FRANCO, F. S. Análise Hidroambiental da Microbacia do Pirajibu-Mirim, Sorocaba, SP, Brasil. **Ambiente & Água**, v. 11, n. 4, 2016.
- COTTA, M. K.; COLTRI, P. P. Geração de Créditos de Carbono por sistemas Florestais. **Revista da Madeira**, v. 119, p. 48-53, 2009.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo–SP usando imagens Landsat-5. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011.
- DIAS, M. A. F. S. Efeito estufa e mudanças climáticas regionais. **Revista USP**, n. 71, p. 44-51, 2006.
- FOLHARINI, S. O.; OLIVEIRA, R. C. Cálculo do Índice Espectral CO₂ FLUX em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no município de Cubatão. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, n. 2017, p. 4642-4653, 2017.
- GAMON, J. A.; KOVALCHUCK, O.; WONG, C. Y. S.; HARRIS, A.; GARRITY, S. R. Monitoring

seasonal and diurnal changes in photosynthetic pigments with automated PRI and NDVI sensors. **Biogeosciences**, v. 12, n. 13, p. 4149-4159, 2015.

GAMON, J. A.; PEÑUELAS, J.; FIELD, C. B. A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency. **Remote Sensing of Environment**, v.41, n.1, p.35-44, 1992.

GAMON, J. SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, v. 112, n. 4, p. 492-501, 1997.

GOMES, V. P. et al. Sensoriamento remoto hyperspectral aplicado para análise dos indicadores de resiliência e suscetibilidade do bioma caatinga frente às mudanças climáticas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 4, p. 1122-1136, 2016.

IMAZON, INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA. Coordenação Técnica. **Emissões de GEE do Setor Mudança de Uso da Terra**, 2016. 52 p. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/wp-content/uploads/2016/09/16-09-16-RelatorioSEEG-MUT.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2017.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, Cambridge, 2007.

LEITE, M. E.; FREITAS, M. F. Análise Espaço-Temporal do Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio Tabuas, Norte de Minas Gerais, com Aplicação das Geotecnologias. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 184-194, 2013.

MATA, M. V. M. et al. Emissões de CO₂ Provenientes do Uso e Mudanças no Uso da Terra no Bioma Caatinga no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 1, p. 144-155, 2015.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

NOBRE, C. A.; REID, J.; VEIGA, A. P. S. **Fundamentos científicos das mudanças climáticas**. São José dos Campos, SP: Rede Clima/INPE, 2012.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 22-27, 2007.

PACHAURI, R. K. et al. **Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. IPCC, 2014.

POLONIO, V. D. et al. Avaliação temporal do sequestro de carbono por meio de imagens orbitais na região de Botucatu-SP. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2015, João Pessoa, PB. Anais... João Pessoa, PB: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, p. 4025- 4032, 2015.

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A; FUENTES, D.A; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band índices from AVIRIS imagery. In: **AVIRIS Workshop**, JPL/ NASA, Pasadena, Califórnia, 2000.

ROBERTSON, G. P.; PAUL, E. A.; HARWOOD, R. R. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. **Science**, v. 289, n. 5486, p. 1922-1925, 2000.

SILVA, D. C. C., ALBUQUERQUE FILHO, J. L., SALES, J. C. A., LOURENÇO, R. W. Identificação de áreas com perda de solo acima do tolerável usando NDVI para o cálculo do fator C da USLE.

Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 42, p. 72-85, 2017.

SILVA, S. C. P.; BAPTISTA, G. M. D. Análises espectrais da vegetação com dados hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO₂ em diferentes ambientes na amazônia brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, no 2, p.354-370, 2015.

TARCITANI, F. C.; BARRELLA, W. Conhecimento Etnoictológico dos Pescadores Desportivos do Trecho Superior da Bacia do Rio Sorocaba. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 2, n. 2, p. 1-28, 2009.

TONIOLO, J. C.; CARNEIRO, C. D. R. Processos geológicos de fixação de carbono na Terra e aquecimento global. **Terra e Didática**, v. 6, n. 1, p. 31-56, 2010.

WMO, World Meteorological Organization. **Statement on the State of the Global Climate in 2016**. WMO, 2017, 28 p.

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

José Adriano da Silva

Universidade Federal do Ceará/UFC,
Departamento de Engenharia Agrícola/DENA –
Fortaleza, Ceará.

Vinicius Bitencourt Campos Calou

Universidade Federal do Ceará/UFC,
Departamento de Engenharia Agrícola/DENA –
Fortaleza, Ceará.

Adunias dos Santos Teixeira

Universidade Federal do Ceará/UFC,
Departamento de Engenharia Agrícola/DENA –
Fortaleza, Ceará.

Daniel Albiero

Universidade Federal do Ceará/UFC,
Departamento de Engenharia Agrícola/DENA –
Fortaleza, Ceará.

RESUMO: Cresce rapidamente o uso dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) em diversas áreas do conhecimento. Sua ampla utilização deve-se a facilidade de adaptação que esses equipamentos oferecem às necessidades de cada projeto, pois as características das imagens estão diretamente relacionadas a parâmetros como resoluções, escalas e tipos de sensores, que são escolhidos de acordo com a necessidade de cada trabalho. Embora os avanços em relação à fotogrametria atual possam oferecer grandes vantagens em termos de custos, abordagem intuitiva e eficaz para modelagem 3D, pouco

se sabe sobre qual sensor e qual o software irá produzir resultados que possam atender de forma eficaz aos requisitos dos usuários. O objetivo desse trabalho foi analisar os erros do processo envolvendo o modelo RTK (*Real Time Kinematic*) usado na coleta de pontos de GCPs e avaliar a qualidade do processo apresentada pelo software Pix4D, tendo como base de dados para avaliação o relatório de erros apresentado pelo referido software para os GCPs. Tanto os erros horizontais e verticais do modelo de RTK, como os erros apresentados pelas coordenadas X, Y e Z dados pelo Pix4D ficaram dentro dos limites de controle, indicando, portanto, que nesse caso o processo encontram-se sob controle. Os limites de controle foram inferiores ao tamanho do GSD.

PALAVRAS-CHAVE: veículo aéreo não tripulado, processamento de imagem, qualidade, modelagem 3D.

ABSTRACT: The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) is rapidly growing in several areas of knowledge. Its wide use is due to the ease of adaptation that these equipments offer to the needs of each project, since the characteristics of the images are directly related to parameters such as resolutions, scales and types of sensors, which are chosen according to the need of each work. Although advances in photogrammetry today offer great cost

advantages, an intuitive and effective approach to 3D modeling, little is known about which sensor and which software will produce results that can effectively meet users' requirements. The objective of this work was to analyze the errors of the process involving the RTK (Real Time Kinematic) model used in the collection of GCP points and to evaluate the quality of the process presented by the software Pix4D, having as a data base for evaluation the error report presented by Software for GCPs. Both the horizontal and vertical errors of the RTK model, as well as the errors presented by the coordinates X, Y and Z given by the Pix4D were within the limits of control, indicating, therefore, that in this case the process is under control. Control limits were lower than GSD size.

PALAVRAS-CHAVE: Vant, image processing, quality, 3D modeling.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) em aplicações civis vêm crescendo rapidamente em diversas áreas e com inúmeras finalidades. Dentre essas áreas destacam-se aplicações orientadas para monitoramento e gestão dos recursos naturais (HORCHER e VISSER, 2004), monitoramento da vegetação (SUGIURA et al., 2005), agricultura de precisão (REIDELSTUERZ et al., 2007), mapeamento de sítios arqueológicos (BENDEA, et al., 2007; PATIAS, et al., 2007), mineração e fiscalização (ROCK et al., 2011), segurança e meio ambiente (ROIG et al., 2013) e cartografia (REMONDINO et al., 2011).

Sua ampla utilização deve-se a facilidade de adaptação às necessidades de cada projeto, pois as características das imagens estão diretamente relacionadas a parâmetros como resoluções, escalas e tipos de sensores, que são escolhidos de acordo com a necessidade de cada trabalho, além de permitirem a coleta de dados com alta resolução espacial e temporal (ROCK et al., 2011).

Vários softwares de processamento digital de imagens de VANT, comerciais e livres, estão disponíveis. Pix4D mapper e Agisoft Photoscan são exemplos dos mais difundidos no momento. Nesses softwares, todo o processamento, desde a orientação interna, correspondências automáticas entre todas as imagens que tenham alguma sobreposição, ajustamento simultâneo de feixes em bloco e geração dos produtos, como MDS e ortomosaico, entre outros, são realizados automaticamente (OIKONOMOU et al., 2015).

A metodologia utilizada para derivar nuvens densas de pontos 3D e modelos MDSs a partir de imagens obtidas por câmeras embarcadas em VANTs é baseada no algoritmo SfM (*structure from motion*), que usa abordagem combinada para encontrar padrões de correspondência nas imagens. O SfM foi desenvolvido em o campo de visão computacional para a geração automática de modelos 3D a partir de conjuntos de dados não ordenados (REMONDINO et al., 2014). Ainda segundo Remondino et al.

(2014), nuvens de pontos e MDSs derivados a partir do uso de VANTs e processadas usando algoritmos como SfM podem ser comparados à nuvem densa de pontos obtidas por laser scanning, com relação a qualidade e resolução alcançada.

Para Niederheiser et al. (2016), embora os avanços em relação à fotogrametria atual possam oferecer grandes vantagens em termos de custos, abordagem intuitiva e eficaz para modelagem 3D, usando muitas plataformas de softwares disponíveis, pouco se sabe sobre qual sensor e qual o software irá produzir resultados que possam atender de forma eficaz aos requisitos dos usuários.

O desenvolvimento de algoritmos nessa linha foi sempre acompanhado de avaliação de seu desempenho em termos de precisão. Ultimamente, as investigações de precisão têm sido realizadas sobre a geração de modelos digitais de superfície (REMONDINO et al., 2016) e, quando se deseja obter bons resultados métricos em termos de precisão para projetos que usam imagens digitais, torna-se necessário o uso de pontos de controle (GCPs) (REMONDINO et al., 2008). Aqui, os pontos de controle são uma importante fonte de dados para correção geométrica (REMONDINO et al., 2016).

De uma forma geral, as análises realizadas em produtos cartográficos têm como base a aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfico, definido pelo Decreto 89.817 de 20 de Julho de 1984, que incluem o cálculo do erro médio quadrático (EMQ) e da tolerância vertical (MICELI et al., 2011). Contudo, considerando a evolução dos softwares que fazem o processamento digital de imagens e geração de produtos de forma automática, torna-se necessário conhecer a qualidade com que tais algoritmos chegam a esses produtos (REMONDINO et al., 2016).

Segundo Montgomery (2004), o Controle Estatístico de Processos (CEP) compreende um conjunto de técnicas estatísticas que são usados para monitorar e melhorar os processos. Portanto, a essência do CEP é monitorar a variação inerente dos processos, denominada de variação natural, e distingui-las das causas especiais, que em geral são identificáveis.

Diante do exposto, o objetivo desse trabalho foi analisar os erros do processo envolvendo o modelo RTK (*Real Time Kinematic*) usado na coleta de pontos de GCPs e avaliar a qualidade do processo apresentada pelo software Pix4D, tendo como base de dados para avaliação o relatório de erros apresentado pelo referido software para os GCPs.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Complexo Industrial e Portuário do Pecém-CIPP, mais especificamente, no pátio de deposição de Carvão Mineral da Unidade Termoelétrica-UTE, localizado na Rodovia CE 085, Km 40,5, município de São Gonçalo do Amarante-CE, em junho de 2016. As coordenadas de localização da entrada da usina são:

Latitude 3°35'4,05"S e Longitude 38°52'18,74"O.

O vôo foi realizado a 70 metros de altura, usando o aplicativo para vôo programado Litchi, com VANT Inspire 1, Drone da marca Dji, tendo a bordo a câmera ZENMUZE X3, de 12 MP, distância focal de 3,6 mm, largura 4.000 pixels, altura 3.000 pixels, largura do sensor 6,17 mm e altura do sensor 4,628 mm.

A velocidade adotada para o vôo foi de 28 km/h, com uma taxa de armazenamento de imagens a cada 2 segundos. A área mapeada foi de 540m x 220m, com sobreposição frontal calculada de 85% e lateral de 80%, produzindo, portanto, 10 linhas de vôo, com um total de 310 imagens capturadas e usadas no processamento. O tempo estimado para o vôo pela plataforma Litchi foi de 13 minutos. O GSD, do inglês *Ground Sampling Distance* (cm/pixel) foi calculado pela seguinte expressão (Pix4D, 2016):

$$\text{GSD (cm/pixel)} = \frac{S_w * H * 100}{I_{mw} * F_r} \quad (1)$$

Em que: S_w é a largura do sensor (mm); I_{mw} é a largura da imagem (pixel); F_r é a distância focal (mm) e H a altura de vôo (m).

Foram coletados 13 pontos de controles (GCPs), aleatoriamente distribuídos, usando um GPS Geodésico RTK da marca TRIMBLE, modelo R4, com Base instalada em um marco geodésico anteriormente implantado, usando o mesmo equipamento (Figura 1). O conjunto RTK faz a determinação das coordenadas planialtimétricas através do rastreamento de satélites pertencentes ao sistema Navstar-GPS, com a utilização do Receptor base GNSS com 72 canais paralelos e nova tecnologia R-Track para rastreamento dos sinais L1/CA e L2, com suporte para WASS e EGNOS, GLONASS L1/CA e L2, rádio base UHF TRIMBLE HPB450, com 14 canais selecionáveis e Receptor Rover GNSS com antena e rádio UHF integrados em uma única peça, com 72 canais paralelos e tecnologia R-Track para rastreamento dos sinais L1/CA e L2 com suporte para WASS e EGNOS, GLONASS L1/CA e L2 e Coletor de dados Trimble TSC2 (TRIMBLE, 2013).

Além do sistema RTK de alta precisão, com 3 mm + 0.1 ppm RMS na horizontal e 3,5 mm + 0,4 ppm RMS na vertical (Trimble, 2013), para diminuir os erros da etapa manual do processo, que é a inserção dos GCPs na etapa de processamento, foram usadas placas de acrílico medindo 0,30m x 0,30m de cor laranja, com um centro marcado em cruz com fita medindo 1,7 cm de largura (Figura 1B e 1C). O projeto foi desenvolvido tendo como base o Datum horizontal SIRGAS2000, com cotas geométricas e usando o plano de projeção UTM (*Universal Transversa de Mercator*).

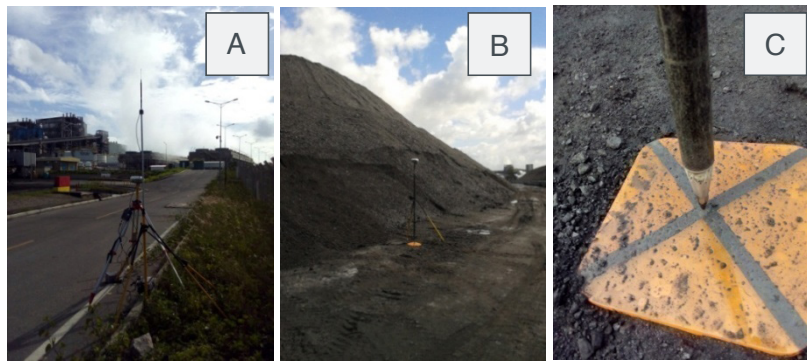


Figura 1. Detalhe da Base Geodésica e coleta dos pontos de controle (GCPs).

O processamento das imagens foi feito usando o software Pix4D Mapper Pro, com licença pertencente ao Grupo CADIC BRASIL. Esse software, por ter uma interface bastante amigável e apresentar bons resultados em termos de qualidade indicada por vários trabalhos na linha, é hoje, umas das principais plataformas usadas no processamento digital de imagens adquiridas com VANTs em todo o mundo.

A análise estatística, a confecção de gráficos e das cartas de controle foram feitas usando planilhas inteligentes e o software Minitab 16, com licença pertencente ao LIMA (Laboratório de Investigação de Acidentes com Máquinas Agrícolas) da Universidade Federal do Ceará.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentados os erros horizontais e verticais dados pelo GPS para os 13 GCPs. É possível observar pela tabela que as precisões obtidas pelo sistema RTK são milimétricas. Essas precisões estão de acordo com o esperado, tendo como referência as precisões prometidas pelo modelo, a classe de observação para as medidas que foram fixas, além da grande quantidade de satélites disponíveis no momento da medida (entre 13 e 14).

Ponto	Precisão HA (metro)	Precisão HV (metro)	Classe de Observação	QC ¹
GCP1	0,005	0,009	Fixa	14
GCP2	0,006	0,009	Fixa	13
GCP3	0,007	0,012	Fixa	14
GCP4	0,010	0,016	Fixa	14
GCP5	0,009	0,014	Fixa	14
GCP6	0,005	0,008	Fixa	14
GCP7	0,009	0,014	Fixa	14
GCP8	0,007	0,011	Fixa	14
GCP9	0,010	0,015	Fixa	14
GCP10	0,010	0,015	Fixa	14
GCP11	0,007	0,011	Fixa	14
GCP12	0,009	0,014	Fixa	14
GCP13	0,006	0,010	Fixa	13

Tabela 1. Quadro de precisões dado pelo sistema RTK para cada ponto de controle (GCPs).

¹Quantidade de satélites disponíveis no momento da medida e usado na obtenção da coordenada pelo GPS.

As precisões horizontais e verticais dos GCPs apresentados na Tabela 1, dados pelo sistema RTK, obedeceram a uma distribuição normal quando submetido à análise estatística, com P-value de 0,185 e 0,145 para as precisões horizontais e verticais, respectivamente. A Figura 2 mostra o histograma para os dados supracitados. É possível observar pela análise da figura que as imprecisões verticais calculada pelo modelo de GPS são de aproximadamente o dobro das horizontais, comportamento esperado para equipamentos Geodésicos. Contudo, os erros dados pelo equipamento são bastante baixos, com média de 0,007667 metros e desvio padrão de 0,001799 para as precisões horizontais e média de 0,01228 metros e desvio padrão de 0,002701 para as precisões verticais.

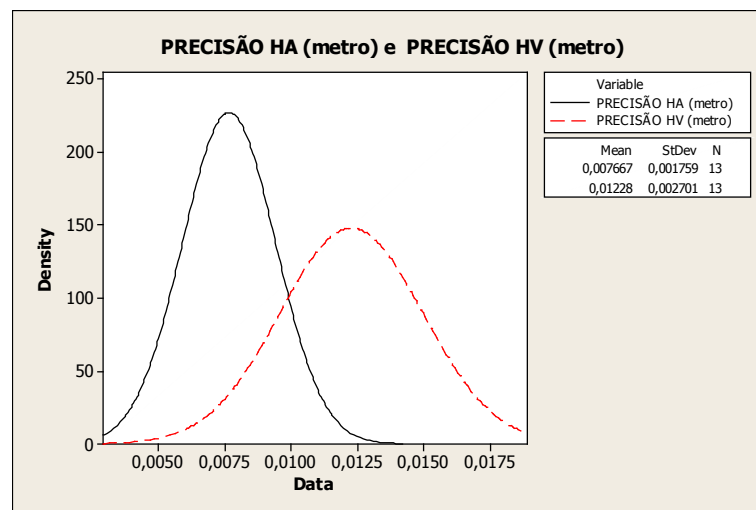


Figura 2. Histograma das precisões horizontais (HA) e verticais (HV) dadas para os GCPs pelo RTK.

A Figura 3 traz as cartas de controle individual para as variáveis indicadas acima. Tanto a precisão horizontal (Figura 3A), que envolve as coordenadas X (Este) e Y (Norte), como a precisão horizontal (Figura 3B) estão dentro dos limites superior e inferior estatisticamente estabelecidos para os dados, indicando que se trata de um processo que está sob controle. Assim, considerando que o modelo de RTK adotado para a coleta de pontos de controle (GCPs) obedece a um padrão normal quando se trata do erro inerente à coleta das coordenadas, passamos agora a analisar os erros inerentes ao processamento das imagens, tomando como base os erros relacionadas aos GCPs no processo.

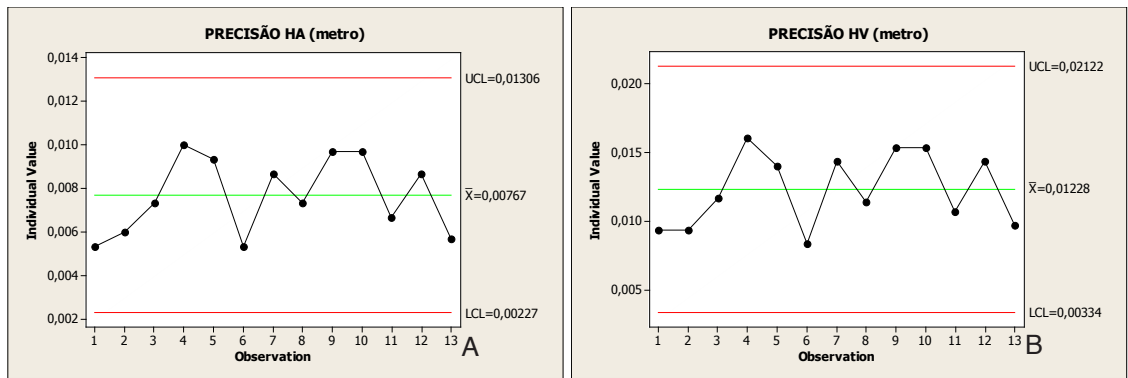


Figura 3. Cartas de controle para precisões horizontais e verticais dadas pelo sistema RTK.

A Figura 4 mostra o mosaico da área sobrevoada e a espacialização dos GCPs. O GSD médio calculado pelo Pix4D foi 3,09 cm/pixel, 0,09 cm/pixel maior do que calculado com os parâmetros da câmera. Essa pequena diferença entre o GSD estimado e o GSD calculado pelos Softwares podem ocorrer devido às oscilações relacionadas ao movimento vertical do VANT em vôo, devido, principalmente, ao vento.

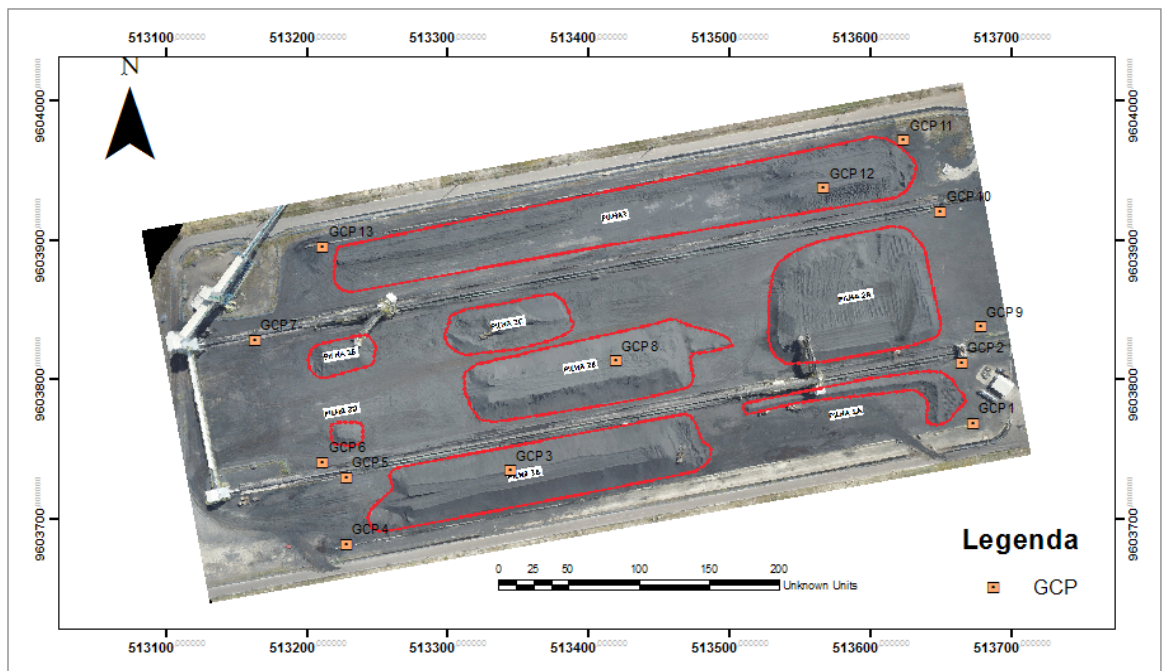


Figura 4. Mosaico da área com os pontos de GCPs.

A Tabela 3 traz a exatidão em X (Leste), Y (Norte) e Z (Altitude) dados em relatório do Pix4D na etapa de processamento das imagens. Trata-se dos erros entre as coordenadas dos GCPs, obtidas pelo RTK e dados ao Software na etapa de inserção dos pontos de controles (etapa manual), e as coordenadas estimadas (calculadas) pelo Pix4D para o mesmo ponto após geração da nuvem de pontos.

Ponto	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Descrição
GCP1	0,002	0,003	0,005	p 1-placa1
GCP2	-0,009	-0,004	0,003	p 1-placa2
GCP3	0,001	0,009	0,000	p 1-placa3
GCP4	-0,003	-0,005	-0,002	p 1-placa4
GCP5	-0,004	0,004	0,004	p 1-placa5
GCP6	0,003	-0,004	0,000	p 2-placa6
GCP7	0,011	0,001	-0,001	p 2-placa7
GCP8	0,003	-0,008	-0,001	p 2-placa8
GCP9	-0,002	-0,001	-0,002	p 2-placa9
GCP10	-0,007	-0,002	0,009	p 2-placa10
GCP11	0,005	0,007	-0,008	p 3-placa11
GCP12	0,001	-0,008	0,002	p 3-placa12
GCP13	-0,011	0,002	-0,001	p 3-placa13

Tabela 3. Exatidão da localização por GCP nas três direções de coordenadas para vôo a 70 metros. (verificada automaticamente, marcados manualmente).

Os dados com os erros para as variáveis apresentadas na Tabela 3, quando submetidos à análise estatística, apresentaram normalidade, condição necessária para darmos andamento a análise dos dados usando o método proposto. Dessa forma, a Figura 5 apresenta um histograma e as cartas de controle para os erros em X, Y e Z dados pelo relatório de erros gerado pelo PixAD. De uma forma geral, os erros, representados pela diferença entre as coordenadas colhidas com o sistema RTK e as coordenadas geradas pelo processamento para o mesmo ponto, indicadas no relatório de erros, apresentam-se baixos para X, Y e Z, com todas as variáveis testadas estando dentro dos limites de controle, indicando, portanto, que o processo encontram-se sob controle, com limites de controle inferiores ao tamanho do GSD.

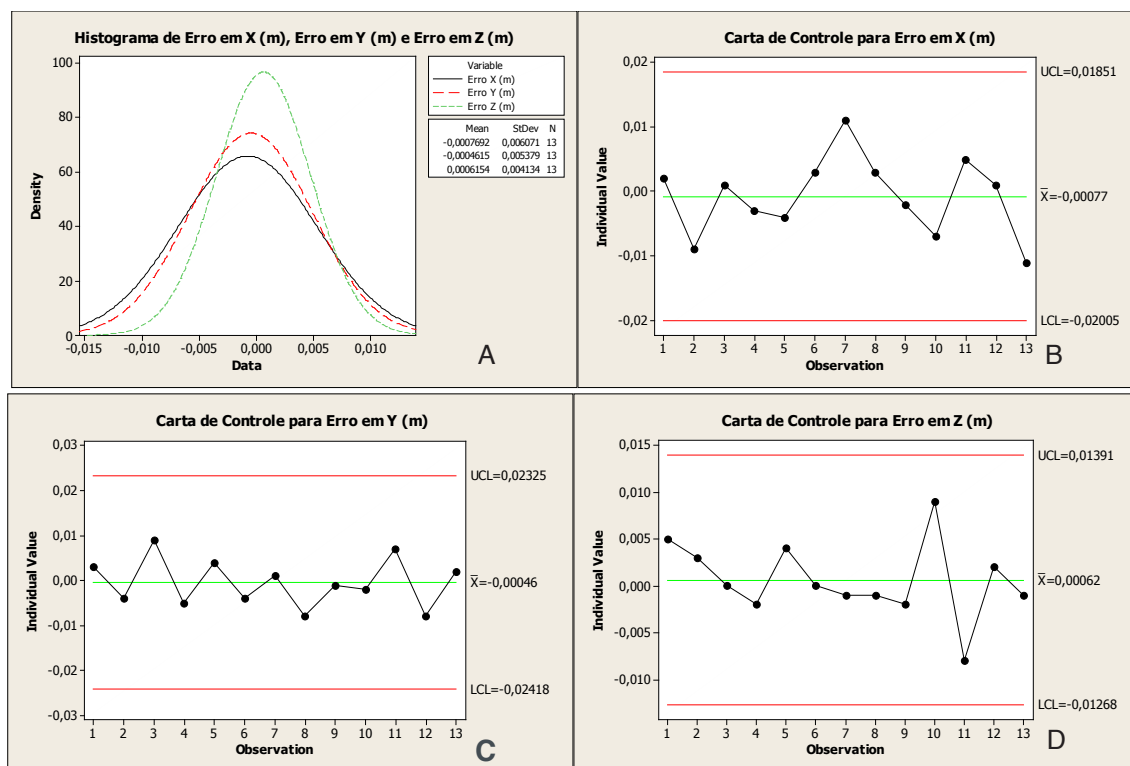


Figura 5. Histograma (A) e cartas de controle para os erros dados em relatório pelo Pix4D para os GCPs para as coordenadas X (B), Y (C) e Z (D).

Um gráfico de controle tradicional pode ser entendido como sendo uma representação gráfica de uma variável de resposta em função do número da amostra. Assim, os gráficos de controle são fundamentais para o monitoramento do processo, examinando a variabilidade dos dados, distinguindo entre causas comuns e causas especiais (MONTGOMERY, 2004). Segundo o mesmo autor, a causa comum é definida como uma fonte de variação que afeta todos os valores individuais de um processo e é resultante de diversas origens, sem que nenhuma tenha predominância sobre a outra. Assim, um processo é dito sob controle, ou estatisticamente estável, quando somente causas comuns estiverem presentes e controladas, condições observadas no presente trabalho.

4 | CONCLUSÕES

Tanto os erros horizontais e verticais do modelo de RTK, como os erros relacionados às coordenadas X, Y e Z dos GCPs dado pelo Pix4D ficaram dentro dos limites de controle, indicando, portanto, que nesse caso o processo encontram-se sob controle. Os limites de controle foram inferiores ao tamanho do GSD.

5 | AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Ceará/UFC, ao LEMA (Laboratório de Eletrônica e Máquinas Agrícolas) e ao Grupo CADIC BRASIL pelo apoio.

REFERÊNCIAS

BENDEA, H. F. et al. Mapping of archaeological areas using a low-cost UAV the Augusta Bagiennorum Test site. In: XXI International Symposium, Athens, Greece. 2007. **Anais...** 2007. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.222.2807&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 23 de out 2016.

HORCHER, A.; VISSER, R. J. M. Unmanned Aerial Vehicles: Applications for Natural Resource Management and Monitoring. In: Council on Forest Engineering Annual Meeting, Hot Springs (AR), USA. 2004. **Anais...** 2004. Disponível em: http://www.cofe.frec.vt.edu/documents/2004/COFE_2004_Horcher_Visser.pdf. Acesso em: 23 de out 2016.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**. 4.ed. São Paulo: LTC, 2004. 513 p.

MICELI, B. S. et al. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**. Nº 63/01, 2011. ISSN 0560-4613.

NIEDERHEISER, R. et al. Deriving 3d point clouds from terrestrial photographs - comparison of different sensors and software. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B5, 2016. **Anais...** XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic. Disponível em: <<http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B5/685/2016/isprs-archives-XLI-B5-685-2016.pdf>>. Acesso em: 2 de nov de 2016.

OIKONOMOU, C.; STATHOPOULOU, E. K.; GEORGOPOULOS, A. Contemporary data acquisition technologies for large scale mapping. 35th EARSeL Symposium – **European Remote Sensing: Progress, Challenges and Opportunities** Stockholm, Sweden, June 15-18, 2015.

PATIAS, P. et al. Photogrammetric documentation and digital representation of the Macedonian palace in Vergina-Aegeae. In: CIPA, XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece, 2007. **Anais...** 2007. Disponível em: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-C53/papers/FP112.pdf>>. Acesso em: 25 de out 2016.

Pix4D. **TOOLS - GSD Calculator**. Disponível em: <<https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202560249-TOOLS-GSD-Calculator#gsc.tab=0>>. Acesso em: 25 de out 2016.

REIDELSTUERZ, P. et al. Uav (unmanned aerial vehicles) für Präzisionslandwirtschaft. 13 Workshop Computer Bildanalyse in der Landwirtschaft & 4. Workshop Precision Farming, In: Bornimer Agrartechnische Berichte. **Anais...** 61, 75-84. 2007. Disponível em: <<https://www.uni-hohenheim.de/en/organization/publication/uav-unmanned-aerial-vehicles-fuer-precisionlandwirtschaft>>. Acesso em: 20 de out de 2016.

REMONDINO, F. et al. Turning images into 3D models – development and performance analysis of image matching for detailed surface reconstruction of heritage objects. **IEEE Signal Processing Magazine**, 25(4): 55–65. 2008.

REMONDINO, F. et al. Uav photogrammetry for mapping and 3d modeling—current status and future perspectives. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, 38(1), C22. 2011.

REMONDINO, F. et al. State of the art in high density image matching. In: *The Photogrammetric Record* 29, pp. 144–166. doi:10.1111/phor.12063. Disponível em: <http://3dom.fbk.eu/sites/3dom.fbk.eu/files/pdf/Remondino_etal_PhotoRecord29-146.pdf>. Acesso em: 25 de out 2016.

ROCK, G.; RIES, J. B.; UDELHOVEN, T. Sensitivity Analysis of UAV Photogrammetry for Creating Digital Elevation Models (DEM). In: International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing

and Spatial Information Sciences, Zurich, Switzerland, 2011. **Anais...** v. XXXVIII-1/C22, p. 70 – 73, 2011. Disponível em: < http://www.geometh.ethz.ch/uav_g/proceedings/rock> . Acesso em: 25 de out 2016.

FERREIRA, A. M. R. et al. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais...** 2013. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1264.pdf>>. Acesso em: 1 de nov de 2016.

SUGIURA, R., NOGUCHI, N.; ISHII, K. Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter. In: **Biosystems Engineering**, N° 90, 4, 369–379, 2005.

TRIMBLE R4. **Model 3 gnss receiver**. Version 4.80. Revision A. 2013. Disponível em: <<https://www.manualslib.com/manual/828648/Trimble-Trimble-R8.html#manual>>. Acesso em: 25 de out 2016.

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

Barbara de Oliveira Sousa Castro

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

Anderson Antonio da Conceição Sartori

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

Flávia Luize Pereira de Souza

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

Letícia Albano Benites

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

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

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

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

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

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

KEYWORDS: sugarcane, spectral index, soil parameters.

1 | INTRODUÇÃO

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

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

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

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

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

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

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

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

2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 Caracterização da área de estudo

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

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

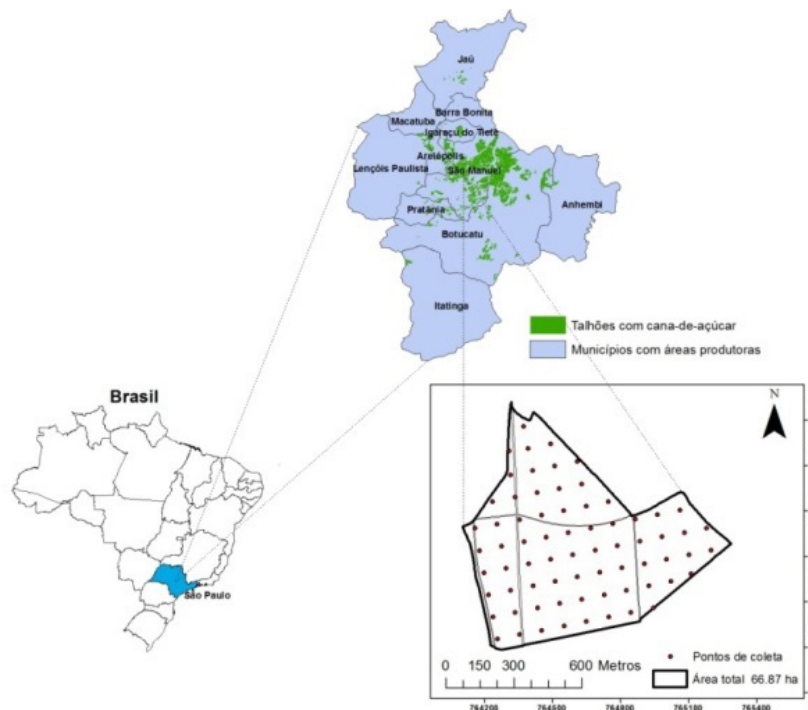


Figura 1. Localização das áreas produtoras de cana-de-açúcar da Usina Açucareira São Manoel S.A. São Paulo (Sartori, 2014).

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

2.2 Características das imagens espectrais

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

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

2.3 Pré-processamento da imagem Landsat-8

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

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

onde:

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

M_L =banda específica fator redimensionado multiplicador a partir dos metadados Radiância_Mult_Banda_ L , onde L é o número da banda;

A_L =banda específica fator escalonado aditivo a partir de metadados da Radiância_Add_Banda_ L , onde L é o número da banda;

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

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

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

onde:

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

M_p = banda específica do fator multiplicador redimensionando da reflectância $Mult_Banda_p$, onde p é o número da banda;

A_p = banda específica do fator aditivo redimensionando da reflectância $_Add_Band_p$, onde p é o número da banda;

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

2.4 Índices de vegetação

2.4.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

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

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

2.4.2 Normalized Difference Water Index (NDWI)

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

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

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

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

2.4.3 Enhanced Vegetation Index (EVI)

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

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

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

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

2.5 Amostragem e Análises do Solo em Laboratório

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

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

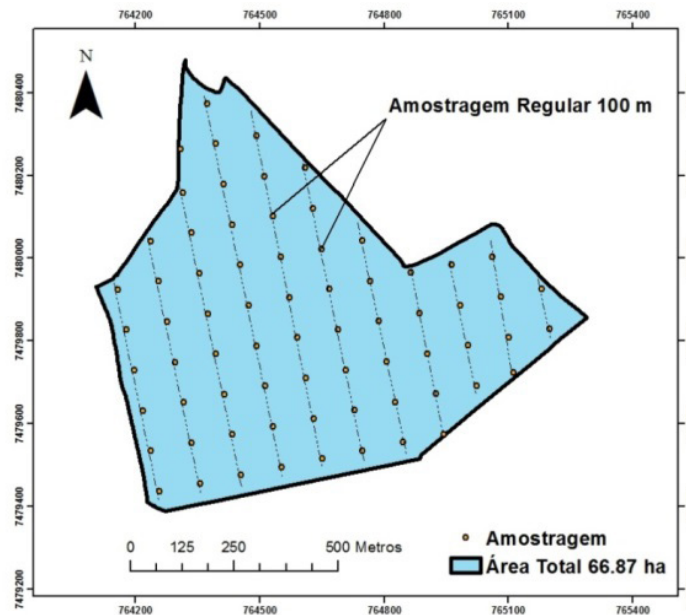


Figura 2. Locais das amostras de solo em uma malha regular de 100 m em campo de cana-de-açúcar.

2.6 Coeficiente de correlação de Pearson

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

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

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

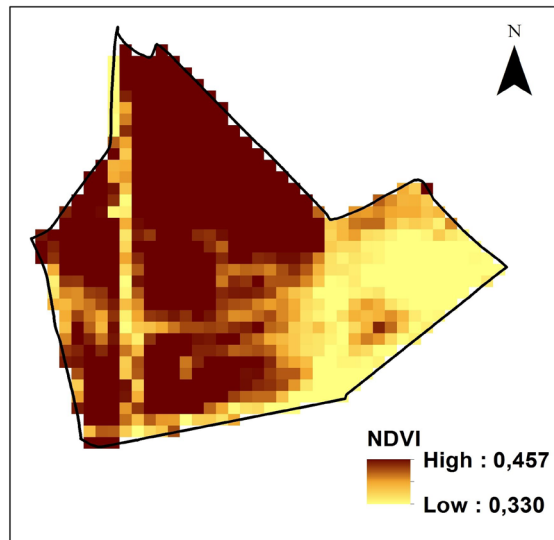


Figura 3. Índices de vegetação NDVI na área de estudo.

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

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

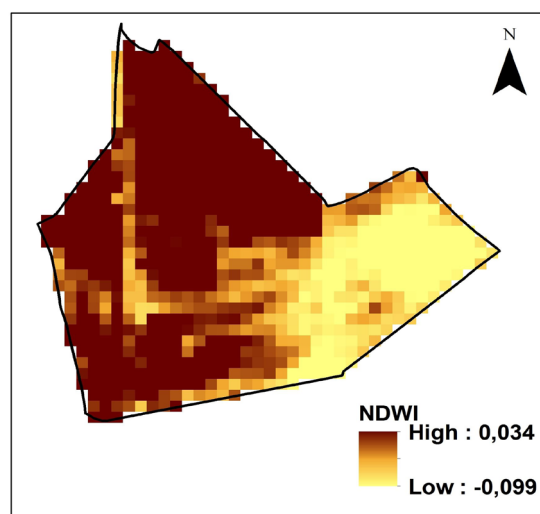


Figura 4. Índices de vegetação NDWI na área de estudo.

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

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

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

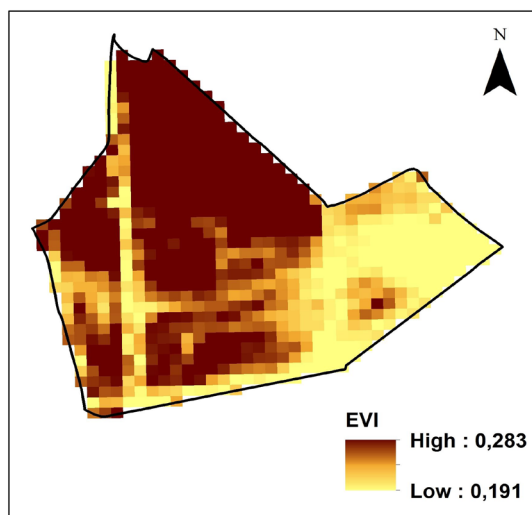


Figura 5. Índices de vegetação EVI na área de estudo.

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

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

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

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

*Nível de significância de 0,05.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

índices.

4 | CONCLUSÕES

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

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

REFERÊNCIAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VIVONI, E. R.; GEBREMICHAEL, M.; WATTS, C. J.; BINDLISH, R.; JACKSON, T. J. Comparison of ground-based and remotely sensed surface soil moisture estimates over complex terrain during SME04. ***Remote Sensing of Environment***, v.112, p.314-325, 2008.

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

Thiago Vieira Nogueira Coelho

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Lucas Moraes

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Rafael Falci Campos

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Luis Carlos Carmo Jr.

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Daniel Discini Silveira

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

André Luis Marques Marcato

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

Alexandre Bessa dos Santos

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia
Juiz de Fora – MG

RESUMO: Este trabalho mostra o design e desenvolvimento de um VANT (Veículo

Aéreo Não-Tripulado) do tipo quadrotor, para aplicação de sensoriamento remoto de áreas verdes, capaz de realizar os procedimentos de decolagem, voo e aterrissagem sem a necessidade de um piloto qualificado. Os algoritmos para a missão autônoma foram desenvolvidos na *framework* ROS (Robotic Operation System), que é um ambiente de desenvolvimento bem estabelecido e muito difundido na área de robótica. Um módulo Optical Flow foi utilizado com os dados de GPS para melhorar a estimativa de geolocalização do VANT. A melhora desta solução foi de aproximadamente 56% em relação ao erro com apenas o módulo de GPS habilitado. Uma câmera multiespectral georreferenciada embutida na aeronave é responsável por realizar o cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) que pode ser correlacionado com áreas de vegetação saudáveis. Com isso foi produzida uma aeronave autônoma de alta precisão espacial que possibilita o embarque de diferentes soluções de sensoriamento por imagens sem a necessidade de pilotos altamente treinados para realizar as missões.

PALAVRAS-CHAVE: VANT, NDVI, Optical Flow, Câmera Multiespectral

ABSTRACT: This work shows the design and development of a totally autonomous quadrotor UAV (Unmanned Aerial Vehicle), for application

in remote sensing of green vegetation areas, capable of executing a takeoff, the flight and the landing without the need of a qualified pilot. The autonomous mission algorithms were developed in ROS (Robotic Operation System), which is an established and well-known framework for robotics development. An optical flow module was used with the GPS data to enhance the UAV geolocation estimation. The enhancement was around 56% in comparison with only the GPS module enabled. A georeferenced multispectral camera embedded into the aircraft is responsible to perform NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) measurements that can be correlated to healthy vegetation areas. Therefore, an autonomous vehicle was manufactured that permits embed different image sensors solutions without need a duly specialized pilot to perform the mission.

KEYWORDS: UAV, NDVI, Optical Flow, Multispectral Camera

1 | INTRODUÇÃO

Missões de monitoramento em ambientes vastos e de difícil acesso são responsáveis por dificuldades logísticas devido ao uso de equipes de monitoramento in loco. Por estas e outras razões, soluções com plataformas robóticas tais como o uso de VANTs (Veículos Aéreos Não-Tripulados) apresentam grandes vantagens econômicas (BLEM, 2013).

O sensoriamento remoto aéreo de uma determinada área pode ser realizado por sensores multiespectrais ou hiperspectrais embarcados em satélites. Embora, esta solução seja a mais viável para cobertura de uma grande área como a totalidade de um estado ou país, ela apresenta certas desvantagens como o custo elevado de aquisição de imagens, além de a área de cobertura estar disponível apenas em determinados períodos de tempo devido a órbita de cada satélite e a imprevisibilidade quanto as condições de aquisições de imagem devido a presença de cobertura de nuvens.

Uma outra opção seria possuir ou contratar uma aeronave tripulada com sensores embarcados para sobrevoar uma área de interesse em específico. Porém, o custo de aquisição ou aluguel desta aeronave, bem como a manutenção de uma tripulação devidamente qualificada é bastante proibitivo em certos casos.

Neste cenário, aplicações de sensoriamento remoto que utilizem VANTs apresentam soluções mais independentes das condições climáticas e mais versáteis em relação aos satélites, pois permite uma fácil readequação e upgrade dos sistemas sensores embarcados com menores custos quando comparados à aeronaves tripuladas e sistemas satélites.

Entre as diferentes arquiteturas de VANT's, podem ser citadas os de asa fixa, que permitem maior autonomia, e arquiteturas de multirotores, permitindo a operação denominada VTOL (Vertical Take-Off and Landing), isto é, a decolagem e aterrissagem vertical, reduzindo a área requerida para tais procedimentos. Além disto, este tipo de aeronave permite o voo em loiter, ou seja, que a aeronave mantém uma geoposição fixa.

Atualmente, os VANTs possuem diferentes níveis de autonomia. Algumas aeronaves são controladas por um operador através de uma estação de controle remoto utilizando link de rádio-frequência. Estes operadores devem ser devidamente treinados e em certos níveis certificados para executar as missões de forma segura, prevenindo possíveis acidentes que possam por em risco pessoas na vizinhança da área de voo, bem como evitando perdas econômicas e possíveis danos a aeronave.

A combinação de operação com controle remoto com automação computadorizada, permite conduzir missões semi-autônomas tais como voos em alvos predeterminados. Versões ainda mais sofisticadas permitem controle embarcados e/ou sistemas de estabelecimento e cálculo de rotas para alterações em missões em tempo real (MANUAL QGROUND CONTROL, 2016). Entretanto, apenas um pequeno grupo de sistemas de VANTs realizam operações de alta complexidade de forma totalmente autônoma, tais como procedimentos de decolagem que ao começar a missão próxima ao solo, apresentam um cenário de grande turbulência gerada pelas hélices e procedimentos de pouso, que necessitam acertar um ponto de aterrissagem e realizar a aproximação próxima ao solo utilizando diretivas de acordo com a missão pré-programada. Estes cenários necessitam realizar estas ações com controle suficientemente apurado. Estes últimos sistemas são denominadas VAANTs (Veículos Aéreos Autônomos Não-Tripulados).

Devido a estas potencialidades, o desenvolvimento de VAANTs pela equipe do LITel (Laboratório de Instrumentação e Telemetria) da UFJF (Universidade Federal de Juiz de Fora) com capacidade de carga suficiente para embarcar as soluções de monitoramento de áreas de vegetação verde, foi foco deste trabalho, utilizando um módulo de alta precisão de posição permitindo procedimentos de loitering, que irão facilitar a aquisição de imagens com maior qualidade pela câmera multiespectral embarcada e procedimentos de decolagem e aterrissagem autônomas através de algoritmos desenvolvidos pela equipe de trabalho em linguagem C rodando sobre a framework ROS (Robotic Operating System). O sensor multiespectral será responsável pelo cálculo de NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é um índice de qualidade da vegetação que fornece um cenário da situação de preservação e qualidade de áreas verdes.

2 | MODELO DINÂMICO DE VOO PARA UM QUADROTOR

A figura 1 mostra um esquema de orientação de um quadrotor do tipo X, onde a seta no centro identifica a frente da aeronave, esta identificação é importante para o controle pois evita ambiguidade nas decisões de manobras e rotas. As dinâmicas de manobra são baseadas na rotação sobre um dos três eixos ortogonais, onde as manobras ascendentes e descendentes são controladas pela rotação dos quatro motores. Os ângulos de rotação sobre os eixos são denominados pitch (Θ), roll (ϕ)

and yaw (ψ).

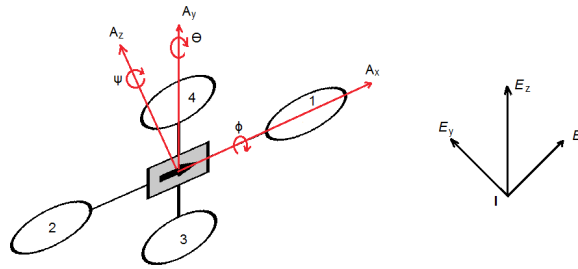


Figura 1 – Esquema de orientação de um quadrotor

Para garantir estabilidade, os motores 1 e 2 rotacionam em uma direção e os motores 3 e 4 na direção oposta. Esse arranjo é realizado para que os motores vizinhos cancelem entre si o torque, garantindo que aeronave não rotacione de forma descontrolada em torno de um eixo. Para aumentar ou diminuir a altitude basta aumentar ou diminuir o giro de cada motor. Neste exemplo, os motores 1 e 2 giram no sentido horário e os motores 3 e 4 no sentido anti-horário.

Para realizar o movimento para frente, é necessário o aumento de rotação no motor 2 e uma diminuição na rotação na mesma taxa do motor 1, ocasionando um giro no eixo Θ . A manobra para trás segue a mesma lógica. Para movimentar para direita, o motor 4 irá aumentar seu giro, ao mesmo tempo que o motor 3 irá diminuir seu giro na mesma taxa, ocasionando uma rotação no eixo ϕ , a movimentação para esquerda seguirá a mesma lógica. A rotação no sentido horário é realizada pelo aumento na rotação do motor 4 e diminuição na mesma taxa da rotação do motor 2, sendo a manobra no sentido anti-horário seguindo a mesma lógica ao produzir uma rotação no eixo ψ .

3 | DESIGN E MONTAGEM DO PROTÓTIPO VAANT

Um protótipo foi construído utilizando quatro motores brushless, resultando em uma aeronave comumente denominada como quadrotor. O quadrotor é um VANT de asa rotativa com várias vantagens em comparação com aeronaves de asa fixa, tais como melhor estabilidade nas ações de controle, possibilidade de loiter, isto é, de permanecer estável em uma geoposição durante o voo o que irá facilitar a aquisição de imagens pelas câmeras embarcadas com menos distorções.

Como arquitetura de frame para o VANT foi escolhida uma estrutura do tipo X com dinâmica de voo similar a descrita na seção anterior. As razões de escolha desta arquitetura é sua maior manobrabilidade, devido a todos as quatro hélices participarem da dinâmica de pitch e roll. Outro fator importante é que esta configuração evita hélices na frente da aeronave, permitindo que as imagens levantadas pelo módulo FPV (First Person Viewing), forneçam imagens similares a que um piloto dentro da aeronave teria, não sendo bloqueadas. A figura 2 mostra o design mecânico, no software

SolidWorks, e a imagem do protótipo de quadrotor produzido LITel da UFJF utilizados no monitoramento de vegetação por câmera multiespectral.

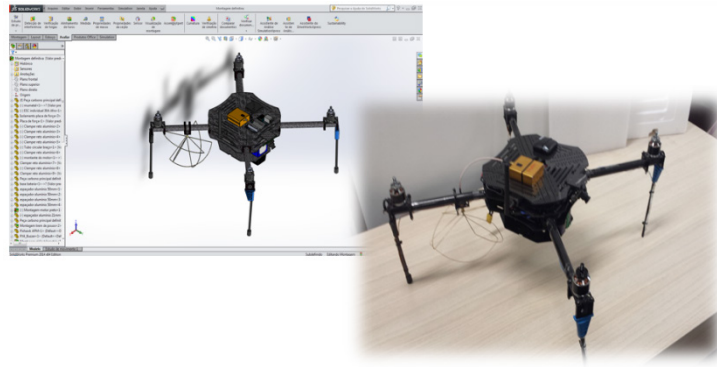


Figura 2 – Projeto mecânico do protótipo VANT montado no LITel.

Durante o estágio de prototipagem, o software realizou o cálculo do centro de gravidade (CG) da estrutura ficando este localizado no centro do protótipo para garantir estabilidade e precisão, bem como o cálculo de peso do protótipo que ficou em 1,4 kg. Estes dados foram importantes para o dimensionamento dos motores e para o cálculo de carga que o protótipo poderá carregar. Em adição, o trem de pouso foi projetado com altura suficiente para reduzir a probabilidade de dano aos periféricos da aeronave, bem como as hélices durante o pouso.

Para o design do protótipo o módulo de energia foi composto por uma bateria de três células, sendo a capacidade de 8400 mAh e uma descarga contínua de 40C, conectada a quatro módulos ESC (Electronic Speed Controllers). O protótipo, com todos os periféricos e a bateria pesam 2,1 kg e portanto o requerimento de carga para cada motor é de 525g o que irá consumir 6.7 A por motor. O consumo da unidade de controle e todos os periféricos é da ordem dos periféricos é de em torno de 600 mA, totalizando um consumo em voo de 27.4 A. A bateria neste design irá prover uma autonomia de aproximadamente 18 minutos e a taxa potência peso é de 5,78 W/g. Uma maior autonomia poderia ser alcançada com uso de bateria de 22 Ah ou com a utilização de baterias em paralelo.

Como objetivo de dotar o VANT com capacidade autônoma de seguir pontos pré-programados através de coordenadas geoposicionadas, e coordenar as ações da aeronave durante a missão, foi escolhida uma placa de controle de navegação chamada PIXHAWK. As características, modos de operação, diretivas de firmware para desenvolvedores e funcionalidades desta placa de controle se encontra bem documentada, sendo confiável e bem difundida na comunidade de desenvolvedores de VANTs. Além disso, possui sensores embarcados tais como acelerômetros, barômetros, giroscópios e magnetômetros no auxílio da navegação autônoma. Outra razão primordial na escolha por este sistema, é a capacidade de realizar processamento paralelo devido ao sistema embarcado UNIX, fazendo este possuir uma excelente

compatibilidade com os sistema multinós ROS.

O ROS é uma framework de desenvolvimento de plataformas robóticas que trabalha com uma arquitetura de nós que podem ser utilizados para representar além do próprio robô ou aeronave, as funcionalidades das mesma como sensores embarcados, módulos de navegação e etc. Além disso, provê uma infraestrutura de comunicação organizada entre estes nós através de tópicos e serviços. Tópico é uma forma de publicação contínua de dados por um nó e uma estrutura de serviços pode ser explicada como uma arquitetura de comunicação de cliente-servidor na rede ROS, isto é a publicação dos dados responde a uma requisição específica de um nó. A comunidade de desenvolvedores em ROS é bastante vasta e compartilha soluções de plataformas robóticas, incluindo pacotes que se comunicam com a PIXHAWK, através da modificação e reuso de pacotes construídos para a integração dos mais diversos componentes, plataformas e periféricos.

A equipe de pesquisadores do LITel desenvolveu rotinas em C++ para o controle automático do VANT, usando protocolos de comunicação MAVlink. O MAVlink é uma solução de comunicação suportada pelo ROS através do pacote denominado MAVROS. Este pacote foi utilizado e adaptado para atender aos requisitos de diretivas da missão para determinação de waypoints, isto é pontos de passagem da aeronave em voo, através leituras de GPS corrigidas para uma localização de alta precisão pelos módulos inerciais do VANT e pelo módulo de Optical Flow. Isto permitiu o cálculo dos procedimentos de aterrissagem de forma eficiente com a devida acurácia e segurança. O MAVROS permite a comunicação, envio e leitura de dados da PIXHAWK para determinação de ações de controle e automação da missão em tempo real.

A figura 3 mostra uma foto do protótipo construído no LITel, realizando uma missão totalmente autônoma nas imediações do laboratório.



Figura 3 – Voo autônomo de protótipo desenvolvido no LITel.

4 | MÓDULO OPTICAL FLOW PARA POSICIONAMENTO DE ALTA PRECISÃO

A técnica Optical Flow pode ser definida como movimento aparente dos padrões de intensidade de pixels em uma imagem. Sua operação baseia-se em ações de integração e diferenciação de padrões de movimento de pixels entre duas imagens subsequentes. É importante notar que a aquisição e processamento de imagens devem levar em conta os custos computacionais de processamento, já que aplicações computacionais autônomas necessitam prover respostas rápidas ao movimento das plataformas robóticas, sendo ainda mais crucial em veículos aéreos não-tripulados.

Para possibilitar a unidade de processamento de imagens estimar a posição do VANT, é necessário programá-la levando em consideração as características de hardware do sensor de imagem tais como a distância focal da lente e sua curvatura, o campo de visão além do ângulo de rotação relativo a aeronave. Estes aspectos são levados em contas para o cálculo do movimento aparente de pixels pelo controlador de voo seguindo a equação (CORKE, 2011):

$$\begin{pmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\hat{f}/Z & 0 & u/Z & uv/\hat{f} & -(\hat{f} + u^2/\hat{f}) & v \\ 0 & -\hat{f}/Z & v/Z & \hat{f} + v^2/Z & -uv/\hat{f} & -u \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_x \\ v_y \\ v_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{pmatrix} \quad (1)$$

sendo

$$u = \frac{\hat{f}}{\rho}x + u_0 \quad \mathbf{e} \quad v = \frac{\hat{f}}{\rho}y + v_0$$

onde (u,v) são as coordenadas de pixels na direção x e y , (u_0,v_0) são as coordenadas de pixels relativas ao ponto principal, que é a coordenda onde eixo óptico intercepta o plano imagem. O parâmetro \hat{f} é o foco normalizado da câmera relacionado ao tamanho de pixel ρ e $\Omega=(v_x, v_y, v_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z)$ é o vetor de velocidades que compreende as velocidades espaciais e angulares com relação aos eixos de coordenadas.

Neste projeto foi usado um módulo PX4FLOW que é um módulo sensor otimizado para atuar junto com a PIXHAWK para o cálculo do Optical Flow. Este módulo é equipado com uma câmera com resolução em pixels de 752x480 e uma distância focal de 16 mm com uma taxa de cálculo de Optical Flow de 400 Hz. O PX4FLOW é equipado com módulo de medidas inerciais (IMU) com o objetivo de reduzir ambiguidades no cálculo de movimento. O uso de módulos SONAR (Sound Navigation and Raging) ou LIDAR (Light Detection and Raging) podem ser utilizados para aumentar a precisão de operação, principalmente em cálculos de altitude de operação. Entretanto, devido a precisão de todas as etapas realizadas neste projeto e ao métodos de controle utilizados, o uso destes últimos módulos provou não ser

necessário.

Como pode ser visto na figura 4, ao somente utilizar o processamento da imagem por Optical Flow não é possível determinar quando o robô se move para baixo, na direção negativa no eixo z, ou se o plano terra está se movendo para cima, na direção positiva de z, ou se ocorrem ambos movimentos. Devido a esta ambiguidade, é necessário o uso de IMU precisamente calibrado de acordo com os sensores do controlador de voo.

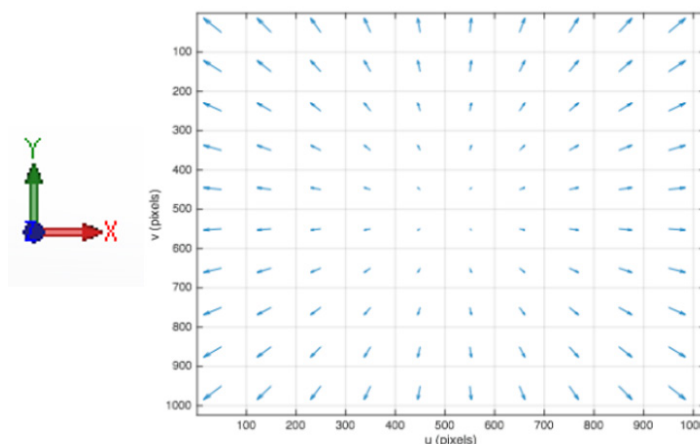


Figura 4 – Medida de Optical Flow indicando o decaimento da diferença entre o plano terra e a aeronave.

Portanto a velocidade na direção X e Y em relação ao sensor óptico pode ser estimada por imagens consecutivas usando a equação 1 e pode ser correlacionada com a posição do VANT.

Um ponto importante a ser notado sobre o Optical Flow está relacionado ao custo computacional para o processamento de imagem. Uma vez que as informações coletadas pela lente são numerosas e obtidas em frequências elevadas, o processamento computacional necessita ser suficientemente rápido para que a efetividade seja garantida ao evitar que decisões de controle e manobrabilidade ocorram com dados de posição desatualizados. Portanto, a camera embutida no PX4FLOW emprega baixa resolução, o que permite que os cálculos de Optical Flow ocorram, porém com imagens em resoluções bem inferiores aos de câmeras convencionais.

Apesar da baixa resolução da câmera da PX4FLOW não permitir a identificação mais detalhada de cores e certos detalhes da imagem conforme observa-se na figura 5, ela permite identificar texturas e formas em objetos permitindo o cálculo com devida acurácia do Optical Flow.



Figura 5 – Comparação entre a imagem adquirida pela câmera da PX4FLOW e uma câmera comercial de 8 MP.

5 | TESTES DE ERRO DE POSIÇÃO COM MÓDULO GPS + OPTICAL FLOW

Optical Flow é a distribuição das velocidades aparentes de padrões de brilho de uma imagem provenientes de movimentos relativos entre objetos e um observador, neste caso a câmera embutida na aeronave (PARAGIOS, 2005). O uso da técnica de Optical Flow através de técnicas de detecção, diferenciação e integração de imagens realizadas entre padrões de pixels em frames de imagens subsequentes é capaz de transmitir informações acerca da movimentação da aeronave, tais como velocidade, aceleração e direção, para uma unidade de recepção de dados (GAGEIK, 2013). Pesando estes dados com a informação de posição adquirida pelo módulo GPS, é possível reduzir o erro de posicionamento estimado para aeronave, melhorando as dinâmicas de controle para aeronave durante o voo e os procedimentos de aterrissagem autônomos. Ainda pode ser citado que em ambientes onde o sinal de GPS está deteriorado, como ambientes indoor por exemplo, o uso do Optical Flow pode estimar a posição da aeronave de forma eficiente (ZING, 2010).

O Optical Flow é um recurso que pode ser usado para o cálculo da posição utilizando diversos pesos na combinação com as leituras do GPS. Neste trabalho os pesos de ambos os módulos foram de 0,5 em uma escala de 0 a 1, sendo assim na estimativa os dados de GPS e do Optical flow foram considerados de mesma importância. As condições ambientais utilizadas no espaço livre foram das mais diversas em termos de vento e umidade do ar o que pode influenciar na medida do GPS. Entretanto, para o propósito de calibração da unidade PX4FLOW, o módulo de GPS foi desligado. As figuras 6 e 7 mostram os movimentos ao longo do eixo Y e X respectivamente.

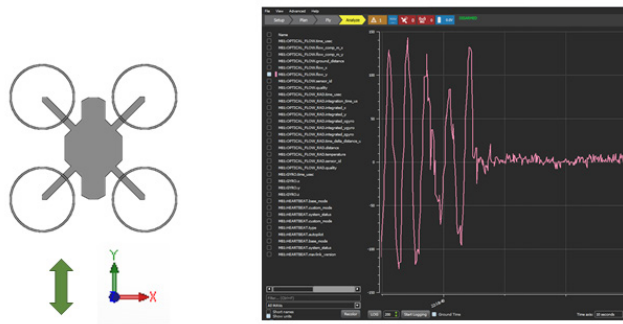


Figura 6 – Calibração da unidade PX4FLOW no eixo y.

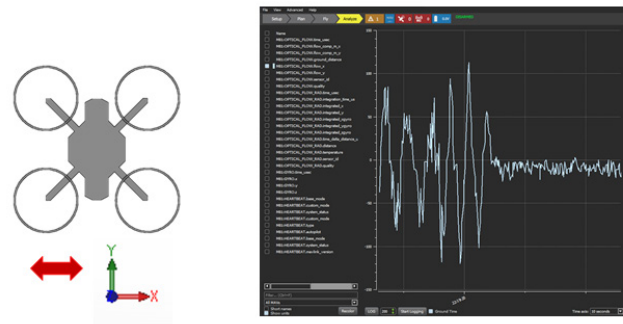


Figura 7 – Calibração da unidade PX4FLOW no eixo x.

Testes de precisão foram realizados utilizando o pouso apenas por GPS e pouso com módulo GPS + Optical Flow próximo as instalações do LITel. A figura 8 mostra as posições X e Y de pouso em centímetros distantes da posição de pouso ideal solicitada pelo controlador de voo e identificada na figura pelo marcador “estrela” com geoposicionamento de latitude e longitude 21,780 S e 43,380 W respectivamente. Os marcadores “X” foram as posições de pouso apenas com controle por GPS e os marcadores “O” foram as posições de pouso utilizando módulo GPS + Optical Flow.

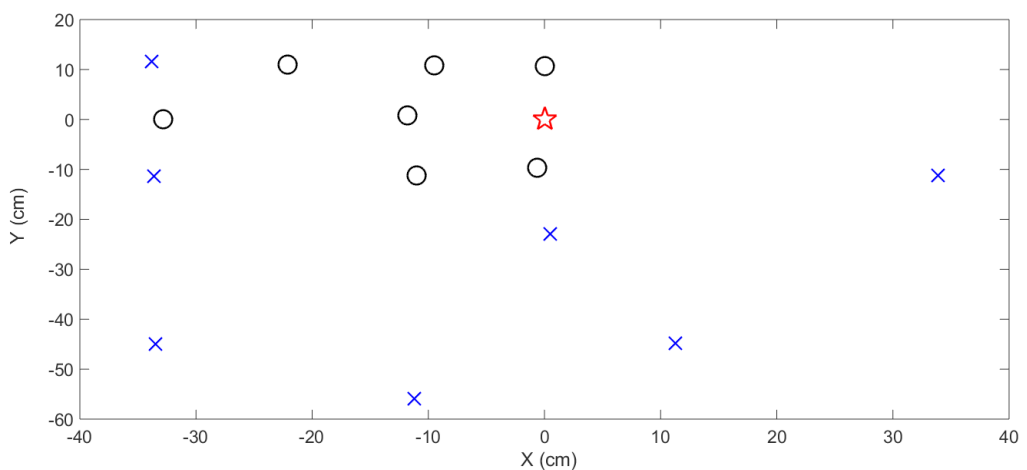


Figura 8 – Posição X e Y em centímetros para diferentes testes de pouso usando somente GPS (Marcadores “X”) e usando GPS+Optical Flow (marcadores “O”). Os marcadores em estrela indicam a posição desejada de pouso.

Depois de analisar os resultados, foi notado que a média do erro de posição para

o módulo GPS + Optical flow foi de 18 cm, contra um erro de 41,3 cm para o mesmo teste usando apenas o GPS indicando uma melhora de 56,4% ao usar um peso de 0,5 para cada módulo.

6 | ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E CÂMERA MULTIESPECTRAL

6.1 Índice de Vegetação de Diferença Normalizada

Proposto inicialmente por Rouse (ROUSE, 1973), mas popularizado por Tucker (TUCKER, 1979) o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) é reconhecido como o método padrão para a quantização da cobertura vegetal e crescimento de culturas agrícolas em uma determinada área (SULTANA, 2014). O NDVI pode ser calculado como uma relação entre a refletividade da área de interesse de medida no espectro infravermelho próximo (NIR – Near InfraRed) e no espectro do vermelho (R - Red) conforme a expressão abaixo (RABATEL, 2011):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (2)$$

O NDVI é um índice sensível a cobertura de vegetação e as condições da mesma. Seus valores de medida variam de -1 a 1. Quanto mais positivo os valores de NDVI, maior a cobertura da vegetação e quanto maior os valores negativos, estes podem estar associados a superfícies e reservas de água. Conforme pode ser visto na figura 9, a assinatura da refletividade espectral de superfícies vegetais utilizando relação do espectro NIR com espectro R, possui aspecto bem diferenciado de outras superfícies de interesse. Importante ressaltar que para valores mais próximos da realidade deve ser realizada uma calibração em relação as condições atmosféricas, diminuindo a interferência e ruídos provocados pela dispersão da energia eletromagnética pelas partículas de água suspensas na atmosfera.

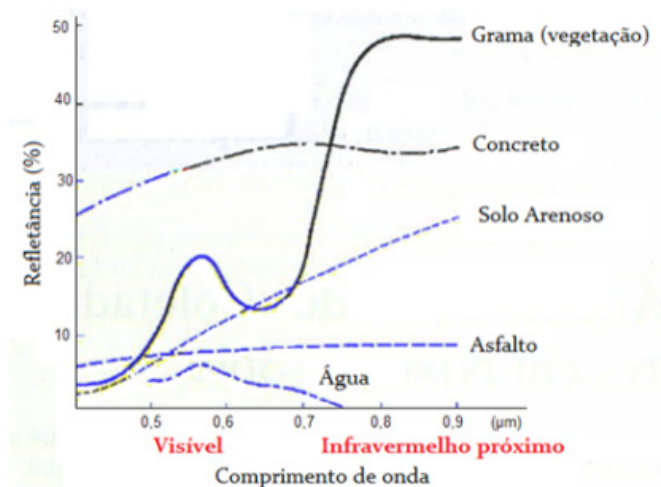


Figura 9 – Espectro de refletividade de diferentes superfícies.

O cálculo do índice NDVI tem bastante aplicabilidade no estudo da evolução

da área de cobertura vegetal. Por exemplo, a referência (NOVAS, 2008) traz a comparação do levantamento do NDVI no entorno da bacia do rio Traipu entre 1999 e 2006 conforme pode ser observado na figura 10.

As regiões em azul e vermelho tendem a indentificar mananciais de água e as áreas verdes mais escuras uma maior concentração de cobertura vegetal. Na figura 10, a região em 1999 possui uma cobertura vegetativa mais densa que em 2006, isso ocorre pois devido a construção da Usina Xingó na região ocorreu um impacto com o aumento da atividade agrícola durante os anos. É possível perceber pontos de mananciais de água onde antes apresentavam-se coberturas vegetais densas o que é um indicativo de açudes para produção agrícola.

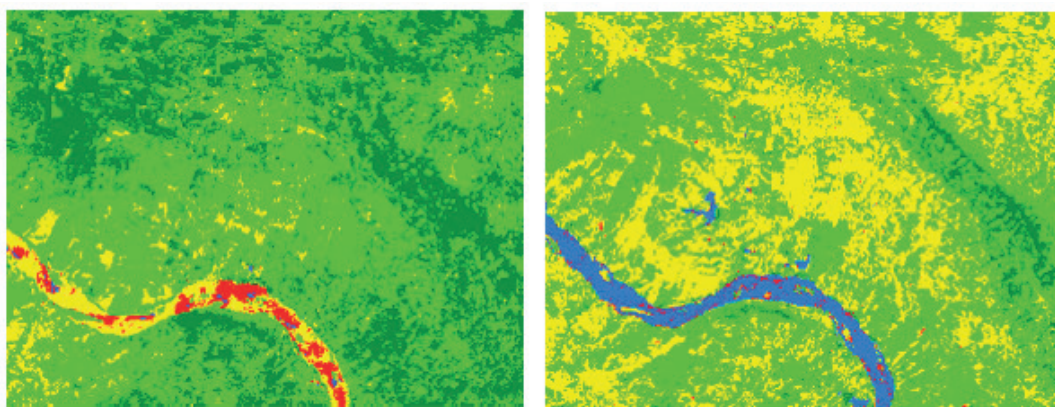


Figura 10 – NDVI medido ao sul da Bacia do rio Traipu-AL em 1999 e em 2006.

Fonte: (NOVAS, 2008)

A estimativa do NDVI nos permite adquirir informações importantes através do levantamento de imagens remotas. Desta forma, câmeras multiespectrais, trabalhando além do espectro do visível adicionando o espectro infravermelho para permitir o cálculo remoto do NDVI de áreas a serem monitoradas, são soluções de monitoramento bastante atrativas sendo embarcadas em VANTs para realizar esta ação com o maior custo benefício possível.

6.2 Câmera Multiespectral Embarcada no VANT

Neste trabalho, embarcamos uma câmera multiespectral no VANT desenvolvido no LITel para realizar levantamentos de NDVI de determinadas áreas no município de Juiz de Fora.

A câmera multiespectral a ser embarcada em VANTs necessita ser leve para não impactar no payload que a aeronave consegue carregar, ter baixo consumo para não diminuir a autonomia de voo ao exigir do módulo de bateria uma quantidade de carga substancial, ter integração com dados de GPS para armazenar imagens georeferenciadas e necessita trabalhar com espectro NIR e R para permitir o cálculo do NDVI. Para atender estas demandas foi escolhida uma câmera multiespectral da fabricante TETRACAM modelo ADC micro que pode ser vista na figura 11.



Figura 11 – Câmera Multiespectral TETRACAM ADC Micro.

Fonte: <http://www.tetracam.com/JPEGs/ADC%20MI1.jpg>

O modelo ADC Micro possui baixo consumo, em torno de 2W, sendo leve, em torno de 90g e possui integração com dados de GPS embarcados. Este modelo não possui bateria interna, sendo sua alimentação provida pela saída da bateria do VANT consumindo 1 A de corrente. Possui resolução espacial de 4 cm quando adquire imagens a alturas de 120 metros. Ela foi embarcada dentro do VANT com uso de um módulo gimbal, conforme pode ser visto na figura 12, que provê estabilidade para câmera para que mesmo com trepidações durante o voo ela permaneça estável para uma melhor aquisição das imagens.

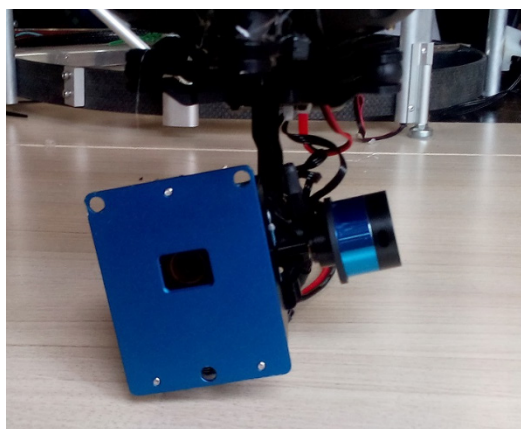


Figura 12 – Câmera Multiespectral embarcada no VANT fixada no gimbal.

A imagem fornecida pela câmera para visualização do operador é uma imagem denominada de falsa cor. Imagens visíveis são uma combinação das intensidades medidas no espectro vermelho (R - Red), verde (G - Green) e azul (B - Blue) o que determina a imagens de câmeras convencionais serem denominadas RGB.

A câmera multiespectral ADC Micro trabalha apenas com os espectros NIR, R e G. Sendo assim ao trabalhar com imagem em falsa cor é realizada uma composição de imagem na qual a intensidade medida no espectro NIR seja armazenada na matriz R, a intensidade medida no espectro R seja armazenada na matriz G e a intensidade medida no espectro G seja armazenada na matriz B. Assim, uma combinação RGB falsa é criada dando origem a imagens como encontradas na figura 12, onde as partes

da imagem com cobertura vegetal ficam com o tom bem distinguível na cor magenta.



Figura 12 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral da TETRACAM.

Fonte: <http://www.tetracam.com/JPEGs/Produc57.jpg>

7 | RESULTADOS DE IMAGENS CAPTADAS PELA CÂMERA MULTIESPECTRAL

Foram realizados voos autônomos nas intermediações do Morro do Cristo (21,76o S; 43,34o W) no município de Juiz de Fora através de waypoints pré-determinados em uma configuração prévia a missão. As imagens adquiridas estavam georeferenciadas pelo módulo de GPS com erro de posição diminuído pela correlação com o módulo de Optical Flow para maior resolução espacial conforme descrito anteriormente nas seções 4 e 5. A escolha desta região foi devido a diversidade de áreas de mata verde cercaneadas por edificações. Foram levantadas imagens com câmeras comerciais de 16 MP e com a câmera multiespectral para determinar a eficiência na identificação de áreas verdes.

A figura 13 mostra a imagem RGB padrão aquisitada pela câmera comercial padrão embutida no VANT. As figuras 14 e 15 mostram a imagem em falsa cor e a paleta de NDVI medida para o mesmo cenário pela câmera Multiespectral que foi especificada na seção 6.

Analisando os resultados da figura 15 pode-se perceber que a imagem espectral foi capaz de detectar até concentração de árvores em meio a edificações. Foi levantado que na imagem adquirida, em torno de 20% da área apresenta uma cobertura vegetal densa com folhagens saudáveis. A vegetação rasteira detectada foi de em torno de dez por cento. Uma resposta vermelho intensa detectaria mananciais de água ou concentrações de poças de água devido a chuvas o que não ocorreu pois nenhum dos dois cenários é satisfeito nesta localidade e no dia de aquisição. A detecção de edificações ocorrem porém se encontra com assinatura espectral semelhante ao solo exposto para faixa de trabalho da câmera multiespectral.



Figura 13 – Imagem em RGB adquirida pela câmera de 16 MP no Morro do Cristo.

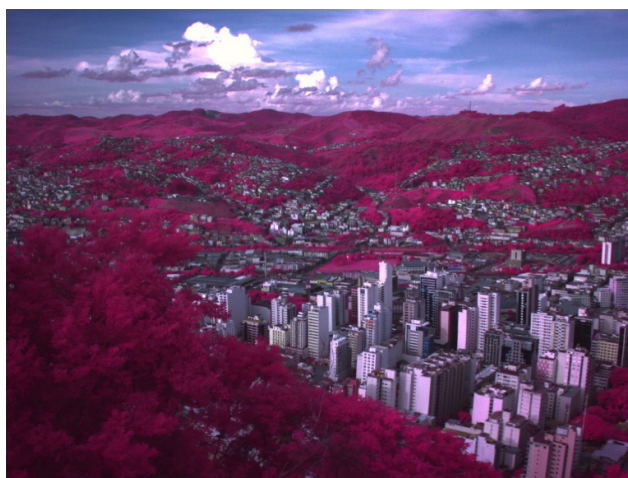


Figura 14 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral no Morro do Cristo.

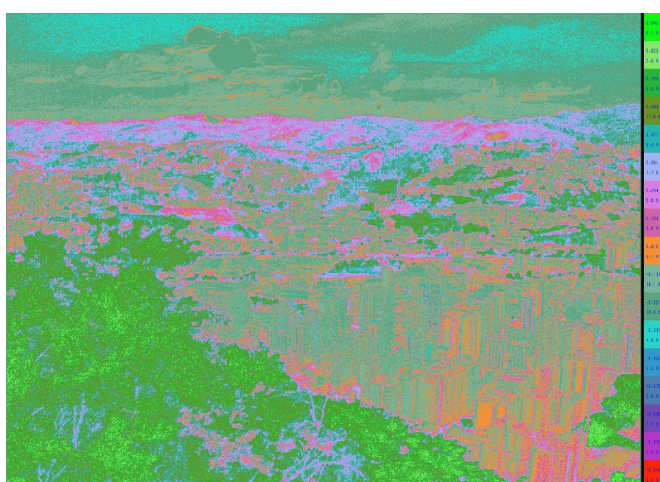


Figura 15 – Paleta de NDVI adquirida pela câmera multiespectral no Morro do Cristo.

Um outro cenário foi analisado no estacionamento localizado na lateral do laboratório em um dia de chuva com acúmulo de poças de água no asfalto. As figuras 16 e 17 mostram a imagem em falsa cor e o perfil de NDVI levantada pela câmera multiespectral do VANT.

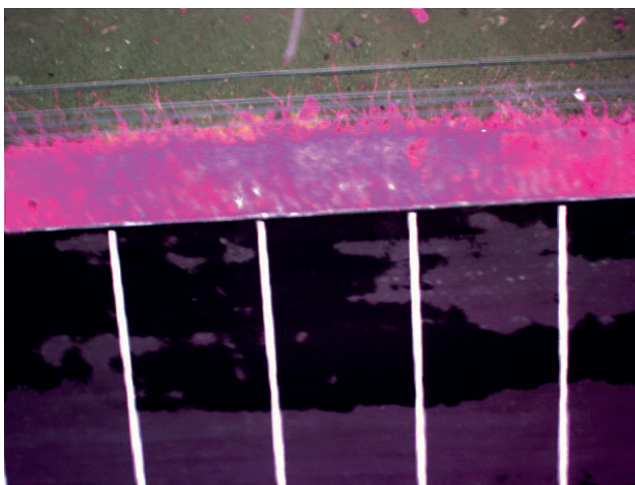


Figura 16 – Imagem em falsa cor adquirida pela câmera multiespectral no estacionamento em anexo ao LITel.

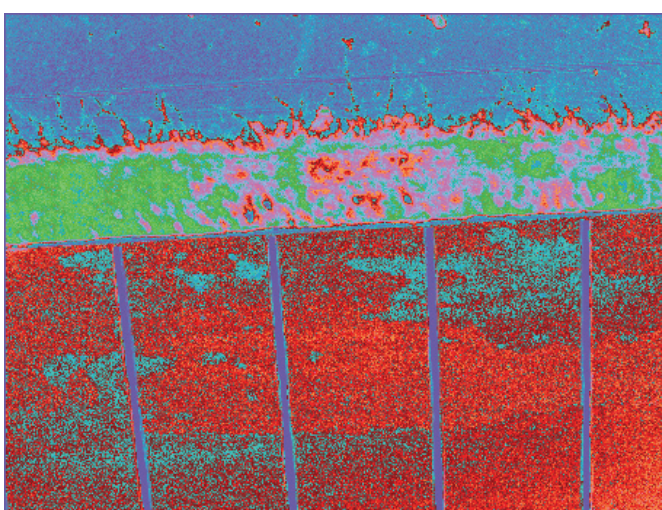


Figura 17 – Paleta de NDVI adquirida pela câmera multiespectral no estacionamento em anexo ao LITel.

Pode ser observado que as poças da água identificadas na figura 16 foram detectadas na figura 17, bem como a área desmatada acima da mata com pontos expostos também na área de vegetação. Pode ser observado que o asfalto seco possui mesma assinatura que a área descampada.

8 | CONCLUSÕES

Este trabalho demonstrou os procedimentos de design para a construção no LITel de um VAANT, veículo aéreo autônomo não-tripulado com procedimentos de voo, decolagem e aterrissagem totalmente autônomos, com o objetivo de embarcar uma câmera multiespectral georreferenciada para o levantamento do índice NDVI em uma determinada área.

Foi utilizado um módulo de estimação da posição pela correlação de dados do GPS junto com o algoritmo Optical Flow processado no módulo PX4FLOW, módulo este otimizado para operar com a PIXHAWK, que é a placa de controle de voo adotada

na montagem do protótipo. A melhora da estimativa de posição desta solução foi verificada em teste sendo em torno de 56% melhor em relação ao posicionamento apenas com o módulo de GPS habilitado.

A câmera multiespectral embarcada mostrou-se uma solução adequada por ser leve e de baixo consumo, levantando imagens georreferenciadas de alta precisão e conseguindo detectar o índice NDVI em alguns cenários testes de forma eficaz, além de detectar a presença de vegetação entre altas concentrações de edificações.

Em trabalhos futuros, este sistema VANT de inspeção será usado para o acompanhamento periódico de áreas de vegetação, importante em ações de preservação ambiental.

9 | AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer o apoio da UFJF, Fapemig, DUKE Energy - International Geração Paranapanema e Aneel.

REFERÊNCIAS

- BLEM, E. **Power struggles: Revisiting the RISC vs. CISC debate on contemporary ARM and x86 architectures**, IEEE 19th International Symposium on High Performance Computer Architecture, 2013.
- CORKE, P. **Robotics, Vision and Control – Fundamental Algorithms in MATLAB**. Capítulo 15, pp. 461, Springer, 2011.
- GAGEIK, N.; STROHMEIER, M.; MONTENEGRO, S. **An Autonomous UAV with an Optical Flow Sensor for Positioning and Navigation**, International Journal of Advanced Robotics, vol. 10, 2013.
- RABATEL, G.; GORRETA, N.; LABBÉ, S. **Getting NDVI Spectral Bands from a Single Standard RGB Digital Camera: A Methodological Approach**. Conference of the Spanish Association for Artificial Intelligence, CAEPIA 2011, vol. 7023, pp. 333-342, 2011.
- MANUAL DO QGROUND CONTROL**. Disponível em < http://qgroundcontrol.org/mavlink/waypoint_protocol > Acesso em maio de 2016.
- NOVAS, M. F. B.; CRUZ, P. P. N.; SILVA, R.; DI PACE, F. T. **Análise da Variação dos Índices de Vegetação Estimados por Sensoriamento Remoto em Dois Períodos ao Sul da Bacia do Rio Traipu-AL**. II Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologia da Geoinformação, Recife, 2008
- PARAGIOS, N.; CHEN, Y.; FAUGERAS, O. **Mathematical Models in Computer Vision**. Capítulo 15, pp. 239-258, Springer, 2005.
- ROUSE, J. W.; HASS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, vol. 1, pp. 309-317, 1973.
- SULTANA, S. R.; ALI, A.; AHMAD, A.; MUBEEN, M.; ZIA-UL-HAQ, M.; AHMAD, S.; ERCISLI, S.; JAAFAR, H. Z. E. **Normalized Difference Vegetation Index as a Tool for Wheat Yield Estimation: A Case Study from Faisalabad, Pakistan**. The Scientific World Journal, 2014.
- TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Remote Sensing of Environment, vol. 8, pp. 127-150, 1979.
- ZING, S.; SCARAMUZZA, D.; WEISS, S.; SIEGWART, R. **MAV Navigation through Indoor Corridors Using Optical Flow**, IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2010.

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

Glauber Carvalho Costa

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Recife – Pernambuco

Igor de Carvalho Almeida

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Rafael Claudino da Silva

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Rafael Bazilio Viana

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

RESUMO: A utilização de veículos aéreos não tripulado (VANT) para trabalhos de mapeamento, cresce anualmente no mercado de levantamento topográfico, sobretudo impulsionado pela oferta de novos equipamentos de custo mais acessível e de fácil manuseio operacional, entretanto ainda existe uma carência de trabalhos que comprovem definitivamente sua eficácia e confiabilidade quanto a precisão dos resultados alcançados, como também estudos que possam contribuir na melhora do seu desempenho posicional e altimétrico. Uma alternativa para otimizar o desempenho planialtimétrico dos resultados do levantamento topográfico utilizando VANT,

sobretudo em áreas onde é escasso ou inexistem pontos fotointerpretáveis como apoio a pontos de checagem a amarração, seria a implantação de marcos pré-sinalizados com coordenadas coletadas a partir de receptores GNSS geodésico e nível eletrônico. Os marcos implantados servem para apoiar as etapas de aerotriangulação e orientação das imagens durante as etapas de processamento, como também como pontos de checagem para verificação da escala cartográfica alcançada. Para esse estudo foram implantados e pré-sinalizados 14 marcos numa área que abrange uma interconexão rodoviária, no entroncamento entre as rodovias estaduais PB-044 e PB-008, com área total de aproximadamente 16,30 ha. Por fim, o presente artigo tem como objetivo mostrar as etapas destinadas a definição do tipo, cor, dimensão e distribuição espacial de marcos de apoio pré-sinalizados, numa área a ser levantada por aerofotogrametria empregando VANT munido de câmera de pequeno formato, sendo a área destinada a estudos de projetos viários.

PALAVRAS-CHAVE: Aerofotogrametria, Pré-sinalização, VANT.

ABSTRACT: The use of unmanned aerial vehicles (UAV) for mapping purposes increases annually in the survey market, mainly driven by the supply of new and more affordable equipment

and easy operational handling, but there is still a lack of studies that definitively prove its effectiveness and reliability in terms of the accuracy of the results achieved, as well as studies to contribute to the improvement of their positional and altimetry performance. An alternative to optimize the performance of planialtimetric results of topographic surveys that use UAV, especially in areas where photoidentifiable points are either scarce or nonexistent to support checkpoints and ground control points, would be the implementation of photogrammetric ground control targets with coordinates collected through GNSS geodetic receivers and electronic levels. The installed landmarks aim to support the triangulation step and the orientation of the images during the processing steps, as well as serve as check points in order to verify the cartographic scale achieved. In this study, 14 landmarks were installed and pre-marked in an area that covers a road connection at the junction of state highways PB-044 and PB-008, with a total area of approximately 16.30 hectares. Finally, this article aims to show the steps that lead to the definition of the type, color, size and spatial distribution of photogrammetric ground control targets in an area of interest for roadway design project purposes and surveyed by aerial photogrammetry using UAV fitted with small-format camera.

KEYWORDS: Aerophotogrammetry, Pre-signalization, UAV.

1 | INTRODUÇÃO

O emprego de alvos pré-sinalizados é uma prática utilizada em levantamentos aerofotogramétricos desde a era analógica, sendo inclusive recomendada atualmente por normas e instruções internacionais, para a fiscalização e execução de projetos viários a partir de levantamentos aerofotogramétricos convencionais e utilizando equipamentos digitais (US Army, 2002; NJDOT, 1998; CDOT,2015).

A prática de se utilizar marcos de apoio para otimizar a precisão dos levantamentos aerofotogramétricos, pode ser recomendado sobretudo nos levantamentos realizados com VANT, recomenda-se uso de marcos pré-sinalizados principalmente em áreas de levantamento (Tedesco et al, 2014; Ilescheck et al, 2016) em que os pontos fotoidentificáveis passíveis de ser utilizados como marcos de controle e apoio, são insuficientes ou até inexistentes. O uso dos marcos pré-sinalizados deverá ser bem planejado, pois sua implantação é feita antes do vôo, e se realizada de forma inadequada, os marcos não poderão ser posteriormente fotoidentificados nas aeroimagens, perdendo assim sua utilidade, gerando ônus ao levantamento e prejudicando assim a qualidade do produto final, mas se corretamente executado em campo, proporcionam medições mais precisas das coordenadas dos pontos de apoio, e com isso aumentando a eficácia da fototriangulação e precisão do produto final (Costa e Silva, 2008; e Costa et al 2011).

Portanto, o presente artigo tem como objetivo mostrar as etapas destinadas a definição do tipo, cor, dimensão e distribuição espacial de marcos de apoio pré-sinalizados, numa área a ser levantada por aerofotogrametria empregando VANT,

munido de câmera de pequeno formato, sendo a área destinada a estudos de projetos viários.

2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

Como etapa inicial aos estudos, foi estabelecida primeiramente a localização, escala cartográfica pretendida e parâmetros do voo, sendo posteriormente dimensionadas e especificadas a pré-sinalização dos marcos de apoio ao aerolevanteamento.

2.1 Localização da Área do Aerolevanteamento

À área do aerolevanteamento localiza-se no litoral do estado da Paraíba, a cerca de 3,0km da cidade de Pitimbu/PB, contemplando o entroncamento entre as rodovias estaduais PB-044 e PB-008, com área total aproximadamente 16,30 ha (Figura 1).

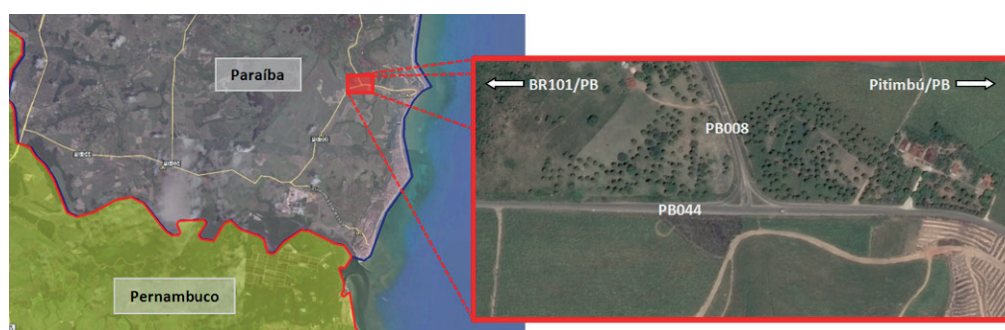


Figura 1 – Localização da área do aerolevanteamento.

2.2 Definição da Escala Cartográfica e Parâmetros do Voo

Com base no alcance e autonomia do VANT (quadrirotor DJI Phantom Vision 2), como também das especificações da câmera a ser empregada na aquisição das aeroimagens, foi estabelecido os parâmetros do voo, pois a escala cartográfica pretendida já era conhecida, já que o levantamento se destinava a estudos de projetos viários, e as escalas adotadas nesses levantamentos são 1/500, 1/1.000 e 1/2.000 para projetos executivos e 1/5.000 para projetos básicos rodoviários.

Com os dados de calibração da câmera, informações do alcance e autonomia de voo do VANT, foi estabelecida altura de voo e conseqüentemente a escala cartográfica a ser obtida, através do cálculo GSD (*Ground Sample Distance*). A resolução espacial GSD, corresponde ao tamanho do pixel no terreno, podendo ser calculado por:

$$\frac{f}{h_v} = \frac{d}{GSD}$$

Sendo,

h_v = Altura de Voo, f = Distância Focal da Câmera e d = Dimensões Físicas do Pixel no Sensor CCD.

Como resultado final do planejamento do voo, obtivemos o indicado na tabela

1 abaixo, sendo estabelecida a altura média de vôo de 110m, com superposição longitudinal 70% e transversal 40%, resolução espacial média resultante de 5 cm, área recoberta por uma imagem no terreno de 147m x 196m, intervalo de tomadas das imagens de 5 segundos e velocidade de cruzeiro 2,00m/s.

Dados da Câmera		Parâmetros	
Distancia focal (f)		3,210 mm	2463 pixels
Formato da imagem	Lado maior: LG	5,714 mm	4384 pixels
	Lado menor: LP	4,286 mm	3288 pixels
Altura de Voo		110,00 m	-
Tamanho do pixel no terreno (GSD)		5 cm	-
Escala Cartográfica		1/500	-

Tabela 1 – Resumo dos parâmetros para a definição da Escala Cartográfica.

2.3 Definição das Dimensões e Tipo da Pré-Sinalização dos Marcos de Apoio

A definição do material, localização, cor, dimensões e dos marcos de pré-sinalizados deverá considerar aspectos operacionais de campo, custo de materiais e possibilitar a sua fotoidentificação nas aeroimagens coletadas com o VANT.

As dimensões das marcas dependem da escala cartográfica e sua equivalente de vôo da cobertura fotográfica que será realizada sendo o critério de partida para determinar a dimensão do alvo pré-sinalizado. Considerando "d" igual ao diâmetro do círculo central (ao lado do quadrado ou ao lado do triângulo respectivamente) como o único parâmetro variável em função do qual se constrói toda a marca, dever-se-á tomar "d" igual a um múltiplo ímpar da dimensão do pixel no terreno (normalmente de 3 a 5 vezes) (Figura 2a). A figura 2b indica dimensões restantes da marca de centro circular, que se podem adaptar às de centro quadrado ou triangular.

Não só a resolução da imagem, como também o contraste local, a luminosidade e as próprias condições atmosféricas na altura em que é realizado o vôo são fortemente determinantes para a boa visualização dos alvos pré-sinalizados na fotografia aérea e conseqüentemente para a precisão da sua medição.

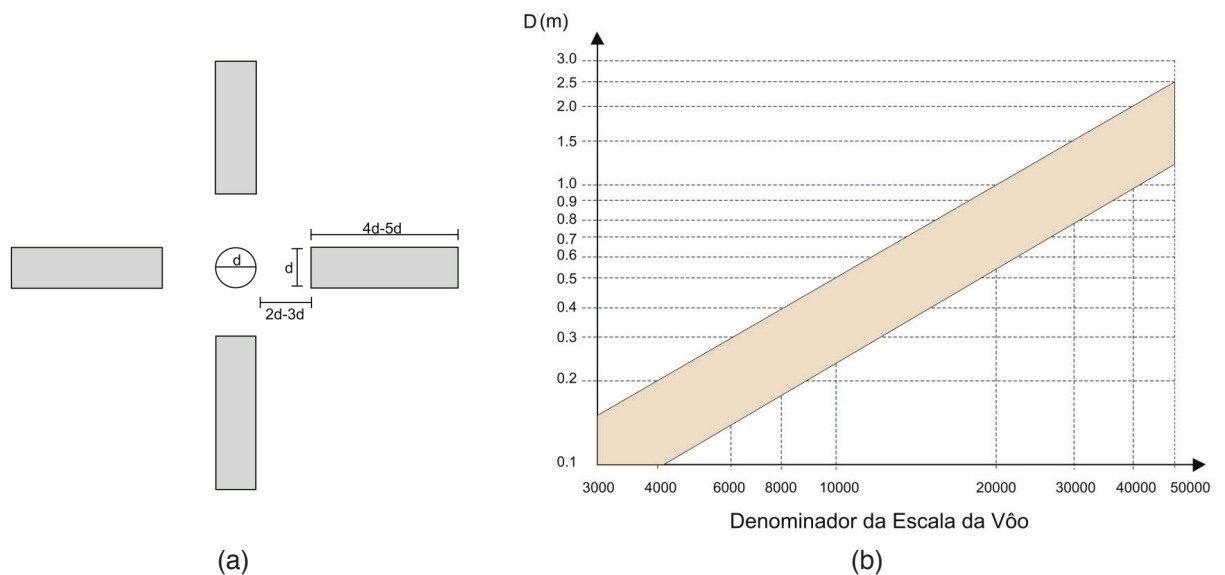


Figura 2 –Dimensões da pré-sinalização dos alvos (a) e gráfico da dimensão “d” em função das escalas de vôo (b), (adaptado de Redweik, 2007).

Tomando como referência as informações citadas acima foi estabelecida as dimensões para os marcos pré-sinalizados, conforme indicado na tabela 1 abaixo. Foram calculadas para as sinalizações do tipo cruz do tipo 3 e 4 (figuras 3c e 3d), as dimensões adotadas para a larguras de faixa foram $d_{T_3}=0,150$ m e $d_{T_4}=0,100$ m, e comprimentos de $L_{T_3}=0,80$ m e $L_{T_3}=0,90$ cm, já para a as demais sinalizações estudadas dos tipo 1 e 2 (figuras 3a e 3b), as dimensões adotadas para o diâmetro do círculo e largura, são respectivamente $d_{T_1}=0,25$ m e $D_{T_2}=0,500$ m e comprimentos de $L_{T_1}=0,50$ m e $L_{T_2}=0,50$ m, essas medidas estão embasadas na resolução do pixel (distância amostral do terreno), conforme mostra a linha 5 da Tabela 1, que está associada a escala cartográfica de 1/500, e conseqüente a escala de vôo associada foi de 1/3.000 a 1/4.000, sendo a região de influência considera a indicada pela cor vermelha no gráfico da figura 2b acima.

Antes da definição final do tipo de sinalização a ser adotada, foram realizados teste de vôo com o VANT em campo, utilizando os quatro tipos de sinalização, com formato, tamanho, tipos de cores, conforme mostrado na figura 3.



Pré-sinalização Tipo 1 – (a)



Pré-sinalização Tipo 2– (b)



Pré-sinalização Tipo 3– (c)



Pré-sinalização Tipo 4– (d)



Painel geral – (e)

Figura 3 – Detalhes das pré-sinalizações Tipos 1, 2, 3 e 4.

Foram realizados testes preliminares de vôo com altura de 110 m no campus da UFRPE, compatível com o planejamento de vôo previamente estabelecido e correspondente à estaca cartográfica final desejada sobre os marcos de calibração, sendo verificada as pré-sinalização tipos 1, 2, 3 e 4.

Com os testes de vôo realizados, foi eleita a pré-sinalização que obteve melhor resultado segundo os critérios elencados abaixo:

- Facilidade de transporte e implantação em superfícies planas/ondulada.
- Acuidade visual na imagem aérea.
- Custo de implantação (materiais e ferramentas).
- Tempo de implantação.
- Dificuldade na confecção da pré-sinalização em tecido.

Pode-se verificar um dos resultados do teste, na figura 4 indicada abaixo, onde foram eleitas as pré-sinalizações tipos 1 e 4, sendo a do tipo 1 em pintura na cor branca e preta (contrastando com superfícies pavimentadas com asfalto) e a do tipo 4 em tecido na cor branca (contrastando com superfícies em cobertura de vegetação e solo). A cor branca foi escolhida por apresentar maior contraste aos tipos de coberturas presentes na área do levantamento (vegetação de cana-de-açúcar, pavimento asfáltico e leito natural de vias vicinais), sendo essa cor a que apresentou mais contraste a cobertura

presente.

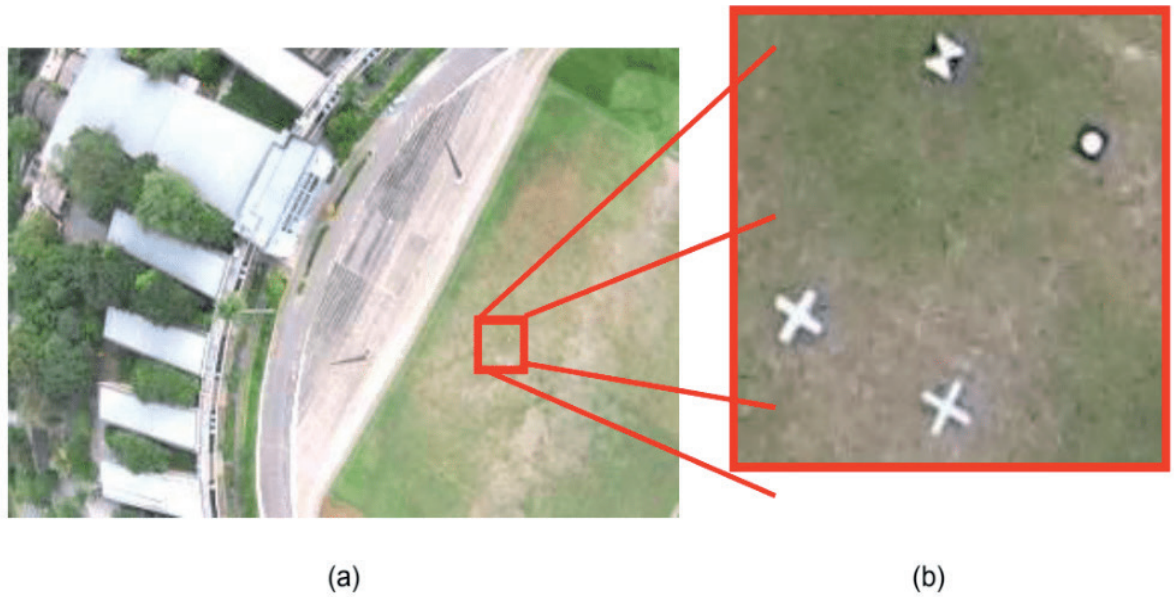


Figura 4 – Visualização do resultado do vôo teste das pré-sinalizações.

2.4 Implantação dos Marcos de Apoio

Com os parâmetros do vôo definidos, foi planejada a localização e quantidade dos marcos de apoio pré-sinalizados necessários, para isso foi utilizado o programa de desenho gráfico Microstation, juntamente com imagens orbitais pertencentes ao banco de dados do Google Earth (Figura 5). Os marcos pré-sinalizados foram posicionados primeiramente nas extremidades e nas áreas de sobreposição entre as faixas de vôo, e em pontos com ausência de pontos fotoidentificáveis, como também ao longo da rodovia existente (PB-004), sendo esse último implantado com densidade de pontos superior ao mínimo necessário, objetivando aumentar a precisão planialtimétrica do aerolevanteamento nesse local, pois era o principal local de estudo da área a ser levantada.

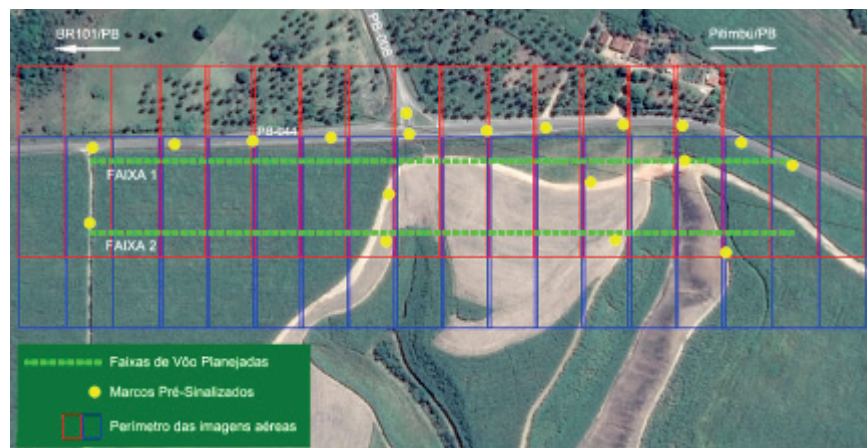


Figura 5 – Vista do programa Microstation com o planejamento das faixas de Vôo e posição dos marcos pré-sinalizados.

Após definição da localização, tipo e dimensão dos pontos de apoio a serem implantados e pré-sinalizados em campo, foram iniciados os trabalhos de campo que precedem o aerolevanteamento. Para essa tarefa foi utilizado receptor GNSS geodésico Zênite 2 (figura 6a) para obtenção das coordenadas geodésicas dos marcos e nível com mira falante (figura 6b) para a determinação das altitudes ortométricas, totalizando 14 marcos de apoio, sendo todos os marcos implantados e pré-sinalizados antes do sobrevoo da área a ser levantada.

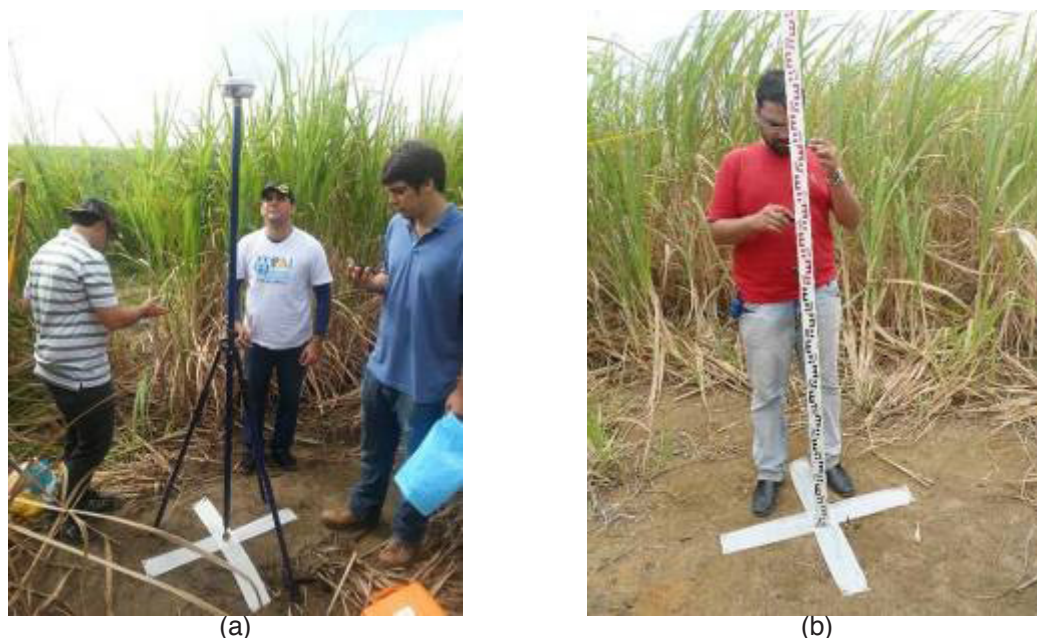


Figura 6 – Implantação dos marcos de apoio do aerolevanteamento com VANT.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado da implantação e levantamento dos marcos de apoio pré-sinalizados foram implantados 14 marcos pré-sinalizados, conforme posição e distribuição espacial na área levantada, e mostrada na figura 7 indicada abaixo.



Figura 7 - Localização dos marcos pré-sinalizados utilizados como marcos de apoio (GCP) e marcos de controle (Check Point).

Como observado na figura 8, a visualização dos marcos pré-sinalizados tipo 1, implantados ao longo da PB-044 no asfalto (figura 8a) (pintura - implantado no asfalto) e Tipo 4 (b) (tecido – implantado no solo) nas figuras 8a e 8b ficou bem nítida,

comprovando, portanto, que as imagens obtidas pelo veículo aéreo não tripulado (VANT) utilizando o procedimento de cálculo descrito anteriormente foi adequado.

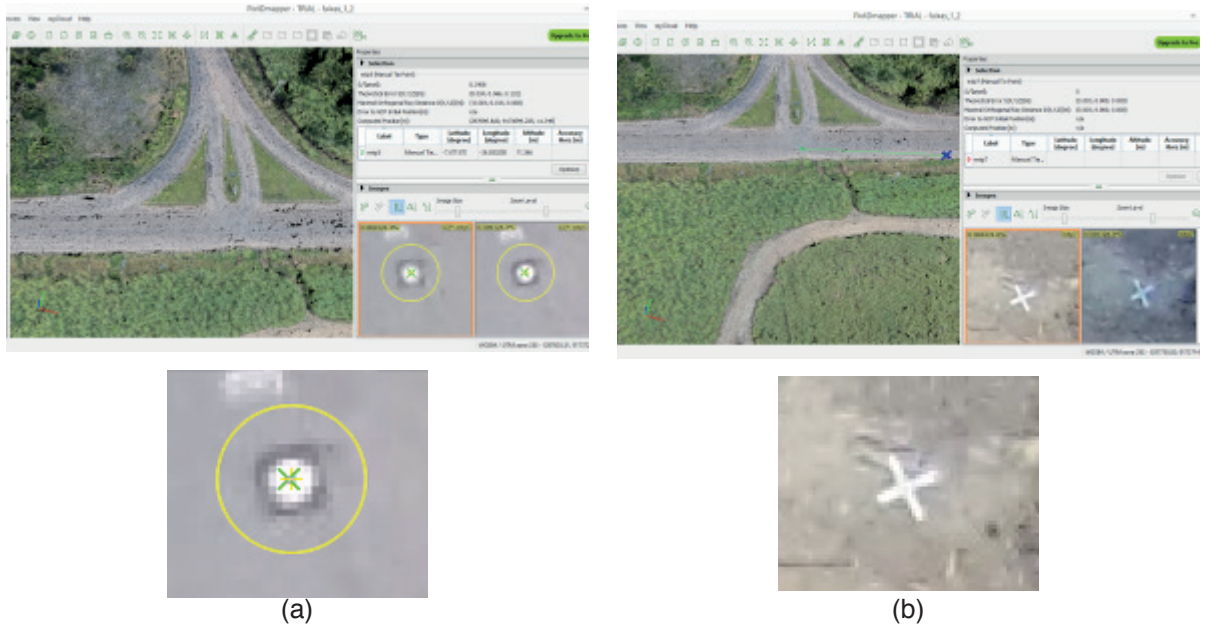


Figura 8 – Visualização das imagens aérea no software PIX4D, identificando no detalhe os alvos pré-sinalizados do Tipo 1 (a) e Tipo 4 (b).

É importante destacar que a área do levantamento no presente artigo é constituída predominantemente de vegetação densa, que neste caso era de monocultura de cana-de-açúcar, dificultando assim a obtenção de pontos nítidos, apresentando baixo contraste para a fotoidentificação dos pontos de controle, porém como apresentado nas figuras 8a (tipo 1) e 8b (tipo 4), os marcos pré-sinalizados estão perfeitamente visíveis.

Como observado em teste realizado com sinalização de cor diferenciada, a cor branca obteve melhor resultado quanto à visualização em superfície sem vegetação, ou seja, o marco ficou mais nítido e obteve melhor contraste em relação a sinalização na cor amarela (figura 9).



Figura 9 – Detalhe da sinalização com tecido implantados de cor Branca e Amarela.

4 | CONCLUSÕES

A adoção de alvos pré-sinalizados envolve custos adicionais no planejamento, implantação e medições em campo, entretanto proporciona uma melhora na qualidade posicional dos levantamentos aerofotogramétricos, pois quanto maior a quantidade de pontos de apoio, melhor os resultados da aerotriangulação, logo a adoção de marcos pré-sinalizados, principalmente em áreas onde os pontos fotoidentificáveis são escassos e ou inexistente, passa a ser uma alternativa na melhoria da qualidade dos levantamentos realizados com VANT, e como observado no presente estudo, o planejamento proposto para escolha da forma, dimensões e cor dos alvos, obteve êxito, já que todos os alvos pré-sinalizados foram fotoidentificados com clareza em todas as aeroimagens durante o processamento fotogramétrico, podendo dessa forma propiciar otimização nos resultados da aerotriangulação.

REFERÊNCIAS

- CDOT. Departamento of Transportation the State of Colorado. **Survey Manual Chapter 4 Aerial Surveys**. Estados Unidos, 2015. Disponível em: <<https://www.codot.gov/business/manuals/survey/chapter-4/chapter4.pdf>> Acesso em: 6 out. de 2016.
- Costa, G. C.; SILVA, D. C. **Pré-sinalização de pontos de apoio em aerofotogrametria com câmara de pequeno formato**. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Anais eletrônicos. Recife - PE, 2012. Disponível em: <<https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/>>. Acesso em: 3 out. 2016.
- Costa, G. C., SILVA, D. C., Silva, M. S. **Discussão sobre o emprego da pré-sinalização de marcos planialtimétricos em mapeamento aerofotogramétrico**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais eletrônicos. Curitiba-PR, 2011. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1506.pdf>>. Acesso em: 3 out. 2016.
- NJDOT. Department of Transportation the State the New Jersey. **Minimum Guidelines for Aerial Photogrammetric Mapping**. Estados Unidos: 1998. Disponível em: <<http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/photogrammetry/pdf/Photogrammetric.pdf>> Acesso em: 6 out. de 2016.
- Tedesco, A. N. S.; Acco, I. R. B.; Souza, J. C. **Estudo da geometria de imagens obtidas por VANT em faixa de duto, a partir de pontos de apoio GPS**. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, XXV Expositocarta. Anais eletrônicos. Gramado-RS, 2014. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/4/528/CT04-84_18351425.pdf> Acesso em: 4 out. 2016.
- U.S ARMY. U.S. Army Corps of Engineers. **Photogrammetric Mapping – EM 1110-1-1000 – Engineer Manual (Series Engineering and Design)**. Estados Unidos, 2002. Disponível em: <<http://corpslakes.usace.army.mil/employees/policy/EM/EM-1110-1-1000.pdf>> Acesso em: 6 out. de 2016.

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

Glauber Carvalho Costa

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Recife – Pernambuco

Igor de Carvalho Almeida

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Rafael Claudino da Silva

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

Rubens José Souza Galvão

Universidade Católica de Pernambuco – UNICAP

Recife – Pernambuco

Rafael Bazilio Viana

Maia Melo Engenharia

Recife – Pernambuco

RESUMO: Devido aos avanços tecnológicos ocorridos na área de aquisição de dados topográficos e consequente redução nos custos de aquisição de dados obtidos por meio de sensores remotos orbitais, tem crescido a aplicação desses produtos nas mais diversificadas áreas da engenharia, sobretudo em projetos de infraestrutura rodoviária e ferroviária. Diferentemente de alguns países, onde existe uma programação contínua de atualização cartográfica e de aquisição de MDS e MDT, objetivando apoiar projetos de

infraestruturas, o Brasil não possui iniciativas governamentais capazes de atender as demandas do mercado por dados cartográficos de média e pequena escala. O presente trabalho tem como objetivo realizar uma comparação estatística dos dados altimétricos, realizar uma comparação de volumes de terraplenagem e análise da morfologia de modelos digitais de terreno/elevação de métodos de aquisição de dados distintos, numa mesma área de estudo e projeto geométrico teste de uma ferrovia, sendo os dados altimétricos oriundos da topografia convencional, Perfilamento a Laser Aéreo e sensoriamento remoto (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 e WorldDEM). Para isso foi feito um estudo com um segmento de traçado ferroviário previamente estudado com extensão de 5,2km, sendo concebido um traçado horizontal e um greide projeto, com base nas diretrizes de projeto preconizadas pelas normas da DNIT, como também foi realizada uma análise do enquadramento dos dados de terreno estudados, quanto as normas do Padrão de Exatidão Cartográfica” (PEC).

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto, MDT, MDE, WorldDEM.

ABSTRACT: Due to the technological advancements in the area of topographic data acquisition and the consequent reduction of costs in the acquisition of data through orbital

remote sensing, the application of these products has been increasing in the most diverse areas of engineering, especially in roadway and railway infrastructure projects. Unlike other countries, where continuous programs of cartographical updates and DSM and DTM acquisition take place aiming to support infrastructure projects, Brazil does not have any governmental initiatives in order to comply with market demands for medium and small scale topographical data. The present research aims to establish a statistical comparison of altimetric data, as well as compare the earthmoving volumes and analyze the morphology of digital terrain models obtained through different data acquisition methods in a specific area of study and geometric project of a prototype railway. The altimetric data were collected through conventional topography, laser scanning and remote sensing (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 e WorldDEM). Thus, a study was done on a 5.1km railway segment leading to the conception of both a horizontal and a vertical alignment, based on the design guidelines recommended by the standards of DNIT, as well as the terrain data framework analysis accordingly to the standards of cartographic accuracy.

KEYWORDS: remote sensing, laser scanning, digital terrain models.

1 | INTRODUÇÃO

A demanda por modelos digitais de superfície (MDS) ou Terreno (MDT) tem aumentado significativamente devido aos avanços tecnológicos ocorridos na área de aquisição de dados topográficos, e pela crescente redução nos custos destes produtos, especialmente os obtidos por meio de sensores remotos orbitais. Esses dados do relevo e planimetria do terreno são usados em aplicações diversas nas áreas da engenharia, sobretudo em projetos de infraestrutura rodoviária e ferroviária, mas diferentemente de alguns países, onde existe uma programação contínua de atualização cartográfica e de aquisição de dados MDS e MDT, objetivando apoiar, sobretudo projetos de infraestruturas, o Brasil não possui iniciativas governamentais capazes de atender as demandas do mercado por dados cartográficos de média e pequena escala.

Atualmente, os dados planialtimétricos obtidos com a topografia convencional ainda alcançam melhor desempenho quanto a precisão dos resultados, quando comparado com a topografia realizada por meio de sensores remotos orbitais ou aerotransportados, mas é viável a aplicação desses dados em determinadas fases de projetos (Costa e Silva, 2008) Mas é pela falta de estudos mais aprofundados sobre os produtos gerados pelos novos sensores orbitais disponibilizados no mercado, que os profissionais de engenharia rodoviária ou ferroviária, em muitos casos, não optam por utilizá-los, escolhendo as técnicas consagradas, como a Laser Scanner Aerotransportado ou a topografia convencional.

Entretanto sabe-se que a aplicação das técnicas de levantamento topográfico convencional na fase de estudos preliminares ou de projeto básico, por tratar-se de

estudos que necessitam de um nível de precisão inferior e uma área abrangência de levantamento mais elevada em relação a adotada na fase de projeto executivo final passa a ser mais dispendiosa. Isso ocorre devido a necessidade de equipes numerosas para atender os prazos elevando o custo da execução quando comparada as técnicas de sensoriamento remoto, pois esta pode ser aplicada nas etapas do projeto em que a precisão exigida não corresponda a de projeto executivo final, por exemplo em Estudos de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental (EVTEA) ou projetos básicos de engenharia rodoviária ou ferroviária.

Portanto o objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento altimétrico dos produtos gerados com Laser Scanner Aerotransportado, sensoriamento remoto (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM V2 e WorldDEM) disponíveis no mercado, frente a um MDT gerado a partir de dados topográficos de campo realizados com nível eletrônico, estação total e Sistema de posicionamento por satélite.

Topografia convencional: Para realizar a topografia convencional, foi adotado o Sistema Global de Posicionamento por Satélite (GNSS), para realizar o georrefenciamento do levantamento e permitir a implantação da poligonal fechada em bases diferentes adotada como apoio para o levantamento planialtimétrico. Após implantação da poligonal de apoio, foram realizadas as medições altimétricas dos marcos por meio de estação total.

Perfilamento a Laser: O sistema de varredura laser (laser scanning) aerotransportado é um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte do sinal emitido é refletida na direção do sensor. O sensor mede tanto a intensidade do sinal de retorno, como também o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno, que é usado para calcular a distância sensor-objeto, considerando que o pulso laser se propaga à velocidade da luz. No presente estudo foi utilizado um levantamento realizado com laser scanner aerotransportado densidade de 5 pontos tridimensionais para cada metro quadrado no terreno (5 pts /m²).

SRTM: A missão Topográfica Radar Shuttle ou em inglês SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), consistiu num sistema de radar que voou a bordo do ônibus espacial Endeavour durante os 11 dias da missão STS-99, foi um projeto conjunto entre a National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) e a National Aeronautics and Space Administration (NASA) ocorrido em fevereiro de 2000, levantando uma malha tridimensional de pontos com gride de 90 m por 90 m (3 arco-segundos) para o Brasil. Teve como objetivo, obter modelos digitais de elevação em uma escala quase que global da Terra, produzindo dados topográficos digitais de 80% da superfície terrestre, disponibilizados para a aquisição gratuita a partir de 2001.

TOPODATA: O projeto Topodata do Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais (INPE) disponibiliza gratuitamente o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas de todo o território nacional, lançado pela primeira vez, em

agosto de 2008 e com revisão de novembro de 2011, os dados disponibilizados foram elaborados a partir dos dados SRTM da USGS (INPE, 2016). A malha tridimensional de pontos disponibilizada tem gride de 30m x 30m, resultante do refinamento dos dados SRTM, por meio do preenchimento de falhas, melhorando assim a resolução original 3 arco-segundos (90m) para 1 arco-segundo (30m), processados por interpolação com algoritmo de krigagem.

ASTER GDEM V2: O Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) é um programa realizado em conjunto entre a National Aeronautics and Space Administration (NASA) e o ministério japonês da economia, indústria e comércio. A primeira versão do ASTER GDEM foi lançada em junho de 2009, e a segunda em outubro de 2011. O ASTER GDEM tem malha tridimensional de pontos disponibilizada com gride de 30m x 30m. Os dados ASTER GDEM são obtidos através de imagens estereográficas e não por radar como o SRTM DEM.

WORLDDDEM: Os dados de malha tridimensional de pontos com gride de 12m por 12m, obtidos pelos radares orbitais TanDEM-X e TerraSAR-X, colocados em órbita pela Agência Espacial Alemã (DLR), e comercializada pela AIRBUS Defence e Space, os dados de elevação do terreno foram gerados por meio de interferogramas, sendo também denominados de Modelos de Terreno.

2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

A região de estudo está situada ao sul da cidade de São José do Rio Preto no Estado de São Paulo, localizada no enquadramento geográfico de Latitude ($20^{\circ}54'34''S$ a $20^{\circ}56'00''S$) e Longitude ($49^{\circ}23'55''O$ a $49^{\circ}20'00''O$), a área teste estudada, abrange um segmento do projeto ferroviário para o novo traçado da linha férrea existente que corta os municípios de Mirassol, São José do Rio Preto e Cedral, localizadas no estado de São Paulo, tendo esse segmento de estudo uma extensão de 5,10km.

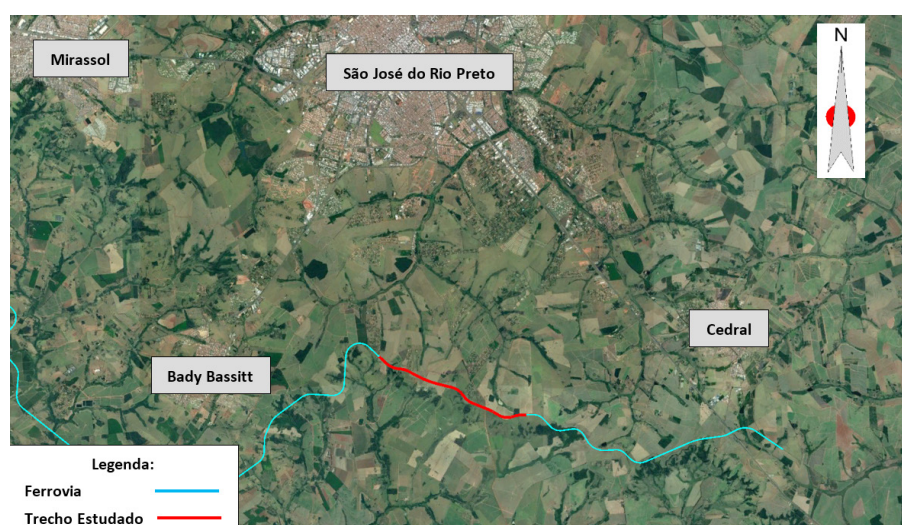


Figura 1 – Área de estudo enquadramento geográfico de Latitude ($20^{\circ}54'34''S$ a $20^{\circ}56'00''S$) e Longitude ($49^{\circ}23'55''O$ a $49^{\circ}20'00''O$).

Os dados utilizados foram obtidos a partir de projetos de distribuição gratuita na internet, e disponibilizados pelos seus desenvolvedores, como o dados da missão Topográfica Radar Shuttle ou em inglês SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) obtidos a partir do programa Brasil em Relevo da EMBRAPA (disponível em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>); dados da TOPODATA obtidos a partir do programa desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>); e dos programa Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM) ou simplesmente ASTER GDEM V2, obtidos a partir do programa de disponibilização gratuito desenvolvido pelo Japan-US ASTER Science Team (disponível em <http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>). Também foram usados dados resultantes do programa desenvolvido pela Agência Espacial Alemã (DLR), e comercializada pela AIRBUS Defence e Space, o WorldDEM e de perfilamento a laser aerotransportado, por fim a topográfica convencional realizada em campo, com emprego de sistema de posicionamento global do tipo GNSS, estação total e nível, adotando como método de levantamento a poligonação.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise Estatísticas dos Dados e Enquadramento na Escala Cartográfica

Para realizar uma adequada avaliação dos dados altimétricos, foi verificado seu enquadramento através de parâmetros estatísticos e de confiabilidades dos produtos cartográficos, segundo o Decreto nº 89.817, em seu capítulo II, seção 1, Art. 8º, cujo mesmo estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC utilizado como referência na avaliação dos produtos cartográficos no Brasil, sendo o PEC um indicador estatístico de dispersão relativo a 90% de probabilidade, que define a acurácia (exatidão) dos trabalhos cartográficos. É importante ressaltar que para o presente estudo, não foi realizada a proporção amostral simples como critério de avaliação, para avaliação da qualidade dos dados altimétricos estudados, visando, sobretudo sua classificação cartográfica quanto ao PEC. Foram utilizados dois métodos para avaliar o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) através da análise da proporção amostral simples, definido pelo Decreto 89.817 de 20 de julho de 1984. O primeiro método é a partir do cálculo do erro médio quadrático (EMQ) e o segundo a partir do cálculo da tolerância vertical, sendo calculada à porcentagem de pontos que satisfazem o PEC ($\geq 90\%$). O EMQ_z corresponde ao Erro-Padrão, e pode ser calculado a partir da Equação 1:

$$EMQ_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{IT} - Z_{IC})^2}{n}} \quad (1)$$

Sendo, n – número de pontos da amostra, Z_{iT} – Cota altimétrica obtida em campo, para o ponto i , Z_{iC} – Cota altimétrica do mesmo ponto nos dados dos terrenos estudados.

A equidistância das curvas de nível em cada escala foi definida conforme proposto pelo Decreto nº 89.817. A Tabela 1 apresenta estas equidistâncias, assim como, os valores de referência do PEC e EP para os produtos cartográficos classificados nas classes A, B e C.

PEC ⁽³⁾	PEC-PCD	1:1.000 (Eqd = 1 m)		1:2.000 (Eqd = 1 m)		1:5.000 (Eqd = 2 m)		1:10.000 (Eqd = 5 m)		1:25.000 (Eqd = 10m)		1:50.000 (Eqd = 20m)		1:100.000 (Eqd = 50m)	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,67	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,67	25,00	16,67
B	B	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00	30,00	20,00
C	C	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00	37,50	25,00

Tabela 1. Escalas e respectivas equidistâncias das curvas de nível, valores do PEC e EP.

Os resultados do EMQ_z dos dados altimétricos dos modelos digitais resultantes do levantamento com Perfilamento a Laser aéreo, SRTM, TOPODATA, Google Earth, ASTER GDEM V2 e WorldDEM 12m, comparados com topografia convencional realizada em campo, apresentou as variações indicadas na tabela 2 apresentada abaixo, e é resultado da análise de 970 pontos levantados em campo. Sabendo que para se enquadrar em cada classe e escala o EMQ deve ser menor que o erro padrão de cada escala/classe.

Já a tolerância vertical (%PEC) é calculada a partir da porcentagem de pontos que apresentem resíduo, isto é, diferença de altitude entre o ponto visitado e o ponto de controle, abaixo da tolerância vertical aceita para cada classe/escala; a porcentagem dos pontos dentro da tolerância vertical deve ser pelo menos de 90%.

Na Tabela 2 abaixo, os valores de discrepâncias calculados a partir dos dados do WorldDEM 12m e Perfilamento a Laser alcançaram resultados mais satisfatórios, escalas cartográficas de 1/10.000 e 1/2.000 Classe A respectivamente, enquanto os demais dados alcançaram resultados satisfatórios (escala cartográfica de 1/25.000 para Classe A) quando comparados com outros estudos (Garofalo e Liesenberg,2015).

	SRTM 90m (m)	GDEM 30m (m)	TOPODATA 30m (m)	Google Earth (m)	WorldDEM 12m (m)	Perfilamento a Laser (m)
PEC (Altimetria)	10,00	5,00	5,00	5,00	2,50	0,50
%PEC (Calculado)	93,8%	96,6%	95,8%	90,7%	96,7%	92,1%
EP (Altimetria)	6,670	3,330	3,330	3,330	1,670	0,330
EP = EMQz	4,934	2,157	2,176	2,780	0,955	0,306
Média	2,911	0,992	0,743	1,488	0,084	-0,061
Desvio Padrão	3,983	1,915	2,045	2,348	0,952	0,299
Escala Cartográfica	1/50.000	1/25.000	1/25.000	1/25.000	1/10.000	1/2.000

Tabela 2 - Dados do Erro Médio Quadrático das diferenças dos valores das cotas interpoladas dos terrenos estudados e das cotas da topografia convencional de campo.

3.1.2 Análise Estatística dos Dados Quanto a Acurácia

O gráfico apresentado abaixo (Gráfico 1), demonstra as divergências encontradas entre o valor considerado exato da altimetria do terreno (topografia convencional), representada pela linha preta horizontal de ordenada zero, e as discrepâncias altimétricas encontradas entre os dados altimétricos do WorldDEM 12m e do levantamento por Perfilamento a Laser aéreo.

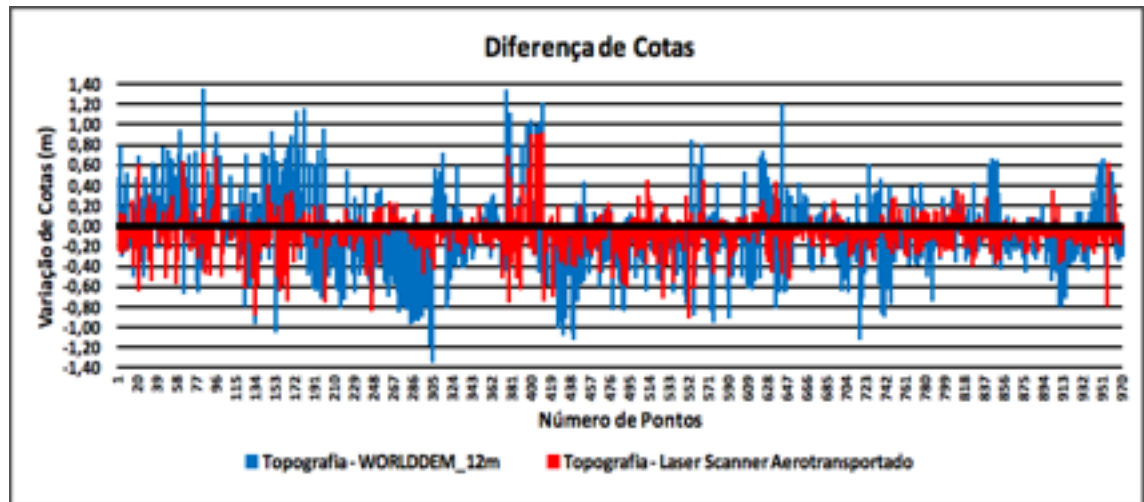


Gráfico 1 - Divergências da altimetria do terreno da topografia convencional e WorldDEM 12m e do levantamento por Perfilamento a Laser aéreo.

3.2 Processamento e Análise das Imagens Hipsométricas

Conforme observa-se nas amostras de imagens hipsométricas (Lat:20°54'45"S e Long:49°23'19"O; Lat: 20°54'54"S e Long: 49°23'01"O) da figura 3, correspondente a uma área de 188,5 ha, a superfície gerada que mais se aproxima da superfície de terreno levantada pela topografia convencional (Figura 3f) é a gerado pelo laser scanner aerotransportado (Figura 3e), devido a qualidade posicional e altimétrica verificadas anteriormente.

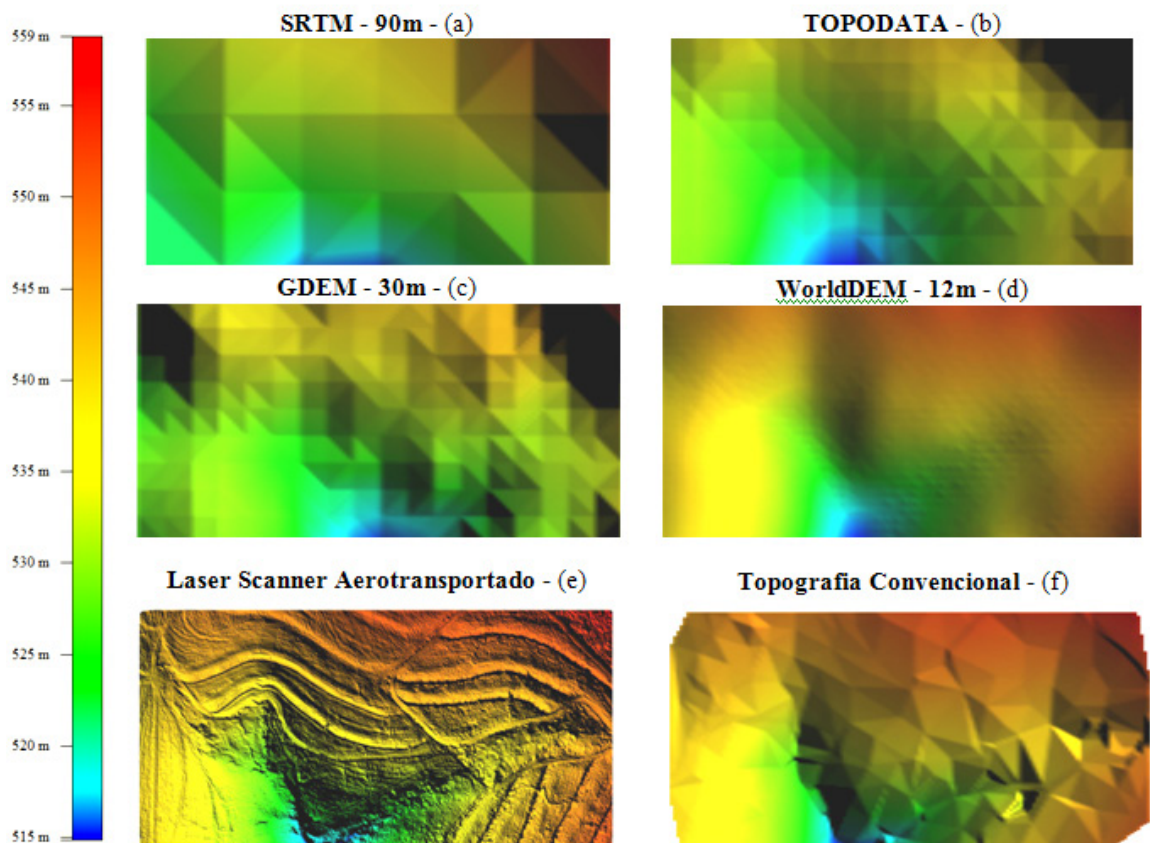


Figura 3 – Imagens hipsométricas de parte do levantamento estudado.

3.3 Processamento e Análise dos Volumes de Terraplenagem

Com base nas superfícies processadas, levantadas por topografia convencional, Laser Scanner Aerotransportado e sistemas remotos orbitais, foi projetado um eixo de projeto e um greide embasado nas especificações de projetos ferroviários, preconizados pelas normas do DNIT, com extensão de 5,10km, sendo o greide concebido de maneira que houvesse curvas verticais com corte e aterros. Os cálculos dos volumes da cubação foram obtidos segundo o volume dos prismóides resultantes das médias de duas áreas consecutivas de seções multiplicadas pela distância entre elas, ou seja, o produto da soma das áreas de duas seções consecutivas multiplicado pela semi-distância entre elas.

Conforme podemos observar na Tabela 3, os resultados dos volumes de Terraplenagem mostram que as diferenças entre o MDT da topografia convencional e os MDT's do WorldDEM 12m e Perfilamento a Laser, mostraram-se dos menos discrepantes, sendo essa diferença podendo ser influenciada pelos seguintes fatores: tanto o método de levantamento por perfilamento a laser Aéreo como o WorldDEM 12m, não são capazes de obter as informações tridimensionais do leito de cursos água, como também foi observado que a região levantada, apresenta vegetação com pequenos arbustos e árvores de médio porte, esses fatores exigem a intervenção humana no processamento juntamente com análises estatísticas para se obter um MDT mais compatível com o existente no campo.

Em relação aos volumes de corte a aterro, constatou-se que os volumes utilizando o MDT's do WorldDEM 12m e Perfilamento a Laser, apresentaram discrepâncias de Volumes de aterro que variaram entre 13,28% e 16,88%, sendo a diferença mais significativa relativa as comparações feitas entre os volumes de corte, que variaram entre -20,73% e 0,05%, quando comparados aos volumes processados do MDT gerados pela topografia convencional.

Dados	Volumes de terraplenagem		Diferenças percentuais entre os volumes de terraplanagem gerados a partir dos dados da Topografia Convencional e os demais métodos de levantamento remoto estudados	
	Aterro (m3)	Corte (m3)	Aterro (%)	Corte (%)
Topografia Convencional	18.054,00	23.891,10	-	-
SRTM_90m	33.612,80	116.184,30	86,18%	386,31%
ASTER GDEM V2 30m	14.959,40	84.869,80	-17,14%	255,24%
TOPODATA	24.247,00	66.476,90	34,30%	178,25%
Google Earth	8.780,20	80.776,60	-51,37%	238,10%
WorldDEM 12m	20.450,90	18.938,50	13,28%	-20,73%
Perfilamento a Laser	21.101,70	23.901,90	16,88%	0,05%

Tabela 3 – Comparativo de volumes de terraplenagem do MDT gerados pela topografia convencional e dos demais métodos estudados.

Quanto aos dados dos volumes processados pelo MDT topografia convencional quando comparados com os demais métodos, provenientes de sistema sensores orbitais, os mesmos apresentaram discrepâncias significativas, sobretudo pelo fato de serem modelos digitais de superfícies MDS e não MDT, carregando consigo informações incompatíveis ao MDT. Entretanto, pode-se destacar que esses podem ser adotados em estudos de bacias hidrográficas para fins de projeto de drenagem e de macrobacias, como também para estudos de traçado de vias, na fase de estudos preliminar, sobretudo em áreas onde não há cobertura de mapeamento atualizado ou quando este é inexistente.

3.3 Processamento e Análise dos Perfis Longitudinais

Através do eixo de um projeto ferroviária utilizado no presente estudo, também foi elaborado um gráfico comparativo entre os perfis longitudinais resultantes dos dados altimétricos dos modelos digitais estudados (figura 2).

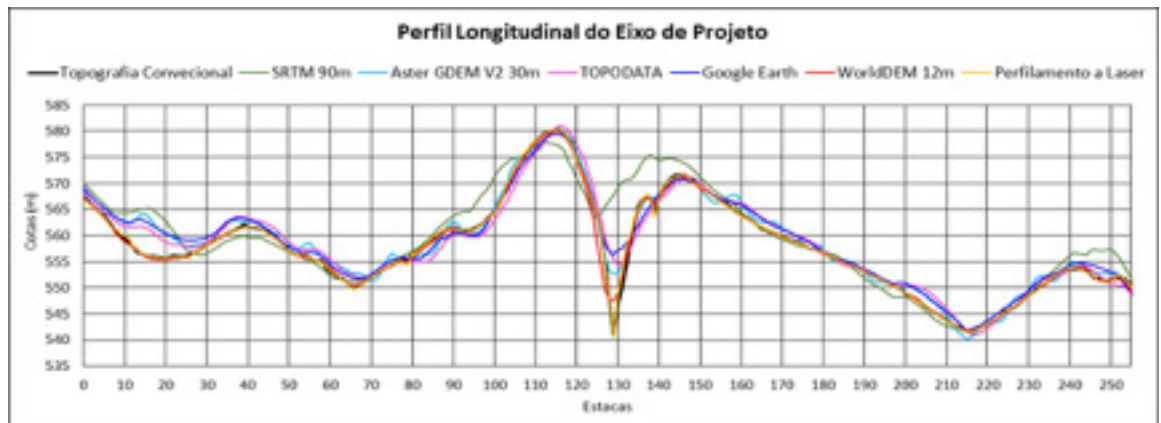


Figura 2 – Perfis Topográficos com os terrenos analisados sobrepostos.

4 | CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos com respeito a altimetria dos modelos digitais de terreno (MDT) e de superfície (MDS) analisados em comparação com dados de levantamento topográfico realizado em campo numa mesma área de estudo, pode-se concluir que os dados SRTM apresentaram compatibilidade com a escala 1:50.000 Classe A, já os dados TOPODATA, ASTER GDEM V2 e Google Earth com a escala 1:25.000 Classe A, e por fim os dados do WorldDEM e Perfilamento a laser com escalas de 1/10.000 e 1/2.000 respectivamente. Sendo essas classificações embasadas segundo o que determina o Decreto-Lei nº 89.817/84, no qual baseia-se as especificações do DNIT para classificação de levantamentos aerofotogramétricos com fins de projetos viários.

Apesar do resultado satisfatório altimetria para projeto básico viário (WorldDEM) e projeto executivo viário (Perfilamento a laser), conforme estabelece o manual de diretrizes e bases do DNIT de 2006 nas suas instruções de serviço (IS-227 e IS-226). Entretanto é importante ressaltar a necessidade de se realizar uma atualização e melhoria das normas para mapeamento, pois ainda utilizam parâmetros baseados na cartografia analógica.

Já para os resultados verificados pelos demais terrenos (MDE) analisados (SRTM, TOPODATA, ASTER GDEM e Google Earth), pela ausência de bases cartográficas em algumas regiões do território brasileiro, esses dados mostram-se potencialmente capazes de suprir essa carência de informação altimétrica, principalmente para mapeamento com escalas até 1: 50.000.

Outro teste realizado foi o de volumes de corte e aterro, onde os melhores resultados encontrados de variação de volume de corte foi 0,05% (Perfilamento a laser) e de aterro de 13,28% (WorldDEM), dos quais o volumes de terraplenagem de projetos viários devem ser bem apurados, pois sabendo-se que os custos de terraplenagem em projetos dessa natureza podem representar de 30% a 40% do valor total da obra, onde uma discrepância elevada entre os volumes de terraplenagem, sobretudo o projeto executivo, poderá afetar o custo global da obra.

5 | AGRADECIMENTOS

A Empresa Maia Melo Engenharia por disponibilizar os dados utilizados para elaboração do presente estudo.

REFERÊNCIAS

ASTER, ASTER GDEM. Disponível em: <<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>>. Acesso em: 10.out.2016.

CONCAR. NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS, DECRETO Nº 89.817 DE 20 DE JUNHO DE 1984. Disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/detalheDocumentos.aspx?cod=8&ln=1>>. Acesso em: 13 de out. 2016.

Costa, G.C.; Silva D.C. **Classificação de mapeamento aerofotogramétrico com imagens de câmeras digitais não-métricas para fins de projetos de estradas**. Revista da Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésica, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto – SBC, Rio de Janeiro, n. 61/03, p. 223-232, 2009. ISSN 0560-4613.

DSG. DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **EB80-N-72.003: Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais**. Brasília, 2015.

Garofalo, D. F. T.; Liesenberg, V. **Análise comparativa da informação altimétrica presente nos modelos digitais de elevação ASTER GDEM 1 e 2, SRTM e TOPODATA**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Anais eletrônicos. João Pessoa-PB, 2015. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0565.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2016.

NASA. ASTER Global Digital Elevation Map Announcement. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>>. Acesso em: 10 out. 2016.

NASA JPL. ASTER Global Digital Elevation Model. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/node/1079/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

Topodata. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

USGS. United States Geological Survey. Disponível em: <<http://srtm.usgs.gov/>>. Acesso em: 10 out. 2016.

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

Crisliane Aparecida Pereira dos Santos

Universidade do Estado da Bahia/Campus II,
DCET, Alagoinhas – BA

Edson Eyji Sano

Embrapa Cerrados, Brasília – DF

Pablo Santana Santos

Universidade Federal da Bahia/IGEO, Salvador –
BA

RESUMO: Por ser uma área de fronteira agrícola, o Cerrado da Bahia passou por intensas transformações na paisagem. O objetivo deste artigo é demonstrar o efeito da conversão de áreas naturais em atividades agropecuárias, sob a configuração espacial da paisagem na sub-bacia hidrográfica do Rio Riachão, área de expansão da fronteira agrícola, Cerrado baiano. Imagens de satélite TM - Landsat 5 (1980 - 2010) foram usadas para mapear os fragmentos naturais remanescentes e então realizou-se uma intersecção entre “tamanho de fragmento” e “declividade” para se obter células homogêneas e se determinar métricas de paisagem, por meio da extensão Path Analyst 5.0, disponibilizado para o *software* ArcGIS 9.3. Houve aumento da métrica NP (26%), seguido pela redução da classe MPS (89%), TCA (85,7%) e TCAI (40%) para a classe ≥ 300 (0 - 3%). Este resultado revela a suscetibilidade dos fragmentos ao efeito de borda, sobretudo pela

maior interferência da matriz (cultura agrícola), o que implica fragmentos de menor qualidade ambiental para a manutenção da integridade da estrutura da paisagem, ao longo dos trinta anos de uso e ocupação do solo. Ao mesmo tempo, a sub-bacia ainda apresenta 293 fragmentos com MPS de 73 ha (2010), o que equivale a uma área de 21.371 ha, bastante valiosa para atividades de conservação ambiental, sobretudo por apresentar fragmentos de complexidade mediana (MPFD), apesar de suas formas alongadas (MSI).

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto, Fronteira Agrícola, Fragmentos Naturais, Métricas da Paisagem.

ABSTRACT: For being an area of agricultural frontier, the Bahia's Cerrado has undergone intense landscape transformations. The objective of this article is to demonstrate the effect of conversion of natural areas in agricultural activities, in the spatial configuration of the landscape in the sub-basin of Rio Riachão. Satellite images TM - Landsat 5 (1980 - 2010) were used to map the remaining natural fragments and then was held an intersection between “fragment size” and “slope” for obtaining homogeneous cells and then determine landscape metrics, by extending Path Analyst 5.0, available for ArcGIS 9.3 *software*. There was an increase in the metric

NP (26%), followed by a reduction of MPS (89%), TCA (85.7%) and TCAI (40%) class ≥ 300 (0 - 3%). This result reveals the susceptibility of the fragments to the edge effect, especially for greater interference matrix (crop), which implies lower environmental quality fragments to landscape structure integrity maintenance, over the thirty years of use and occupation soil. At the same time, the sub-basin also features 293 fragments with MPS of 73 ha (2010), which is equivalent to an area of 21,371 ha, very valuable for environmental conservation activities, especially because present median complexity fragments (MPFD), though its elongated shapes (MSI).

KEYWORDS: Remote Sensing, Agricultural Frontier, Natural Fragments, Landscape Metrics.

1 | INTRODUÇÃO

As antropizações ocorridas no bioma Cerrado geraram variadas matrizes vegetacionais caracterizadas como “colcha de retalhos” que, por sua vez, são vistas como barreiras ao estabelecimento das populações biológicas, sobretudo das comunidades de aves do Cerrado que se encontram dependentes de gradientes topográficos e vegetacionais (CORRÊA e LOUZADA, 2010).

O principal efeito da fragmentação em paisagens naturais se traduz na redução do habitat, realçado pela perda de área (GOULART et al., 2013), seguidos de aumento da fragmentação e da extinção das espécies, bem como na redução da conectividade estrutural entre as manchas da paisagem (METZGER e DECAMPS, 1997).

A análise da paisagem, em ambientes intensamente transformados e fragmentados, é essencial para se avaliar o grau de comprometimento ecológico-geográfico com vistas à implementação de modelos de conservação da biodiversidade (SLAVIEIRO, 2007 apud BEZERRA *et al.*, 2011).

Dados de Sensoriamento Remoto permitem realizar esta análise espacial da paisagem, por meio da descrição quantitativa da configuração complexa da paisagem (MYAMOTO e SANO, 2008 apud SANO *et al.*, 2009), pois favorece a sua aplicação nos estudos da dinâmica dos processos ecológicos (FORMAN e GODRON, 1986).

A intensificação do uso e ocupação do solo pela agricultura produz paisagens relativamente mais simples, de menor complexidade, seguida da redução de perda de área natural e de biodiversidade (GOULART *et al.*, 2013).

A partir da década de 1980, o Cerrado baiano vem se transformando numa área de fronteira agrícola, com ocupação de áreas planas, de maior intensidade pluviométrica e em solos com potencial produtivo (SANTOS *et al.*, 2016). Portanto, o objetivo deste artigo é demonstrar o efeito da conversão de áreas naturais em atividades agropecuárias, sob a configuração espacial da paisagem na sub-bacia hidrográfica do Rio Riachão, área de expansão da fronteira agrícola Cerrado baiano.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Rio Riachão, uma sub-bacia hidrográfica da bacia do Rio Preto, com área de drenagem de 226.029 ha e cujo domínio integra o município de Formosa do Rio Preto, Mesorregião do Extremo Oeste da Bahia (Figura 1).

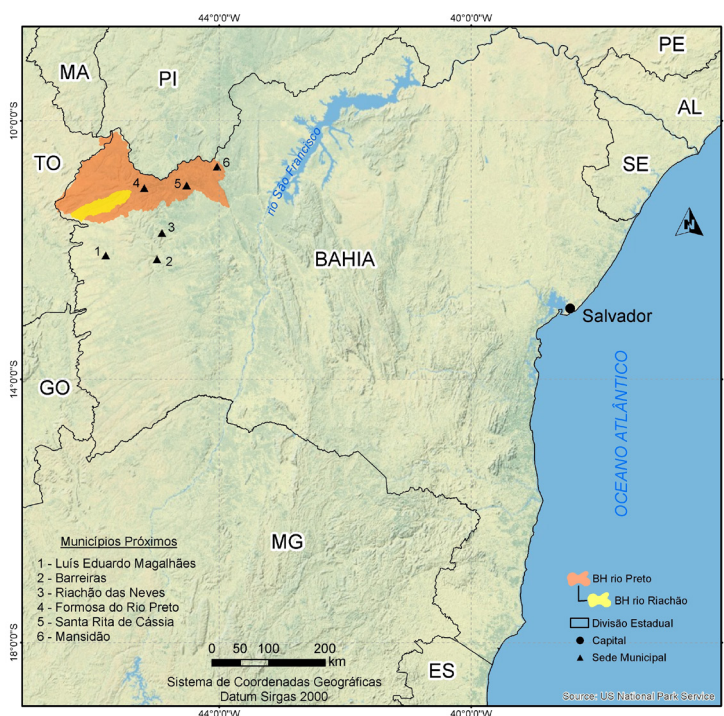


Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

Séries multitemporais da imagem de satélite TM - Landsat 5 (1980 - 2010) foram georreferenciadas no sistema de projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM) e *datum* SAD 69, fuso 23S. Finalizada a correção geométrica, realizou-se o “mosaico” das imagens utilizando a técnica de equalização de histogramas (SANO *et al.*, 2011).

Em seguida, mapeou-se os fragmentos naturais, ortofotomosaico, recortando-os com base nos limites da sub-bacia hidrográfica Rio Riachão. A partir de então, calculou-se a área de cada fragmento gerado, a fim de se permitir a sua categorização e realizou-se uma intersecção (tabulação cruzada) entre “tamanho dos fragmentos” e “declividade”, tornando possível uma análise comparativa da paisagem entre os diferentes períodos analisados.

A operação do cruzamento gerou um novo produto conhecido como “unidades da paisagem” que ofereceu a vantagem de subdividir a paisagem da sub-bacia Rio Riachão em células homogêneas, conforme a classe de tamanho do fragmento e sua declividade. Os fragmentos naturais remanescentes foram categorizados segundo o tamanho dos fragmentos (≤ 5 ha, 5 - 10 ha, 10 - 50 ha, 50 - 100 ha, 100 - 200 ha, 200 - 300 ha e ≥ 300 ha) e de acordo com a declividade da paisagem (0 - 3%, 3 - 8%,

8 - 13%, 13 - 20%, 20 - 45% e 45 - 100%). Os dados de declividade foram gerados a partir do modelo numérico de terreno obtido pela missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Por fim, as unidades de paisagem, foram convertidas para o formato raster, reclassificadas e determinadas as métricas da paisagem, por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constatou-se, nas métricas índice médio de forma (MSI), a predominância de formas alongadas, sobretudo em fragmentos de tamanhos maiores (Figura 2). Não obstante, observou-se que a classe ≤ 5 (0 - 3%) tornou uma exceção, visto que foram caracterizados como fragmentos muito pequenos, inferiores a 5 ha. As formas alongadas dos fragmentos das distintas classes podem ser explicadas pela influência direta da matriz (cultura agrícola), apesar de não ter sido identificado aumento no valor do MSI à medida que se reduzia a área da cobertura natural.

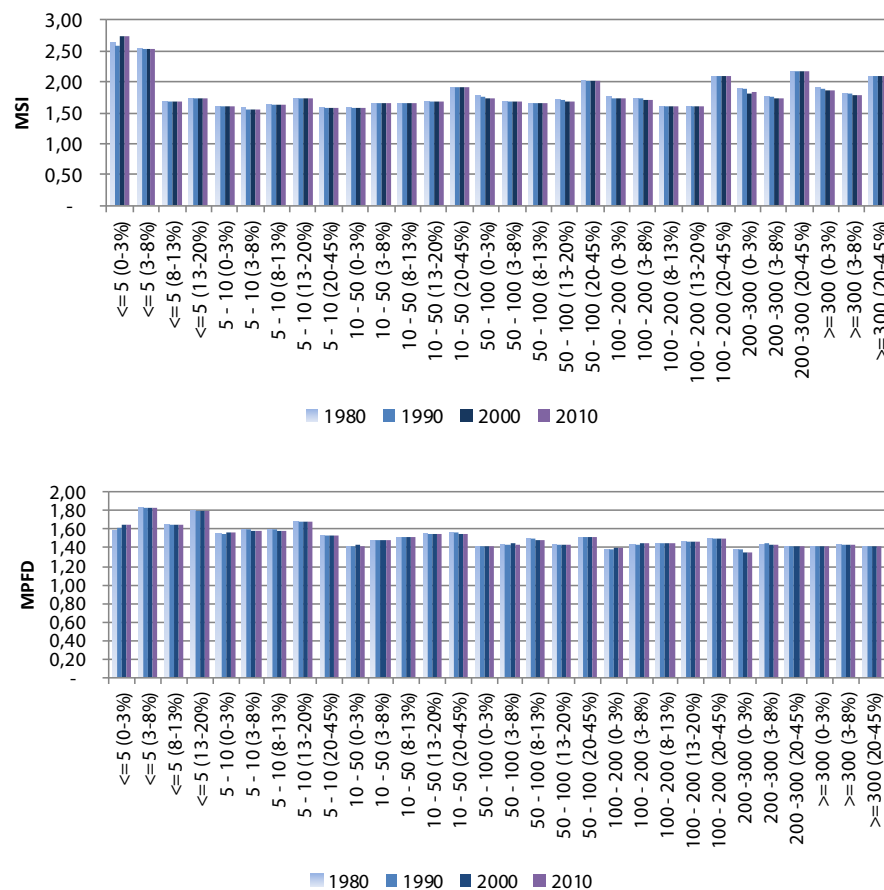


Figura 2: Valores da métrica relativa ao índice médio de forma e à dimensão fractal médio da sub-bacia Rio Riachão.

Quanto à métrica Dimensão Fractal Média (MPFD) observou-se que, apesar das formas alongadas, todos os fragmento da sub-bacia Rio Riachão apresentaram

complexidade mediana (valores de MPFD inferiores a 2), sendo que o fragmento mais alongado apresentou a forma mais simples (MPFD = 1).

Assim, as classes dos fragmentos de irregularidade mediana, como, por exemplo, a classe ≥ 300 (0 - 3%), tornam-se mais apropriadas para a manutenção das funções ecológicas locais que os fragmentos da classe ≤ 5 (0 - 3%) que, por ser a classe mais pressionada pela fronteira agrícola, tais áreas devem ser adotadas como sendo prioritárias para minimizar a perda de habitats e da fragmentação da paisagem em cenários futuros.

Os fragmentos com áreas maiores e menos recortados apresentaram maior proteção contra o efeito de borda, em função da menor proporção do binominal borda/área (LOPES *et al.*, 2011). Forman e Godron (1986) afirmam que fragmentos com formas mais alongadas ou recortadas são os mais susceptíveis às interferências da matriz que os fragmentos de florestas com padrão mais próximo ao circular. Fragmentos com formas mais complexas têm efeitos mais positivos sobre a conservação da biodiversidade que fragmentos mais simples, haja vista que formas simples são sinônimos de formas regulares, que, por sua vez, representam ambientes antropizados (MARTINS e MONTEIRO, 2013).

Embora não se tenha observado uma significativa evolução temporal da métrica Número de Fragmentos (NP) (26%) sobre a classe ≥ 300 (0 - 3%), da sub-bacia Rio Riachão, verificou-se que o Tamanho Médio do Fragmento (MPS) reduziu-se em 89% (1980 - 2010). O mesmo foi observado para o Desvio Padrão do Tamanho Médio do Fragmento (PSSD), cujo valor foi reduzido de 8.607 ha em 1980 para 307 ha em 2010, ou seja, uma redução de 96,4% (Figura 3).

Os fragmentos maiores da sub-bacia Rio Riachão, apesar do menor percentual do NP, classe ≥ 300 (0 - 3%), representam a maior parte dos fragmentos remanescentes quando comparado com a classe ≥ 300 (3 - 8%). Esta classe apresentou, durante o ano de 2010, 293 fragmentos com MPS de 73 ha, uma área de 21.371 ha, bastante valiosa para atividades de conservação ambiental. Além desta particularidade, as classes de fragmentos com tamanho médio de até 50 ha tiveram área inferior aos fragmentos acima de 50 ha, o que demonstra mais uma vez a qualidade ambiental destes fragmentos.

Os valores da Área da Classe dos Fragmentos (CA), pertinente à classe ≥ 300 (0 - 3%) e predominante na sub-bacia Rio Riachão, para os anos de 1980 - 2010, tiveram uma redução de 12,8% (1980 - 1990), seguidos de uma perda de 54,6% (1990 - 2000) e de 63,8% (2000 - 2010), o que demonstram uma evolução na perda de área do fragmento, ocasionada pela expansão da fronteira agrícola (Figura 4).

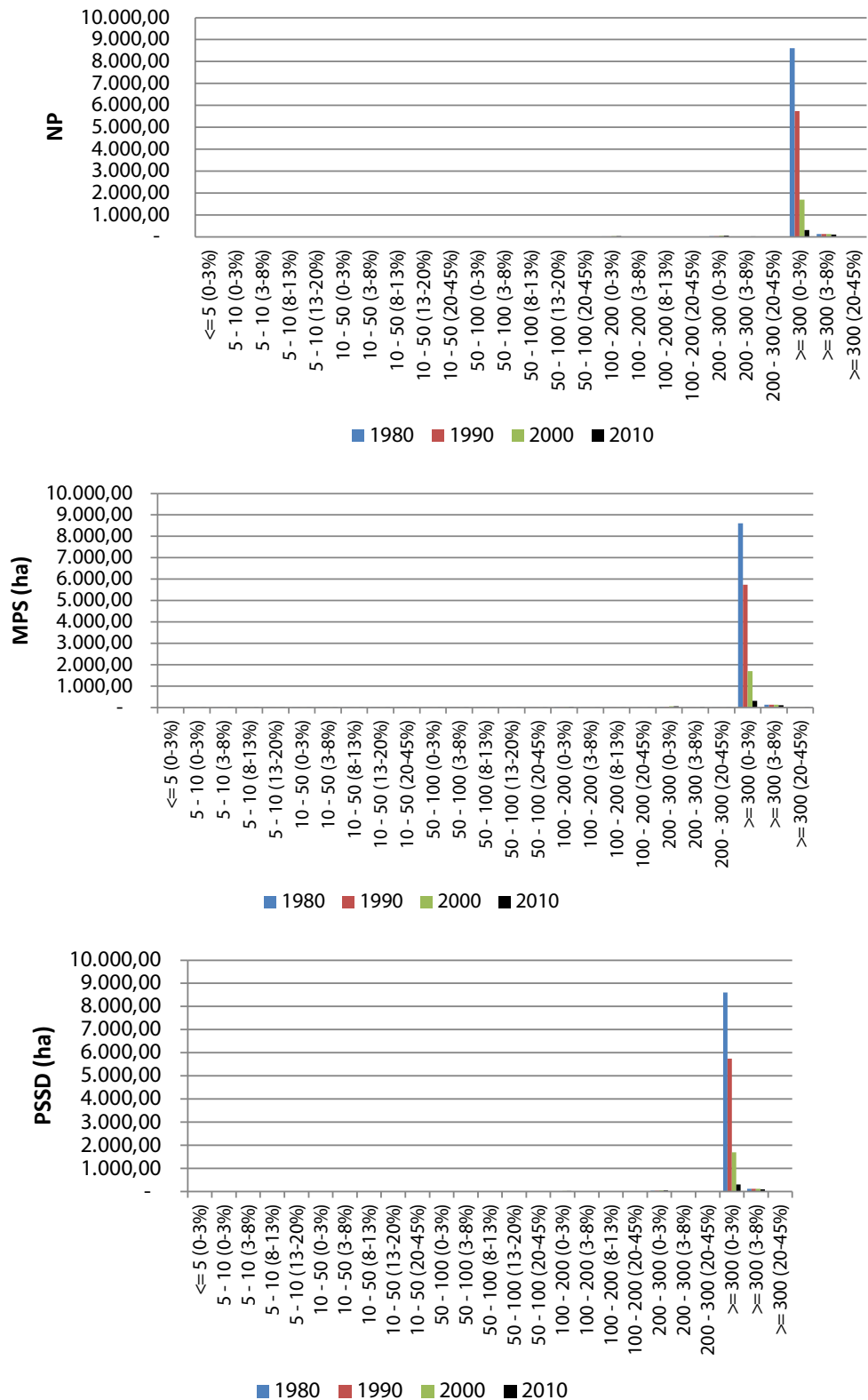


Figura 3: Valores das métricas número de fragmentos, tamanho médio do fragmento e desvio padrão do tamanho médio do fragmento da sub-bacia Rio Riachão.

Nem sempre o quantitativo da métrica CA se resume em proporção suficiente de área central para a manutenção da integridade da estrutura da paisagem. Isto pode ser claramente explicado pela simples lógica de que um dado fragmento pode ser suficientemente largo para o abrigo de espécies, sem, no entanto, possuir área central de qualidade para a manutenção dessas espécies (TURNER e GARDNER, 1990). Esta assertiva explica o fato de que certas classes com maior CA apresentarem

baixo valor de TCAI. Portanto, a área central comporta-se como melhor indicador da qualidade do habitat que sua área total.

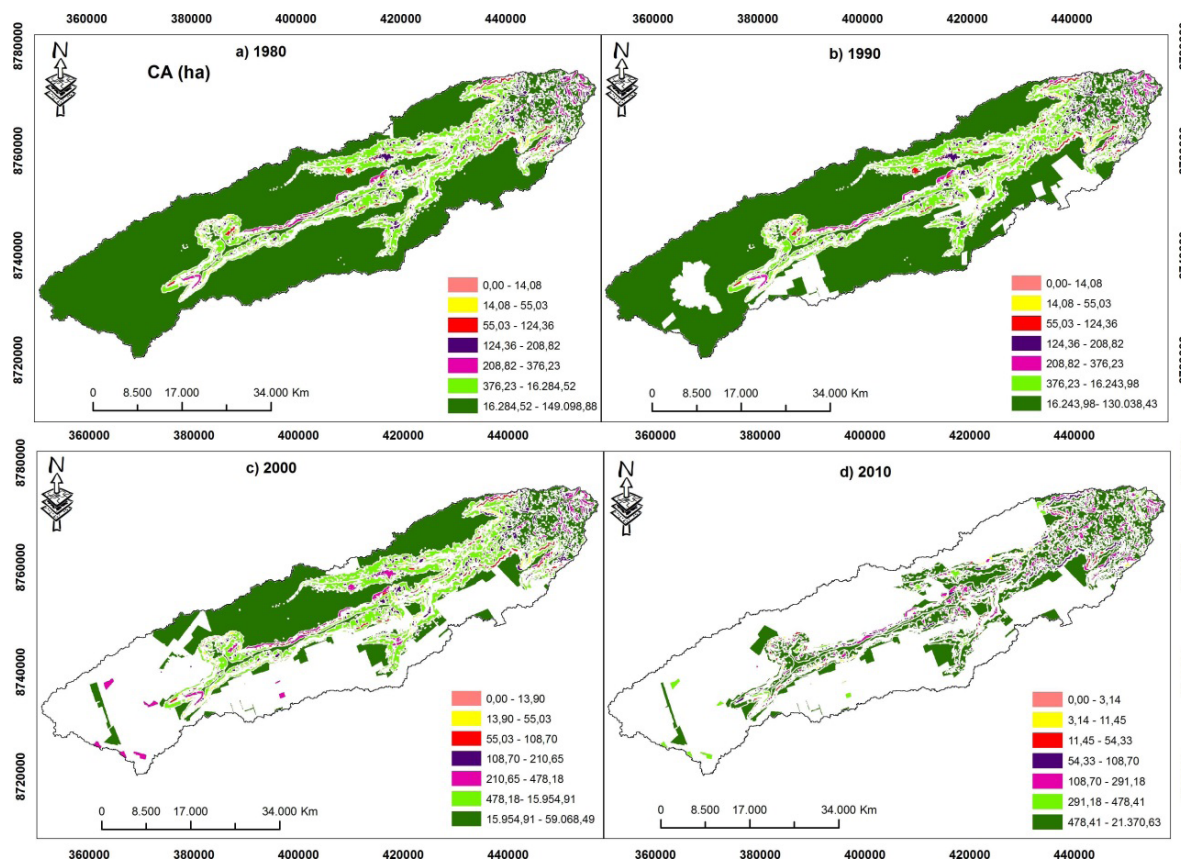


Figura 4: Métrica área da classe dos fragmentos pertinentes a sub-bacia Rio Riachão.

As áreas de interior, sub-bacia Rio Riachão, também referente à classe ≥ 300 (0 - 3%) foram significativamente reduzidas, conforme se aumentava a transformação da paisagem para áreas agrícolas (Figura 5). Observou-se uma ligeira redução de 7,8% do índice de área Central Total (TCAI), proveniente dos dez anos iniciais de uso e ocupação dos solos (1980 - 1990), que se fez acompanhado da perda de área Central Total (TCA) equivalente a 13,0%.

Em associação a essa discussão, observa-se que os fragmentos de maior quantitativo de remanescente natural, categorizados como sendo acima de 300 ha e de relevo plano (0 - 3%), apresentaram acréscimo da relação borda/área ao longo do tempo, condizente com a dinâmica de uso e ocupação do solo na sub-bacia, pois este relevo plano favorece a mecanização agrícola, essencial para a expansão de lavouras temporárias (*commodities* do agronegócio).

Ao avaliar as classes em função da declividade, verificou-se que as áreas mais acidentadas, independentemente do tamanho da área do fragmento, apresentaram a menor redução das métricas de TCA e TCAI, assim como as métricas analisadas referentes ao NP, MPS e PSSD, revelando que o relevo atua como uma barreira física à expansão da fronteira agrícola, o que sem dúvida justifica a baixa pressão antrópica nessas áreas.

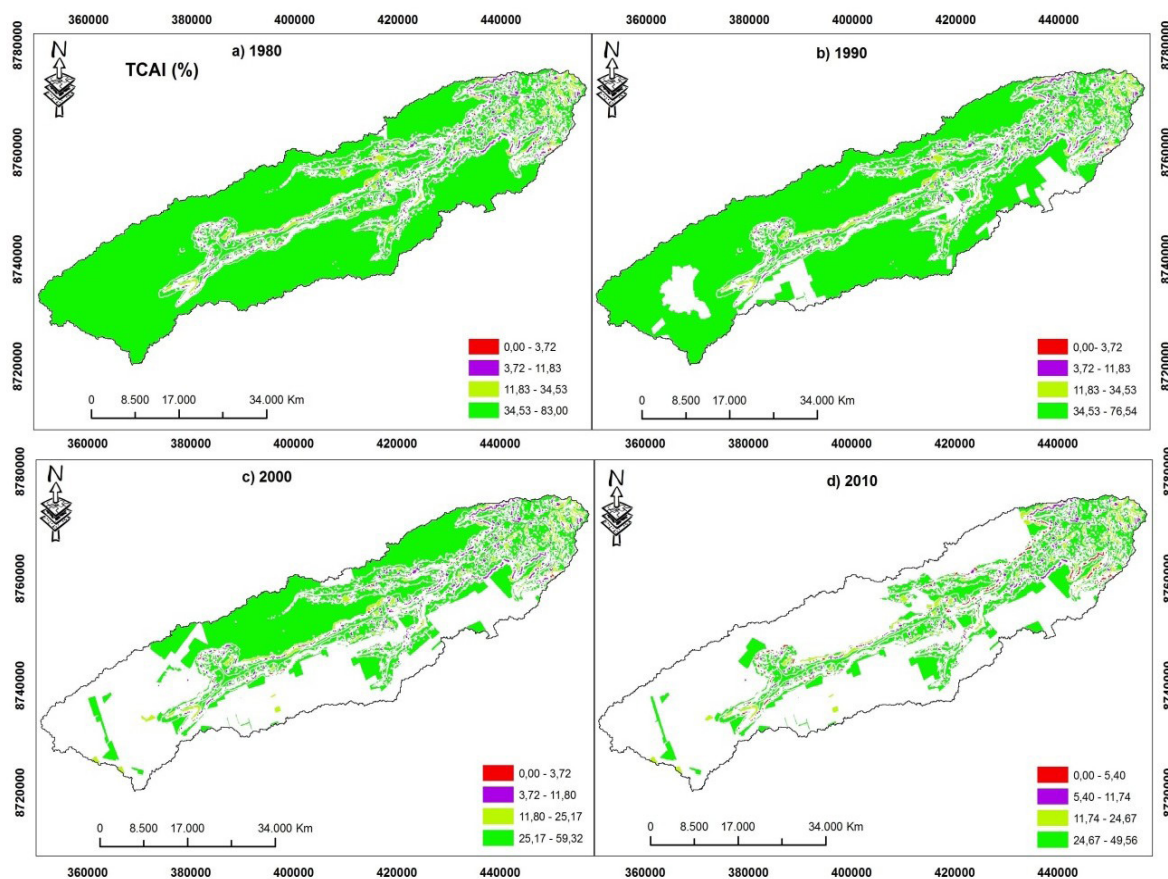


Figura 5: Evolução espaço-temporal da métrica índice de área central para os anos de 1980 - 2010 da sub-bacia Rio Riachão.

Entretanto, nos anos posteriores ao período de instalação da fronteira, constatou-se um aumento gradativo da perda de TCAI para 22,5% (1990 - 2000) e 16,5% (2000 - 2010), à medida que se intensificava o uso do solo. Esses valores indicam uma perda de 40,3% de TCAI (1980 - 2010), acompanhado de uma redução de 85,7% de TCA, influenciando negativamente a biodiversidade local e a sustentabilidade ambiental destes fragmentos.

4 | CONCLUSÕES

A sub-bacia Rio Riachão apresentou métrica de forma alongada, o que revela a susceptibilidade dos fragmentos ao efeito de borda, sobretudo pela maior interferência da matriz (cultura agrícola).

Conforme a área da classe dos fragmentos foi sendo transformada para áreas agrícolas, perderam-se em média 85,7% de TCA e 40% de TCAI, durante os trinta anos de uso e ocupação do solo pela fronteira agrícola, sobretudo no período de expansão ou pós-fronteira agrícola. Este cenário sugere a incidência de fragmentos com alta influência do efeito de borda e de baixa qualidade estrutural, especialmente aqueles de tamanhos pequenos, resultando em menor proteção as espécies dependentes de

áreas centrais.

Fragmentos pequenos, de alta relação borda/área, de forma alongada e de menor proporção de área central apresentam-se com sendo os de menor qualidade ambiental à manutenção da integridade da estrutura da paisagem.

Por fim, os fragmentos de classe maiores que 300 ha, localizados em áreas planas, declividade 0-3% apresentaram significativa redução do tamanho médio do fragmento, seguido de um maior número de fragmento, ao longo dos trinta anos de uso e ocupação dos solos, o que implica mais uma vez em maior vulnerabilidade a expansão da fronteira agrícola.

Ao mesmo tempo, a sub-bacia ainda apresenta 293 fragmentos com MPS de 73 ha (2010), o que equivale a uma área de 21.371 ha, bastante valiosa para atividades de conservação ambiental, sobretudo pelo fato de apresentarem fragmentos de complexidade mediana (MPFD), apesar de suas formas alongadas (MSI), o que mais uma vez a torna apropriada para a manutenção das funções ecológicas locais.

Estes dados revelam uma forte correlação entre forma, tamanho dos fragmentos e área central, demonstrando a interferência que a área central pode sofrer não só quanto à forma, como também quanto ao tamanho do fragmento, o que condiciona a função ecológica do mesmo.

REFERÊNCIAS

CORRÊA, B. S.; LOUZADA, J. N. C. Bioma cerrado, fragmentação florestal e relações ecológicas com a avifauna. **Revista Agrogeoambiental**, Pouso Alegre, v.2, n.3, p. 57-72, 2010.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley, 1986. 619p.

GOULART, F. F.; SALLES, P.; SAITO, C. H.; MACHADO, R. B. How do different agricultural management strategies affect bird communities inhabiting a savanna-forest mosaic? A qualitative reasoning approach. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.164, p. 114-130, 2013.

LOPES, N. S.; MOREAU, M. S.; MORAES, M. E. B. Análise da paisagem com base na fragmentação - caso APA Pratigi, Baixo Sul da Bahia, Brasil. **Revista Eletrônica do Prodepa**, Fortaleza, v.6, n.1, p. 53-67, 2011.

MARTINS, A. K. E.; MONTEIRO, C. B. Uso de geotecnologia para análise de fragmentação do Cerrado na paisagem da sub-bacia do ribeirão Taquaruçu-Grande, Palmas-TO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 16, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos: INPE, 2013. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFRTRW34M/3E7GJQ2>>. Acesso em: 16 mar. 2014.

METZGER, J. P.; Decamps, H. The structural connectivity threshold: an hypothesis in Conservation Biology at the landscape scale. **Acta Oecologica**, Amsterdam, v.18, n.1, p. 1-12, 1997.

MIYAMOTO, A., SANO, M. The influence of forest management on landscape structure in the cool-temperate forest region of central Japan. 2008. In: SANO, M.; MIYAMOTO, A.; FURUYA, N.; KOGI, K. Using landscape metrics and topographic analysis to examine forest management in a mixed forest, Hokkaido, Japan: Guidelines for management interventions and evaluation of cover changes. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v.257, p. 1208-1218, 2009.

SANO, E. E.; SANTOS, C. C. M.; SILVA, E. M.; CHAVES, J. M. Fronteira agrícola do Oeste baiano: considerações sobre os aspectos temporais e ambientais. **Geociências**, São Paulo, v.30, n.3, p. 479-489, 2011.

SANTOS, C. A. P.; SANO, E. E.; SANTOS, P. S. Fronteira agrícola e a análise da estrutura da paisagem na bacia do Rio Preto – Oeste da Bahia. **Ra'e Ga**, Curitiba, v. 36, p. 179 - 207, 2016.

SLAVIEIRO, L.B. Estrutura, configuração e fragmentação da paisagem na região Norte do Rio Grande do Sul, Brasil. In: BEZERRA, C. G.; SANTOS, A. R.; PIROVANI, D. B.; PIMENTEL, L. B.; EUGENIO, F. C. Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. **Espaço & Geografia**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 257-277, 2011.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer Verlag, 1990. 563p.

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

Erickson Melo de Albuquerque

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Paraíba – IFPB
Princesa Isabel – PB

Cícero Fidelis da Silva Neto

Instituto Nacional do Semiárido – INSA
Campina Grande – PB

Marcos Leonardo Ferreira dos Santos

Universidade Federal da Paraíba – UFPB
João Pessoa – PB

RESUMO: A luta por moradia tem sido crescente no Brasil. Durante o processo histórico de construção do país, alguns processos tiveram como consequência o surgimento de aglomerados urbanos subnormais e ocupações de prédios abandonados organizados por movimentos da sociedade civil. Estima-se que atualmente existam cerca de 6 milhões de famílias sem moradia e aproximadamente 7 milhões de imóveis vazios, sem função social, provocando uma injustiça social. Em João Pessoa, cidade em expansão, sobretudo para a região sul, onde fica o bairro de Gramame, houve um crescimento de quatro vezes o número de habitantes entre os anos 2000 e 2010. Com o objetivo de verificar os lotes públicos que se encontram sem função social e que poderia ter uma gestão mais eficiente, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento sobre dados

espaciais fornecidos pela Prefeitura de João Pessoa. Foram estabelecidos critérios para considerar diferentes níveis de susceptibilidade à ocupação irregular desses lotes, dentre os quais envolvem a infraestrutura local e a declividade. Por fim, encontrou-se que de um total de 1807 lotes públicos vazios no bairro, 5 foram considerados de baixa vulnerabilidade; 1.489 de vulnerabilidade razoável e 313 de alta vulnerabilidade. Praticamente todos os lotes públicos estão localizados sobre terreno plano ou suave ondulado, estando apenas 127 sobre relevo ondulado.

PALAVRAS-CHAVE: geoprocessamento, ocupação irregular, patrimônio público.

ABSTRACT: The struggle for housing has grown in Brazil. During the historical process of construction of the country some processes have resulted in the appearance of agglomerated urban subnormal and occupations of abandoned buildings organized by civil society movements. It is estimated that there are currently about 6 million homeless families and approximately 7 million empty properties without social function, causing social injustice. João Pessoa, city in expansion, especially for southern region, where is located the neighborhood of Gramame, there was a growth of four times the number of inhabitants between the years of 2000 and 2010. With the goal to verify the public plots of

land that are without social function and that could have a more efficient management, it was used geoprocessing techniques about geospatial data donated by municipal government. Criteria have been established to consider different levels of susceptibility to irregular occupation of these lots, among which involve local infrastructure and slope. Finally, it was found that out of a total of 1807 empty public lots in the neighborhood, 5 were considered of low vulnerability; 1,489 of reasonable vulnerability and 313 of high vulnerability. Virtually all public lots are located on flat or smooth corrugated land, with only 127 on corrugated relief.

KEYWORDS: geoprocessing, irregular occupation, public heritage.

1 | 1 INTRODUÇÃO

Segundo o IBGE (2010), aglomerado subnormal é um conjunto de 51 ou mais unidades habitacionais (como casas e barracos) carentes de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado terrenos de propriedade alheias (pública ou particular) de forma desordenada.

De acordo com Pinto (2003), a ocupação irregular está na origem dos principais problemas urbanos como segurança, saúde, transporte, meio ambiente, defesa civil e provimento de serviços públicos. Segundo Leite (2012), na maioria das cidades brasileiras as aglomerações subnormais surgem em terrenos públicos, carentes de infraestrutura básica e próximas de cursos d'água. Podem ser tomadas como exemplo de aglomerações subnormais com essas características na cidade de João Pessoa as comunidades São Rafael, localizada no bairro do Castelo Branco, e São José, inserida entre o bairro de Manaíra e o conjunto João Agripino.

Para auxiliar nesta análise pode-se utilizar o geoprocessamento, que Rodrigues (2003) define como um conjunto de tecnologias para a coleta, tratamento, manipulação e representação de informações espaciais voltado para um objetivo. E dentro destas tecnologias tem-se o Sistema de Informação Geográfica (SIG), que de acordo com Korte (2001) é uma ferramenta utilizada para análises de informação geográfica que usa funções de dados geométricos atrelados a tabelas de atributos alfanuméricos. Dentro do SIG existem as ferramentas para a análise espacial, que Bailey (1994) define como um recurso que possibilita manipular dados espaciais de diferentes formas e extrair conhecimento adicional como resposta, incluindo funções básicas como consulta de informações espaciais dentro de áreas de interesse definidas, manipulação de mapas e a produção de breves sumários estatísticos dessa informação.

Baseada nestes conceitos está a importância deste estudo, tendo em vista que, de acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a cidade de João Pessoa apresentou um crescimento populacional acelerado, juntamente com uma expansão da malha urbana bastante significativa entre os anos de 1990 e 2006 (RAFAEL et al, 2009), especialmente na zona sul da cidade, onde se localiza o bairro de Gramame. Assim, o aparecimento de ocupações/aglomerações

nesse bairro pode eventualmente demandar do poder público ações imediatistas para uma eficiente prestação de serviços para a população local, como atenção à saúde, obras estruturais, preservação do meio ambiente, descontrolado da segurança pública.

Tendo em vista apresentar possíveis cenários, o objetivo do trabalho foi identificar áreas potenciais à ocupação irregular e formações de aglomerados subnormais. Para isso buscou-se cumprir as seguintes etapas: levantar dados espaciais cadastrais; aplicar uma análise sobre múltiplos critérios para identificar os lotes com possibilidade de ocupação; realizar consultas espaciais para enquadrar os lotes em níveis de susceptibilidade à ocupação; produzir mapas de susceptibilidade à ocupação irregular.

É válido ressaltar que o objetivo deste trabalho não é fazer uma previsão sobre a ocupação irregular dos lotes públicos, mas sim simular a partir de variáveis de natureza geográfica e socioeconômicas que ela pode ocorrer, servindo de alerta ao poder público sobre a gestão do patrimônio público com a devida atenção para o atendimento de demandas coletivas. Junta-se a isso o fato de que a formação de aglomerados subnormais são processos sociais bem mais complexos (LEITE, 2012).

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O bairro de Gramame está localizado na zona sul do município de João Pessoa, capital do estado da Paraíba. De acordo com o Censo do IBGE (2010), o bairro teve o maior crescimento populacional da cidade no período entre os anos 2000 e 2010. No ano 2000 contava com 6,2 mil habitantes, em 2010 registrou pouco mais de 24,9 mil habitantes.

Limita-se com os seguintes bairros: Valentina de Figueiredo, Planalto Boa Esperança, Ernesto Geisel, João Paulo II, Grotão, Funcionários (norte), Muçumagro (leste), Distrito Industrial (oeste), e o município do Conde (sul). A Figura 1 mostra a localização do bairro dentro do município de João Pessoa e em destaque os lotes do bairro e os corpos d'água que cortam a região.

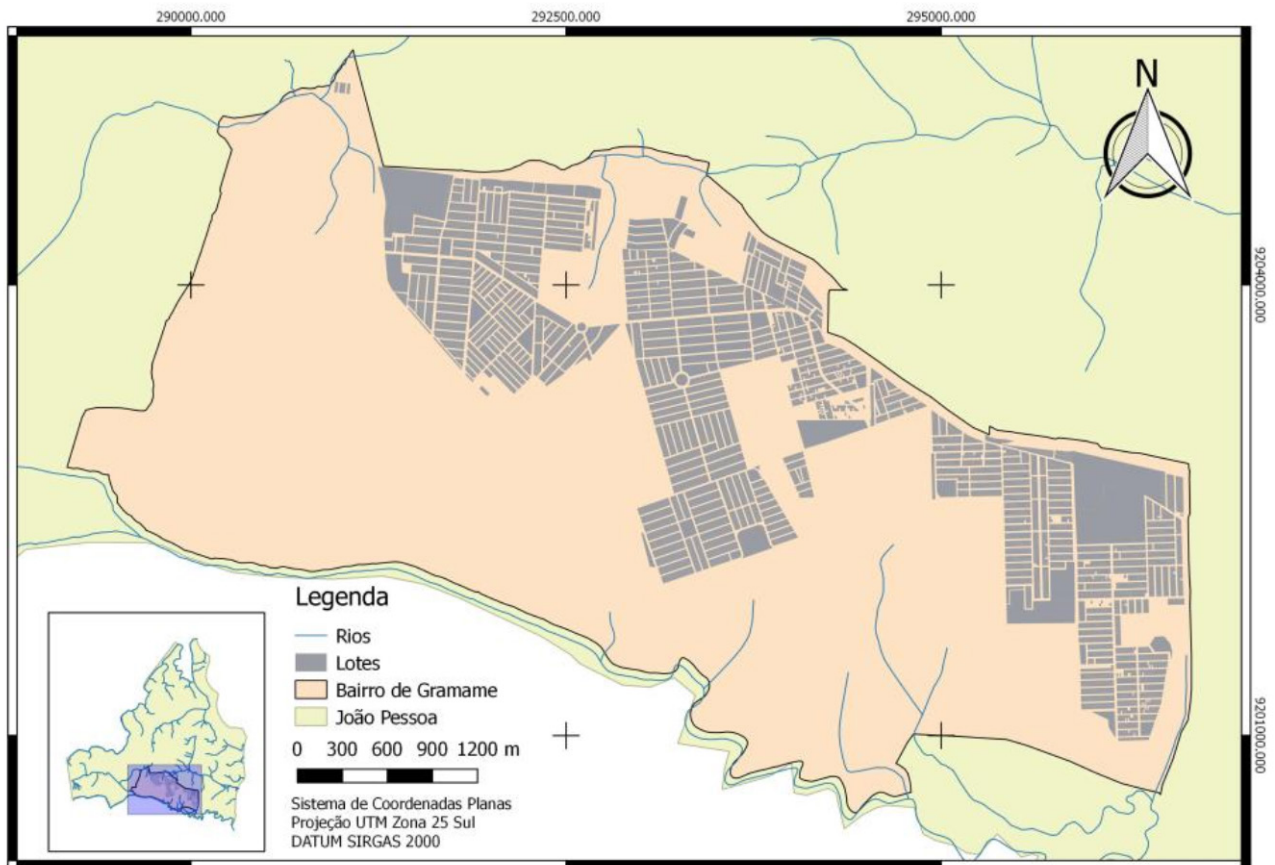


Figura 1 – Localização do bairro de Gramame, lotes e rios no município de João Pessoa.

2.2 Material

Os dados utilizados para realização do trabalho foram os seguintes: a delimitação do município de João Pessoa e do bairro de Gramame, os lotes existentes no bairro e os corpos d'água que cortam a cidade, obtidos junto à Prefeitura Municipal de João Pessoa – PB (PMJP), no formato *shapefile*. Os dados sobre os lotes continham atributos descritivos do local sobre a infraestrutura (lote murado, rede de esgoto, galeria pluviométrica, calçada), domínio e uso (patrimônio, atividade, situação). Imagens SRTM/TOPODATA, com resolução espacial de 30 metros, foram usadas para o cômputo da declividade. O software utilizado foi o Quantum GIS 2.18.

2.3 Métodos

Em estudo realizado por Leite (2012), que identificou áreas propensas a ocupação no município de Montes Claros/MG, a variável basilar foi a propriedade pública do terreno, desta feita, foram analisadas mais cinco variáveis, que foram: o valor comercial do terreno, a distância do centro, a proximidade de favelas, a infraestrutura básica e a proximidade com corpos d'água.

Trazendo para a realidade da área de estudo em questão, resolveu-se fazer algumas adaptações, tendo em vista que a distância para o centro e a proximidade de favelas são praticamente as mesmas por estarem dentro de um mesmo bairro e por isso essa variável poderia ser negligenciada. Então esta análise levou em consideração que:

nos lotes públicos ocorrem ocupações ou o surgimento de aglomerações subnormais na maior parte das cidades brasileiras; sem muro e sem ocupação facilitam a invasão dos mesmos; sem infraestrutura básica têm um menor valor de mercado, portanto lotes sem coleta de lixo e rede de esgoto; e a proximidade com corpos d'água, que devido à inclinação do terreno tende a desvalorizá-lo ainda mais.

Com base nisso, foram definidos os critérios a serem consultados junto aos dados cartográficos, visando à identificação de lotes com potencial à ocupação: (a) lotes públicos e vazios; (b) sem muro e sem ocupação e (c) sem coleta de lixo e rede de esgoto. Na Tabela 1 encontram-se os tais critérios apresentados e classificados segundo a ordem e quantidade de ocorrência.

Susceptibilidade	Ocorrência de critérios
Baixa	(a)
Razoável	(a) e (b)
Alta	(a), (b) e (c)

Tabela 1 – Classificação dos lotes públicos quanto à susceptibilidade à ocupação.

Realizaram-se consultas espaciais para a identificação dos lotes. A seleção por atributos foi utilizada para as três primeiras consultas e a seleção por localização para a quarta consulta. A cada consulta foi criada uma nova camada, chamadas respectivamente de 'Baixa', 'Moderada' e 'Alta'. Além dos critérios foi realizada uma sobreposição das camadas à declividade do local, no intuito de identificar áreas planas, de acessibilidade mais fácil. Após a criação de cada camada foi feito um mapa que mostra o limite do bairro, os rios que cortam a região, os lotes do bairro e os lotes selecionados por cada uma das consultas.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente foram adicionados os *shapefiles*, no Quantum GIS 2.18, referentes à delimitação do bairro, lotes e rios. Após identificar na tabela de atributos da camada vetorial dos lotes os campos relativos aos critérios estabelecidos, foi feita a primeira consulta por meio da configuração de um filtro por campo, identificando os lotes públicos e vazios na área de estudo. Para identificá-los, definiu-se que a coluna 'Patrimônio' da camada 'Lotes' deveria conter o registro 'Público Federal' ou 'Público Estadual' ou 'Público Municipal' e a coluna 'Atividade' deveria conter o registro 'Vazios Urbanos' (Figura 2a). Feito isso, a consulta retornou um total 1.807 lotes filtrados (Figura 2b), que em seguida foram selecionados e salvos como uma nova camada. Esses lotes atendem ao critério (a) da análise (Tabela 1), isto é, apresentam uma baixa susceptibilidade à ocupação irregular.

Lotes :: Feições de totais: 13777, filtrado: 1807, selecionado: 1807

	Atividade	Grupo	Segmento	Situacao	Tipo_Imove	Arvore	Poste	Patrimonio
1	VAZIOS URBANOS	TERRENOS	TERRENOS	ATIVO	TERRITORIAL	SIM	NAO	PUBLICO MUNICIPAL
2	VAZIOS URBANOS	TERRENOS	TERRENOS	ATIVO	TERRITORIAL	NAO	NAO	PUBLICO MUNICIPAL
3	VAZIOS URBANOS	TERRENOS	TERRENOS	ATIVO	TERRITORIAL	NAO	NAO	PUBLICO MUNICIPAL
4	VAZIOS URBANOS	TERRENOS	TERRENOS	ATIVO	TERRITORIAL	NAO	NAO	PUBLICO MUNICIPAL
5	VAZIOS URBANOS	TERRENOS	TERRENOS	ATIVO	TERRITORIAL	NAO	NAO	PUBLICO MUNICIPAL

Filtro avançado (Expressão) "Atividade" ILIKE '%Vazios urbanos%' AND 'Patrimonio' ILIKE '%publico%'

Aplicar

Figura 2a – Consulta por atributos aos lotes públicos e vazios.

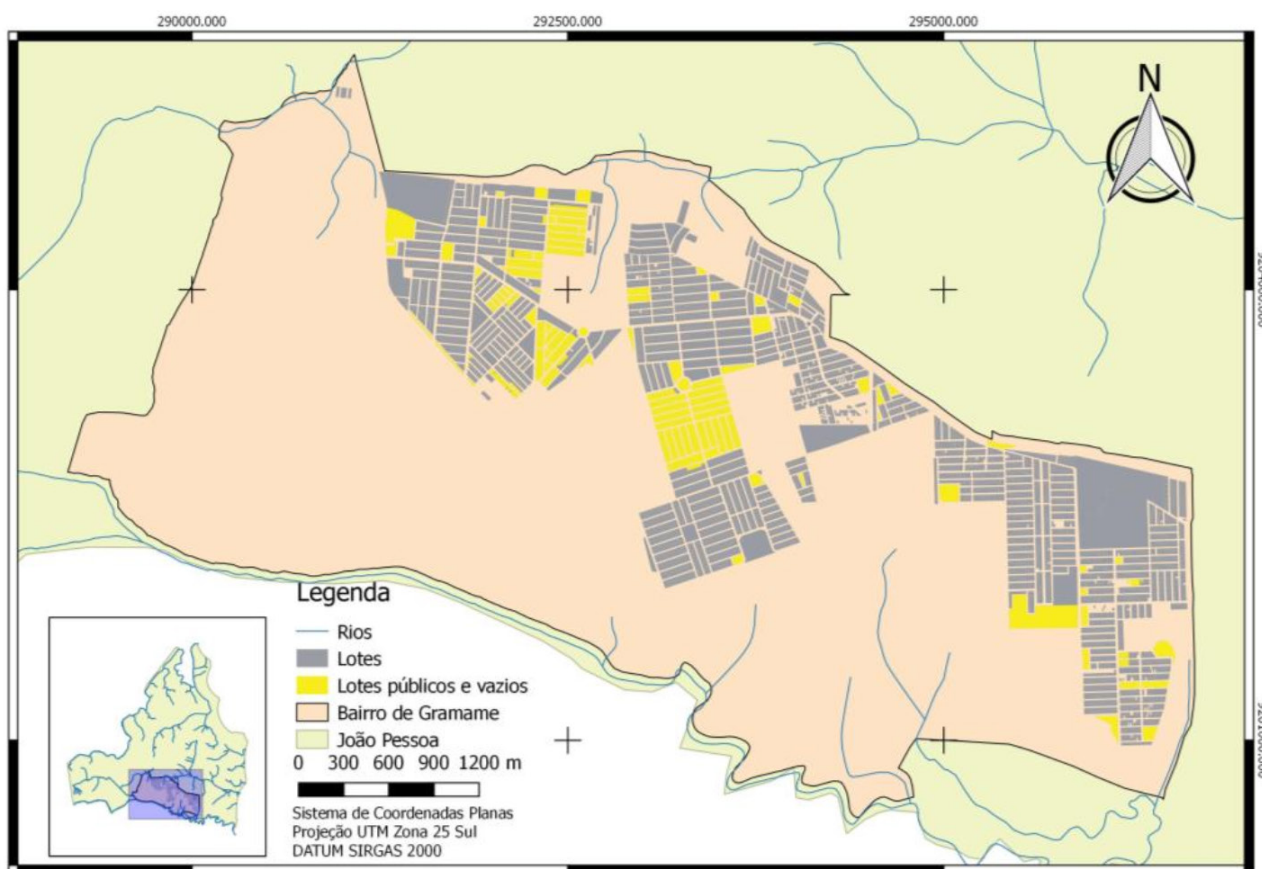


Figura 2b – Mapa dos lotes públicos e vazios no bairro de Gramame.

Em seguida foi feita a segunda consulta por atributos a partir dos lotes públicos, verificando os lotes sem muro, o que teoricamente proporcionaria maior facilidade para ser ocupado. Para identificá-los, definiu-se que as colunas 'Lim_Frente' e 'Lim_Laterais' deveriam conter o registro 'Sem' (Figura 3a). A consulta retornou uma seleção de 1.802 lotes, considerados enquadrados nos critérios (a) e (b) da análise, isto é, de susceptibilidade razoável à ocupação irregular. A seleção foi salva como uma nova camada para a consulta posterior, e foi produzido um mapa para se perceber a distribuição espacial desses lotes (Figura 3b).

Lotes_publicos_e_vazios_Gramame_SIRGAS(a) :: Feições de totais: 1807, filtrado: 1802, selecionado: 1802

	Lim_Frente	Lim_Later	Calçada	Macro_Zona	Zona	Test_Ficti	Profundida	Area_Tel
1	SEM	SEM	SEM CALÇADA	ZONA NAO ADENSAVEL	ZONA RESIDENC...	11.60	24.00	
2	SEM	SEM	SEM CALÇADA	ZONA NAO ADENSAVEL	ZONA RESIDENC...	8.00	20.00	
3	SEM	SEM	SEM CALÇADA	ZONA NAO ADENSAVEL	ZONA RESIDENC...	8.00	20.00	
4	SEM	SEM	SEM CALÇADA	ZONA NAO ADENSAVEL	ZONA RESIDENC...	8.00	20.00	
5	SEM	SEM	SEM CALÇADA	ZONA NAO ADENSAVEL	ZONA RESIDENC...	8.00	20.00	

Filtro avançado (Expressão) "Lim_Frente" ILIKE '%sem' AND "Lim_Later" ILIKE '%sem%'

Figura 3a – Consulta por atributos aos lotes públicos, vazios e sem muros.

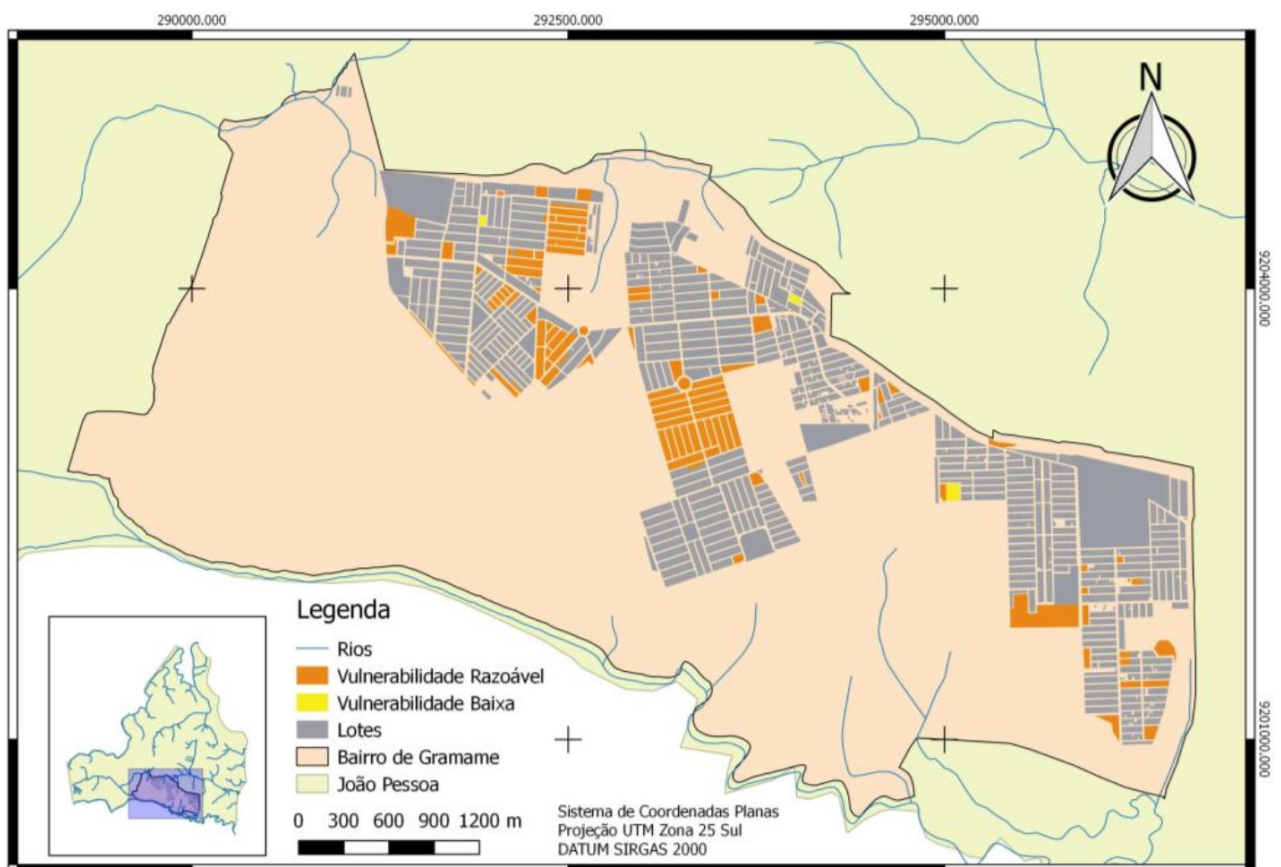


Figura 3b – Mapa dos lotes com susceptibilidade razoável à ocupação irregular.

A consulta seguinte buscou identificar os lotes com susceptibilidade alta, ou seja, aqueles que acumulam os critérios (a), (b) e (c) – ausência de rede de esgoto e coleta de lixo. Para isso fez-se uma filtragem nos atributos da camada anterior, especificamente sobre as colunas 'Rede_Esgo', contendo o registro 'Sem Rede de Esgoto', e 'Coleta', constando o registro 'Não'. (Figura 4a). Feito isso a consulta retornou a seleção de 60 lotes, que foi transformada em uma nova camada chamada 'Alta' e foi gerado um mapa da distribuição espacial desses lotes (Figura 4b).

Vulnerabilidade Razoável :: Feições de totais: 1802, filtrado: 313, selecionado: 313

	Marc_Posta	Coleta	Debito	Codi_Car_1	VV_TOTAL_I	Rede_Esgo	Gale_Pluv	Boca_Lobo
1	POSTADO	NÃO	NÃO	580530136	0.00	SEM REDE DE ES...	SEM GALERIA PL...	SEM BOCA DE LO...
2	POSTADO	NÃO	SIM	580520345	1504.74	SEM REDE DE ES...	SEM GALERIA PL...	SEM BOCA DE LO...
3	POSTADO	NÃO	SIM	580520335	1504.74	SEM REDE DE ES...	SEM GALERIA PL...	SEM BOCA DE LO...
4	POSTADO	NÃO	SIM	580520355	1504.74	SEM REDE DE ES...	SEM GALERIA PL...	SEM BOCA DE LO...
5	POSTADO	NÃO	SIM	580520435	1504.74	SEM REDE DE ES...	SEM GALERIA PL...	SEM BOCA DE LO...
6	POSTADO	NÃO	SIM	580520425	1504.74	SEM REDE DE ES...	SEM GALERIA PL...	SEM BOCA DE LO...

Filtro avançado (Expressão) "Rede_Esgo" = 'SEM REDE DE ESGOTO' AND "Coleta" = 'NÃO'

Figura 4a – Consulta por atributos aos lotes onde não tem rede de esgoto nem coleta de lixo.

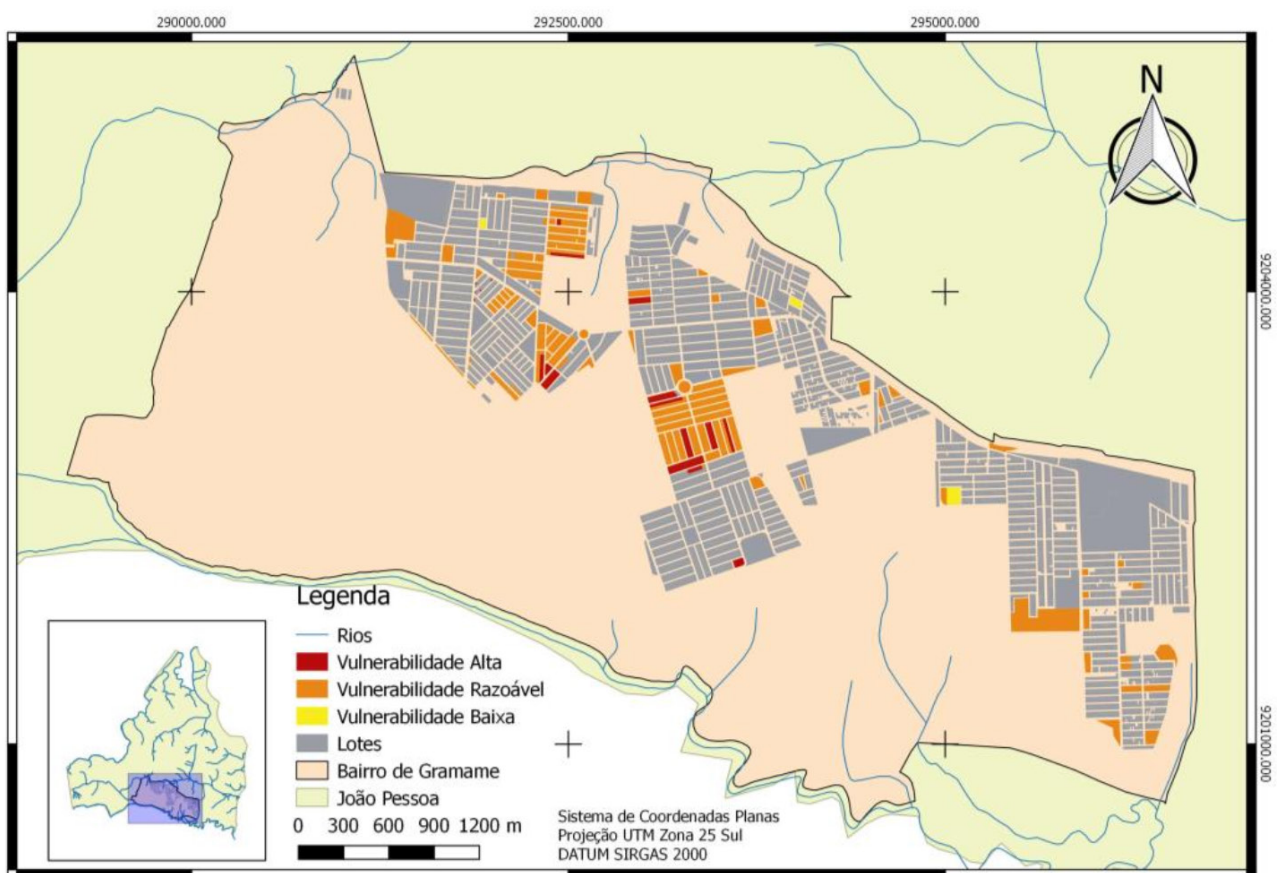


Figura 4b – Mapa dos lotes com alta vulnerabilidade à ocupação irregular.

Por último foi feita uma sobreposição dos lotes à declividade do terreno no bairro de Gramame. A declividade foi gerada (Figura 5) a partir de dados SRTM/TOPODATA e se verificou que em sua grande maioria, o terreno é plano.

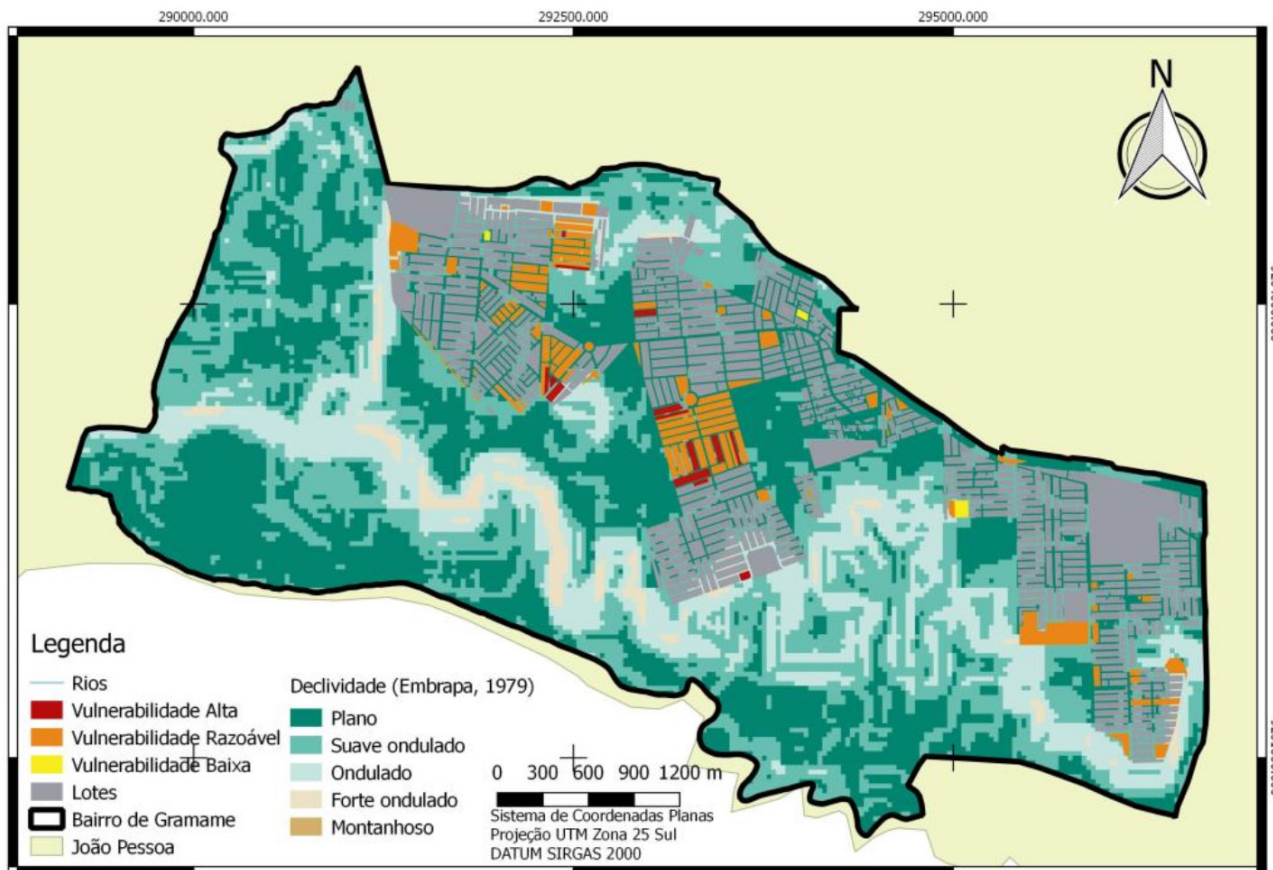


Figura 5 – Declividade do terreno no bairro de Gramame subposta aos lotes.

Para quantificar os lotes vulneráveis, tem-se que: cinco lotes foram considerados de baixa vulnerabilidade; 1.489 de susceptibilidade razoável e 313 de alta susceptibilidade. Praticamente todos os lotes públicos estão localizados sobre terreno plano ou suave ondulado, estando apenas 127 sobre relevo ondulado.

4 | CONCLUSÃO

A partir da metodologia proposta é possível identificar lotes públicos sem uso ou função social, que podem ser aproveitados para servir à população de modo legal ou que podem estar susceptíveis a ocupações irregulares. No entanto, é extremamente importante que a base de dados esteja sempre atualizada para fundamentar a tomada de decisões pelo poder público, objetivando melhor gerir o patrimônio público.

Ressalta-se também a intenção de otimizar a gestão deste patrimônio, especialmente no tocante à moradia urbana, que se põe como uma questão bastante complexa e carente no Brasil, que envolve uma série de questões socioeconômicas não abordadas aqui.

REFERÊNCIAS

BAILEY, T.C. In Spatial Analysis and GIS. London: Taylor and Francis. 1994.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa, censo demográfico, 2010.

KORTE, G. B. The Gis Book. 5 ed. [S.l]: [s.n.], 2001. ISBN 0766828204.

LEITE, M. E. Geotecnologias Aplicadas ao Estudo de Formação e de Risco Ambiental das Favelas de Montes Claros/MG. Revista Ra'e Ga - O Espaço Geográfico em Análise 24, p. 176 -198. Curitiba, Departamento de Geografia – UFPR.

PINTO, V. C. (2003). Ocupação irregular do solo urbano: o papel da legislação. Disponível em: <<http://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/137>>. Acesso em 23/05/2018.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: um retrato atual. Revista Fator GIS. Sagres Cartografia e Editora, Curitiba, PR, 2003, Ano 1, nº 2, p. 20-23.

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

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

RESUMO: O bioma amazônico possui uma ampla variedade de ecossistemas, tais como: floresta de várzea, floresta de terras altas, igapós, campos lavrados, várzeas e cerrado. Para a floresta, estudos têm sido desenvolvidos no campo científico utilizando diversos métodos de classificação de imagens de satélite baseados em suas características texturais. Estas são importantes fontes de informação para os processos de análises e interpretação de produtos gerados por sensores ópticos. Neste trabalho, nós mostramos resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia desenvolvida pelo DETEX (Programa de Monitoramento de exploração florestal da Amazônia) aliada a técnica de medidas texturais utilizando a matriz de co-ocorrência na FLONA (Floresta Nacional do Tapajós-PA) antes da exploração florestal, em 2014 e após, em 2015. Esta pode ser considerada como uma classe inicial para a sua posterior

conversão em degradação, ou diretamente para corte raso, podendo ser utilizada para a implantação da agropecuária, mapeadas pelos programas PRODES, DETER-B e TerraClass, respectivamente. Os resultados obtidos do fusionamento das imagens do satélite Landsat 8 (Sensor OLI) demonstraram a relação entre algumas variáveis texturais obtidas da textura de Haralick e o grau de exploração aplicado, obtidos por meio da mensuração da área basal remanescente (G , m^2/ha). Baseado nos resultados, foi possível estabelecer que antes da exploração florestal as árvores do estrato dominante ($DAP \geq 40cm$) foram importantes na detecção, enquanto que após a exploração florestal as árvores emergentes ($DAP \geq 60cm$) foram fundamentais para a verificação da atividade na floresta.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto, processamento de imagem, textura de Haralick, corte seletivo, manejo florestal.

ABSTRACT: The Amazon Biome has a wide variety of ecosystems, such as: flooded forests, dry land, igapós, open fields, floodplains and cerrado. For forest studies, what has been used in the scientific field are several methods of satellites images classification based on textural characteristics. The texture characteristics are an important source of information for the analysis and interpretation process of products

generated by optical sensors. We show results obtained through the application of the mapping methodology developed by DETEX (Detection of Selective Logging) and the textural measures using a co-occurrence matrix, in the study area of FNT (Tapajós National Forest -PA), having as a temporal cut the years of 2014, before the forest exploitation and 2015, the year post logging. This can be considered as an initial class to subsequent conversion in degradation, or directly in clearcut, can be used to agropastoralism, mapped to PRODES, DETER-B and TerraClass programs, respectively. The results obtained from the fused images of the Landsat 8 satellite (OLI Sensor) demonstrated a relation between some textural variables obtained by the Haralick texture and the forest exploitation degree applied, measured by the remaining basal area (G, m²/ha). Based on the results, it was possible to establish that before the logging the trees from the dominant extract (DBH \geq 40cm) were important in the detection result, whereas when some individuals (2015) were extracted, the dominant trees (DBH \geq 60cm) were fundamental for the verification of low impact logging activity in the forest.

KEYWORDS: remote sensing, image processing, Haralick texture, selective logging, forest management.

1 | INTRODUÇÃO

A Amazônia Legal se constitui enquanto uma área de fronteira, onde os processos de ocupação e a dinâmica de uso da terra ocorrem de forma dinâmica, é a maior área de floresta tropical úmida contínua em termos de biodiversidade e cobertura vegetal (FAO, 2005). Assim, a incorporação de áreas florestadas ao sistema produtivo na Amazônia é um processo recorrente e histórico (Lombardo & Venturieri, 2004). Neste contexto, a exploração ilegal de madeira é uma das maiores causas da degradação florestal na Amazônia, apesar dos esforços na fiscalização por parte dos órgãos ambientais e que, em muitos casos são convertidos diretamente para desmatamentos ilegais (Pinheiro et al., 2016; Souza et al., 2018 no prelo), mapeadas pelo PRODES (INPE, 2008) ou primeiramente utilizadas como pastagem, monitoradas pelo programa TerraClass (Almeida et al., 2016). Assim, se faz necessário o estabelecimento de diretrizes para o uso sustentável da floresta, já que a mesma possui um potencial madeireiro estimado em 60 milhões de metros cúbicos de madeira em tora, com valor econômico potencial de quatro trilhões de reais (Castro, 2012). O Corte Seletivo de madeira se constitui na retirada de indivíduos arbóreos com alto valor comercial (Sabogal et al., 2009), preconizado por um sistema silvicultural definido dentro de um plano de manejo previamente aprovado. A execução da exploração florestal seguindo um plano de manejo, é em grande parte dos casos, o responsável pela estrutura geográfica de disposição da infraestrutura para tal, com pátios de estocagem com dimensão e distância semelhantes, estradas e ramais planejados, ao contrário da extração de madeira sem planejamento prévio, refletindo em uma estrutura aleatória

das áreas exploradas, conforme pode ser verificado em estudos de identificação de áreas exploradas na Amazônia, utilizando técnicas de sensoriamento remoto (Asner et al., 2005; Matricardi et al., 2005, 2013; Luz et al., 2013).

Os satélites de sensores de média resolução espacial, em especial da série Landsat, possuem relevância em mapeamentos de áreas com atividade de exploração florestal, principalmente devido à gratuidade na distribuição de suas cenas de ambientes tropicais como Amazônia, cujas características permitem uma melhor caracterização da dinâmica de transição da paisagem. No contexto da exploração florestal, o INPE realiza o mapeamento e o seu monitoramento, quantificando, qualificando e testando novas técnicas na detecção destas atividades por meio da metodologia do programa de Detecção da Exploração Seletiva de Madeira (DETEX).

Assim, para se entender o processo de exploração seletiva em um ambiente controlado, com plano de manejo licenciado, principalmente em áreas com grande extensão territorial como em alguns trechos concedidos na Floresta Nacional do Tapajós (FNT), técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto e sistema de informações geográficas, assumem papel estratégico na sua avaliação.

Portanto, o objetivo deste trabalho consiste em apresentar uma metodologia de extração de valores estruturais da floresta, a partir de dados texturais baseados em técnicas de processamento digital de imagens e análises estatísticas para sua qualificação. É importante ressaltar que, este trabalho tem como área de estudo parcelas experimentais da Empresa de Pesquisa Agropecuária da Amazônia Oriental – Embrapa Amazônia Oriental, localizadas na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA do Tapajós), visando auxiliar na produção técnico-científicos de ações de uso sustentável, proteção ao meio ambiente, desenvolvimento econômico e social na Floresta Nacional do Tapajós.

2 | METODOLOGIA DE ANÁLISE PARA EXPLORAÇÃO FLORESTAL LICENCIADA

A Floresta Nacional do Tapajós (FNT) está localizada no estado do Pará entre os paralelos de 2° 45' e 4° 10' de latitude sul e entre os meridianos de 54°45" e 55° 30' de longitude oeste. Constitui-se em uma Unidade de Conservação tendo sido criada por meio do Decreto 73.684 de 19 de fevereiro de 1974, estando situada na região do Baixo Amazonas, no oeste do estado. A unidade possui os seguintes limites: a oeste, Rio Tapajós; a leste, a Rodovia BR-163; ao norte, a linha seca que passa pelo marco 50 da Rodovia BR-163; ao sul, o rio Cupari. Possui área de aproximadamente 544 mil hectares é abrangida pelos municípios de Santarém, Belterra, Aveiro, Placas e Rurópolis (Figura 1).

Esta Unidade de Conservação apresenta tipologia vegetal de floresta ombrófila densa, proposta por Veloso (1991), com vegetação caracterizada pela dominância de árvores grandes de porte sob regime climático de elevadas temperaturas e precipitações intensas distribuídas ao longo do ano e é inclusa na categoria de Unidade de Uso

Sustentável.

Desde a década de 70 a Embrapa desenvolve diferentes pesquisas relacionadas ao uso e a conservação da floresta local, notadamente, estudos de exploração madeireira e de dinâmica florestal. O sítio deste estudo, km 67, possui cinco diferentes áreas de observação: parcela 1 - explorada no final do ano de 2014 com teste de sistema de manejo baseado na regulação da produção pelo incremento volumétrico; parcela 2 e 3 – explorada em 1979 com intensidade de exploração acima de 70m²/ha com teste de diferentes diâmetros mínimos de exploração, respectivamente 55 e 45 cm de DAP, sendo que a parcela 3 foi novamente explorada ao final do ano de 2014, dando início ao segundo ciclo de corte da área; parcela 4 e 5 – áreas de monitoramento da dinâmica da floresta sem exploração.

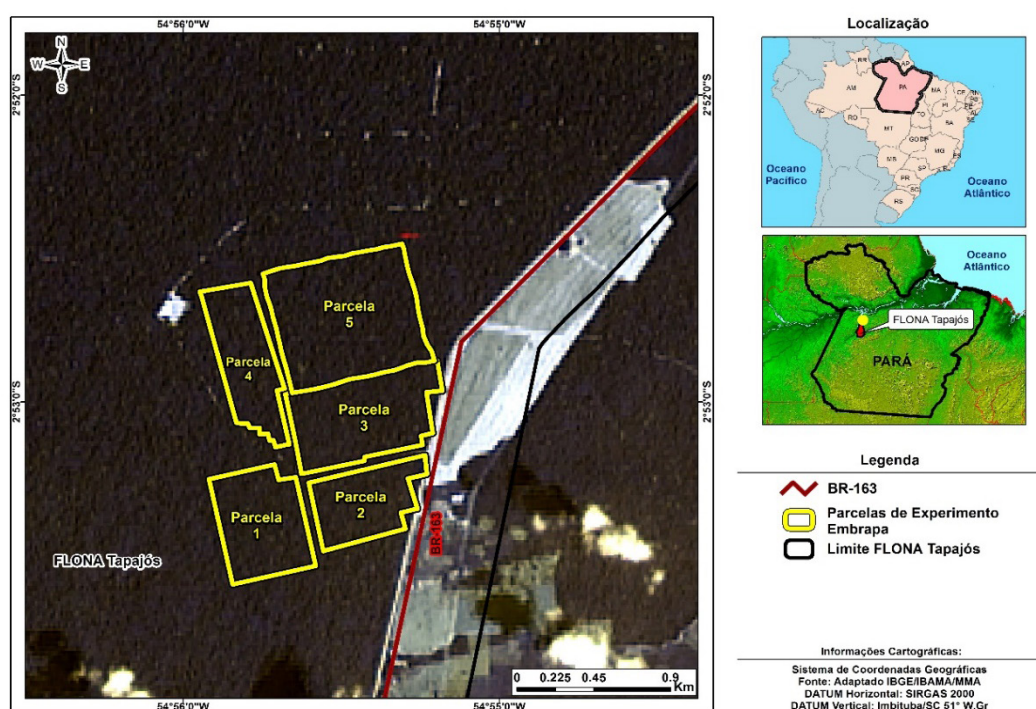


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, ao fundo a imagem do satélite Landsat 8, sensor OLI, fusionada para 15 metros de resolução espacial. Localização das parcelas, às margens da BR-163, no KM-67 no interior da FNT.

As imagens georreferenciadas e transformadas para reflectância no topo da atmosfera, no catálogo do serviço geológico americano (USGS), disponível em <http://earthexplorer.usgs.gov/>, foram baixadas. Após, foi realizado a fusão das bandas multispectrais 6,5,4 com banda 8 pancromática, no software ENVI 4.7 EXELISVIS (2016), pelo método *Pan-sharpening*, com o objetivo de melhorar a resolução espacial das cenas de 30 m para 15 m, e consequente discriminação das feições mapeadas.

Em seguida, a imagem fusionada foi incorporada a um banco de dados multiusuário no software Terra Amazon 4.6.2 (FUNCATE, 2016), e aplicada a metodologia do DETEX: Detecção de Exploração Madeireira baseado em imagens de satélites (Guimarães & Gomes, 2012). Para isto, foi aplicado o modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), para separar três componentes principais, solo, sombra e vegetação proporcionalmente contidas em cada pixel, provenientes da integração

da radiância dos elementos captados pelo sensor em cada elemento de resolução (Shimabukuro e Smith, 1991), realçando as áreas de extração seletiva de madeira.

Após, foi realizada a operação aritmética da razão entre os componentes solo e vegetação extraídos do modelo de mistura acrescidas de ganho e *Offset* (Figura 2).

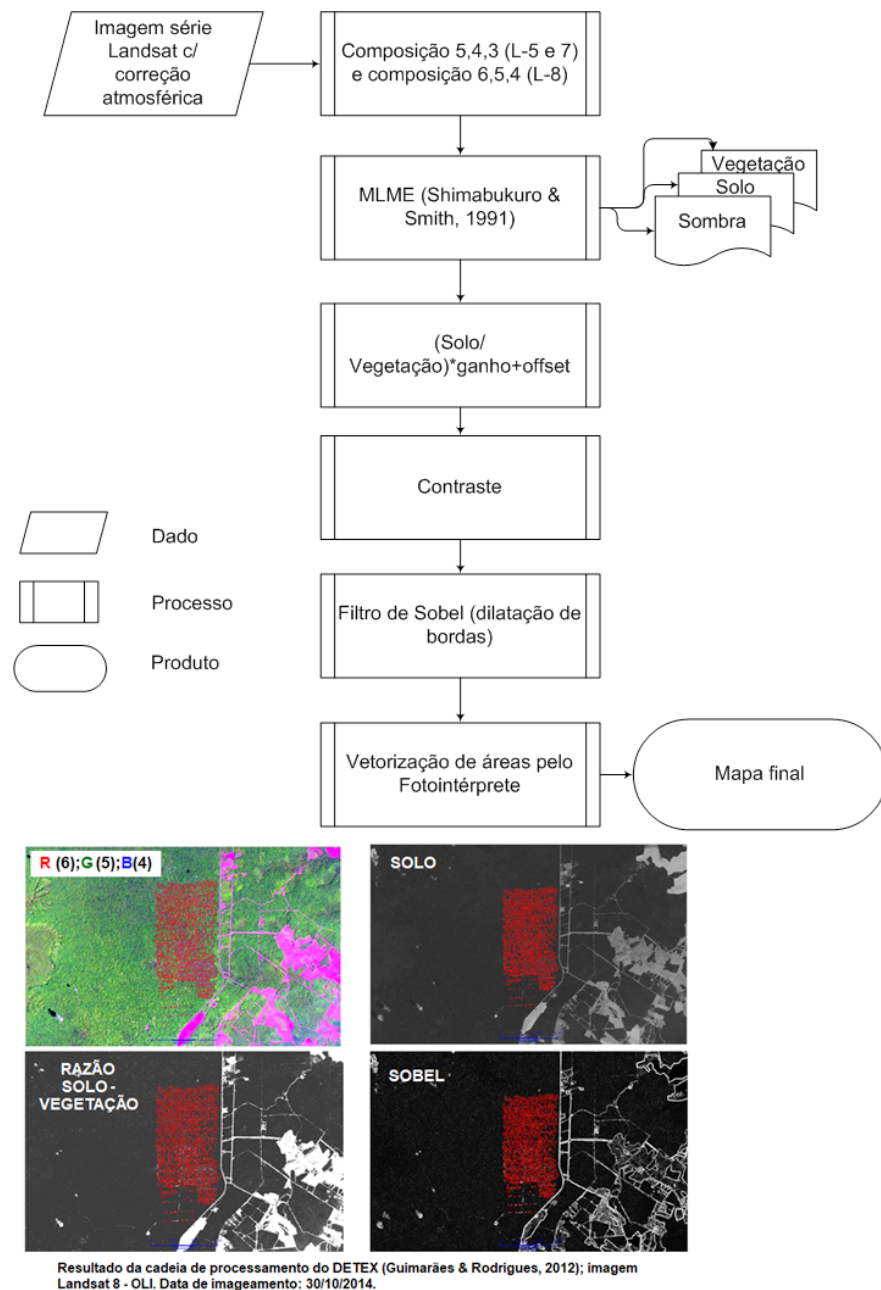


Figura 2. Metodologia desenvolvida para o programa de monitoramento de exploração florestal na Amazônia (Programa DETEX), proposto por Guimarães & Rodrigues (2012).

De posse dessas imagens extraiu-se as métricas texturais propostas por Haralick (Haralick et al., 1973). O algoritmo proposto por Haralick et al., 1973 é o mais comum para medição de textura de imagens ópticas, este demonstra que cada elemento da matriz de co-ocorrência dos níveis de cinza (GLCM – *Grey levels co occurrence matrix*) é uma medida de probabilidade de uma ocorrência de dois valores de níveis de cinza, separados por uma distância dado em um dado sentido, tendo estabelecido quatorze medidas descritoras da matriz de co-ocorrência (Figura 3).

Janela base (Dimensão 3x3)			Janela deslocada (Direção 1x1)		
1	2	3	11	12	13
10	11	12	20	21	22
19	20	21	29	30	31

Representação gráfica da matriz de co-ocorrência

Níveis de cinza hipotéticos	1	2	3	4	5
	10	11	12	13	14
19	20	21	22	23	
28	29	30	31	32	
37	38	39	40	41	

Figura 3. Representação esquemática da matriz de co-ocorrência, baseado na metodologia proposta por Haralick et al. (1973).

A fase posterior consistiu na tabulação dos dados extraídos das métricas texturais, para isso foi utilizado diversas técnicas de geoprocessamento por meio dos softwares Quantum Gis e posteriormente o Postgre com linguagem de banco de dados SQL, para união das tabelas.

A terceira fase foi desenvolvida com o levantamento de informações de localização e, parâmetros dendrométricos e estruturais de todos os indivíduos arbóreos inventariados na área de estudo (Mazzei & Ruschel, 2014), sendo que dois diâmetros mínimos de inclusão de árvores foram testados: diâmetro à altura do peito (DAP) superior a 40 e 60 cm, onde o menor limite de diâmetro estabelecido denota as árvores dominantes e emergentes, enquanto que para os diâmetros maiores, apenas as árvores emergentes foram consideradas (Figura 4).

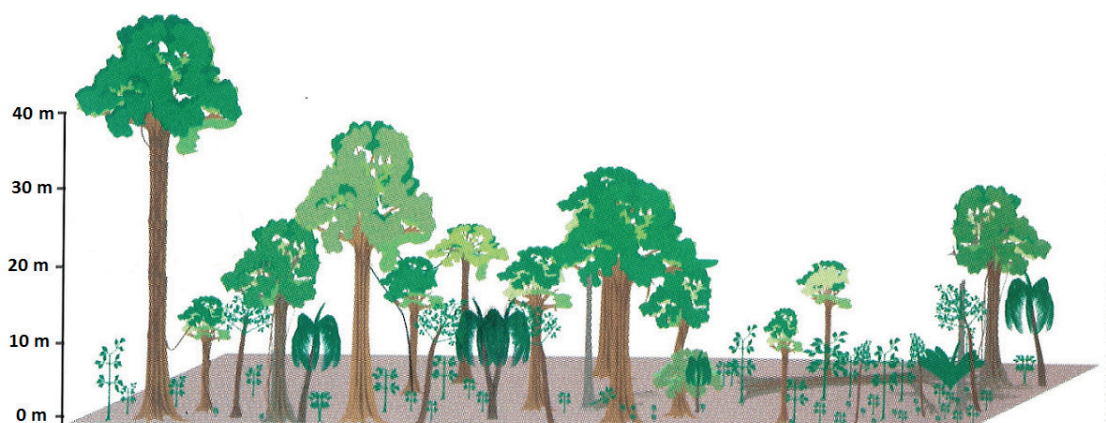


Figura 4. Perfil típico de floresta tropical com árvores emergentes, dominantes e de sub-bosque apresentando áreas de clareira, em sucessão e madura. Adaptado de Silva et al. (2005).

Por fim, os dados foram exportados para uma planilha eletrônica para a geração das estatísticas descritivas estabelecidas nesta análise (Figura 5).

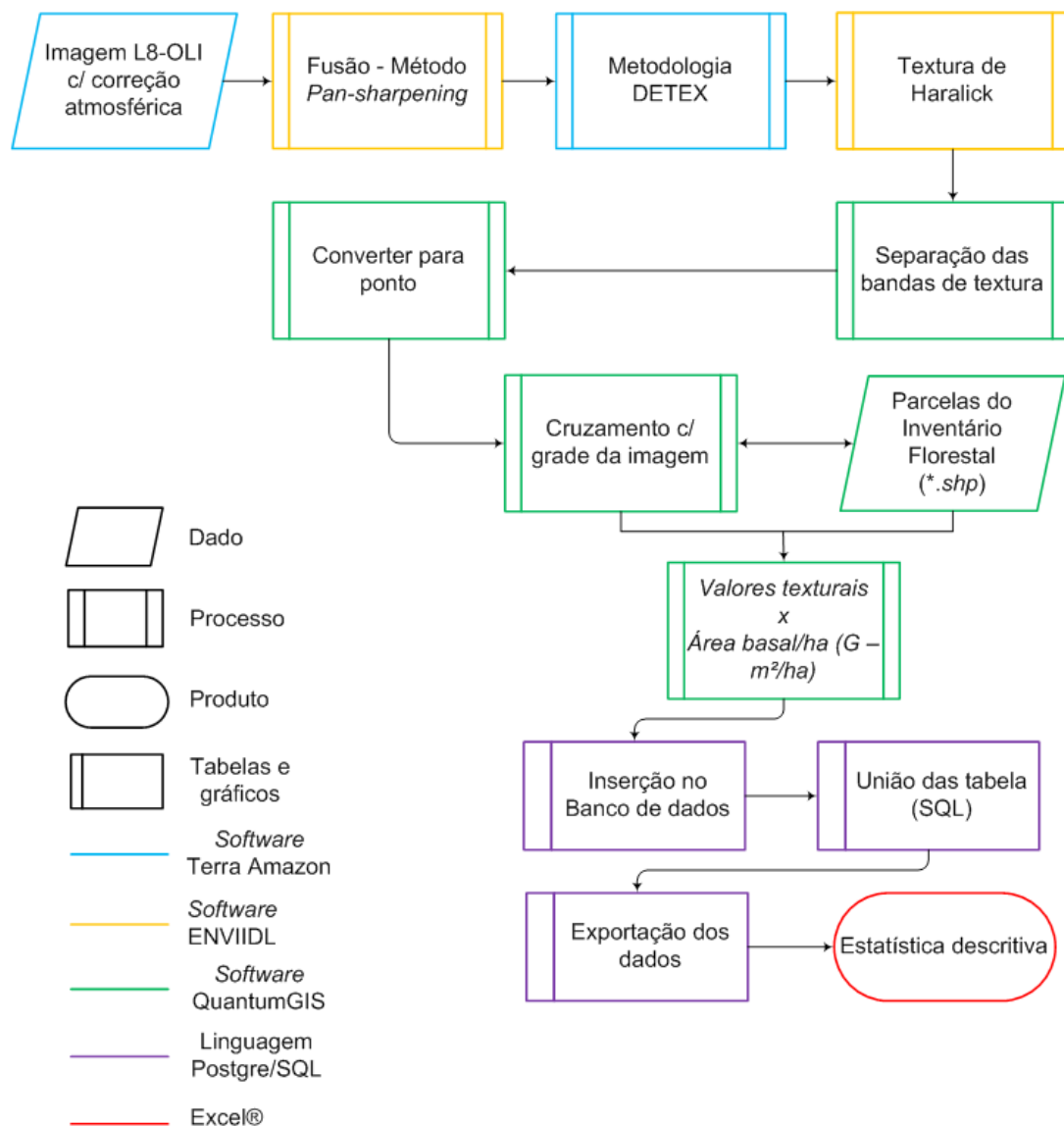


Figura 5. Proposta metodológica para o monitoramento de exploração licenciada em uma área experimental da EMBRAPA-CPATU, na FLONA do Tapajós-PA.

2.2.1 Inventário Florestal

Neste estudo as informações estruturais coletadas em campo (inventário florestal), foram correlacionadas com as medidas de textura extraídas das imagens do satélite Landsat 8 do sensor OLI para os anos de 2014 (antes exploração florestal) e 2015 (pós exploração) processadas com base na metodologia DETEX.

Desta forma, procedeu-se a análise dos dados utilizando o software livre Quantum GIS para a extração das informações texturais contidas nas imagens processadas. Os dados gerados foram recortados pelos arquivos vetoriais, materializados por meio de GPS de navegação, dos vértices das parcelas (50 x 50 m) e assim extraídos os valores de nível de cinza de cada pixel referente a cada unidade amostral.

Posteriormente, os níveis de cinza foram correlacionados com a área basal remanescente dos inventários florestais de 12 parcelas. A área basal remanescente (G, em m²) das parcelas (Equação 1), foi obtida a partir da soma da secção transversal de árvores com DAP ≥40 ou ≥ 60 cm, possuindo copa com iluminação parcial e

total, indicando que estes indivíduos possuem área livre de copa no dossel da floresta totalmente e/ou parcialmente iluminadas (Silva et al., 2005) e posteriormente ponderadas por hectare. Os valores obtidos para todas as parcelas podem ser vistos nas Figuras 6a e 6b.

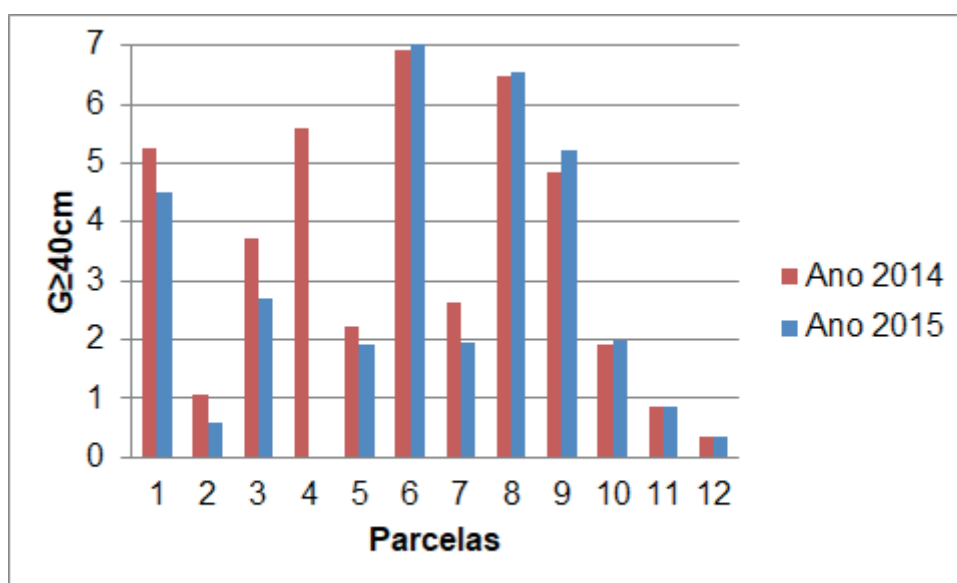
$$G = \pi \cdot (DAP)^2 / 4 \quad \text{Equação 1}$$

Onde: DAP = diâmetro do tronco medido à altura do peito (m);

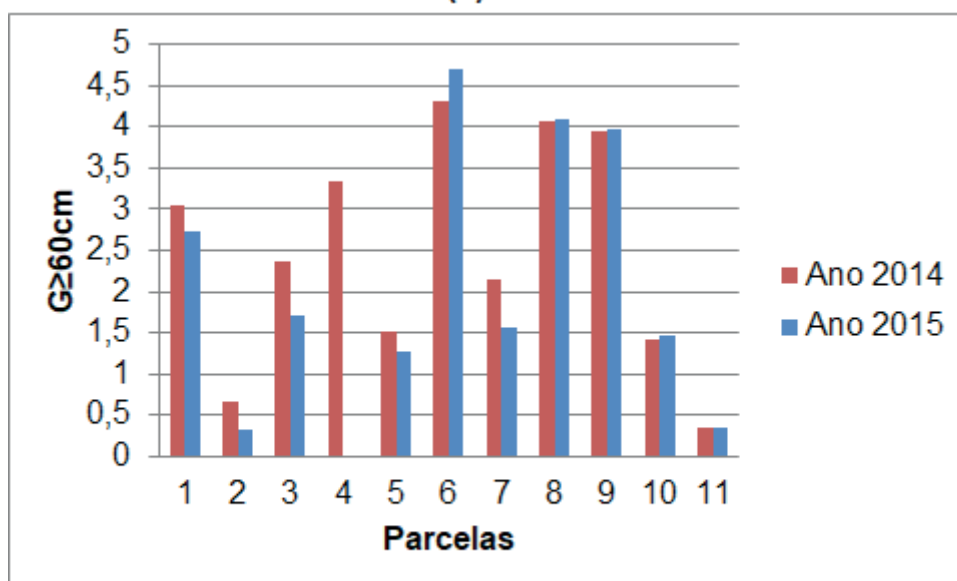
G = área basal (m²);

π = razão entre o perímetro e diâmetro de uma circunferência ($\approx 3,1415169$).

A análise estatística se deu pela relação da média de nível de cinza dos atributos texturais e a somatória da área basal remanescente (m²/ha) em cada unidade de amostral (n=12), para o cálculo do coeficiente de determinação (R²) e o teste de significância ANOVA com valor de F (Neter et al., 1996).



(a)



(b)

Figura 6. Distribuição da área basal remanescente das parcelas, no experimento da EMBRAPA, Km 67 da Flona do Tapajós para G (m²/ha) ≥ 40cm (a) e; para G(m²/ha) ≥ 60cm (b). Valores calculados para indivíduos com DAP > 40 cm e >60m, respectivamente em 2014 e 2015.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre quatorze medidas texturais propostas por Haralick et al. (1973) foram escolhidas apenas cinco, consideradas as mais adequadas por Sette (2009) para esse tipo de mapeamento, as quais foram: contraste (COM), correlação (COR), entropia (ENT), homogeneidade e segundo momento angular (SMA).

Os resultados obtidos entre a área basal remanescente, ou seja, a ocupação do espaço da floresta e por consequência as clareiras decorrentes da exploração florestal e os valores de textura de Haralick são demonstrados na Tabela 1.

Ano 2014 (antes da exploração)		Contraste	Correlação	Entropia	Homogeneidade	Segundo Momento Angular (SMA)
DAP ≥40cm	Janela	7x7	7x7	3x3	7x7	3x3
	Direção	0x3	1x1	5x5	0x3	5x5
	R ²	*0,32	*0,42	*0,26	**0,36	*0,36
DAP ≥ 60cm	Janela	9x9	3x3	9x9	11x11	3x3
	Direção	5x5	0x3	5x5	5x5	5x5
	R ²	**0,30	**0,32	*0,24	**0,30	**0,29
Ano 2015 (após a exploração)		Contraste	Correlação	Entropia	Homogeneidade	Segundo Momento Angular (SMA)
DAP ≥ 40cm	Janela	11x11	3x3	7x7	11x11	7x7
	Direção	1x1	5x5	1x1	1x1	3x3
	R ²	*0,15	**0,03	*0,14	**0,10	**0,03
DAP ≥60cm	Janela	3x3	11x11	11x11	11x11	7x7
	Direção	5x5	0x3	5x5	5x5	2x2
	R ²	*0,33	*0,05	**0,12	*0,14	**0,06

Tabela 1. Resultados obtidos em função da textura de Haralick com a matriz de co-ocorrência, com janelas e direções distintas. Os valores de R² em negrito, são valores de maiores significâncias, adotando p<0,05.

*Valores p<0,05 com significância estatística; ** Valores de p>0,05 não significativos.

A textura de Haralick mostrou relação com dados de área basal para indivíduos com diâmetro superiores a DAP ≥ 40 cm estatisticamente significativos para as variáveis correlações, SMA e contraste nas direções 1x1, 5x5 e 0x3, respectivamente, em áreas antes da atividade de exploração florestal (2014), demonstrando que para dosséis mais fechados a contribuição de indivíduos de estratos superiores são similares às emergentes na floresta. Estes valores foram similares aos encontrados por De Almeida (2009) o qual encontrou valores estatisticamente significativos em floresta de Mata Atlântica, no sul da Bahia, o qual também correlacionou variáveis texturais com valores de área basal em diferentes estágios de sucessão e encontrou resultados similares para os diferentes estágios de regeneração, embora tenham sido próximos aos encontrados no presente artigo.

Já para o ano de 2015 (após a exploração florestal), os melhores resultados foram de R², constatados para valores de área basal de árvores com DAP ≥ 60cm

foram de 0,33 e 0,14, para Contraste e Homogeneidade, respectivamente. Embora os valores de coeficiente de determinação tenham sido inferiores, a relação com a área basal remanescente para indivíduos com DAP \geq 60 cm comprovou que os indivíduos remanescentes do extrato emergente na floresta foram mais importantes para o entendimento do comportamento da exploração florestal, tendência corroborada por Cordeiro et al. (2017), utilizando técnica semelhante, todavia sem a utilização do fusionamento da imagem Landsat, na mesma área de pesquisa de nossa análise.

Na maioria dos casos, os tamanhos de janelas pequenos utilizados deram uma melhor resposta, todavia Nascimento (2003) comprovou através de seu trabalho que janelas maiores são responsáveis pela melhora na classificação de área de floresta quando se utiliza matriz de co-ocorrência de níveis de cinza, baseados em características texturais.

Os coeficientes de determinação indicaram que, os valores da proporção da variância da variável dependente (área basal remanescente) em torno de sua média, pode ser explicada satisfatoriamente pelas variáveis explicativas (textura de Haralick), pois os resultados encontrados antes e após a exploração florestal foram considerados significativos com probabilidade de confiança ($\alpha = 95\%$).

Apesar de analisar apenas áreas de exploração licenciadas, há diversos estudos que utilizam metodologias diferenciadas com imagens de média resolução espacial, sobretudo da série Landsat para a determinação da dinâmica da exploração florestal na Amazônia Asner et al. (2005), bem como estudos com metodologia capaz de diferenciar áreas sob diferentes intensidades de manejo (Tritsch et al., 2016).

O futuro deste projeto, o qual tem a metodologia alicerçada no DETEX (Guimarães & Gomes, 2012) é tornar operacional este programa de monitoramento anual da Amazônia Legal. Esta análise multitemporal é fundamental para que políticas públicas de exploração e concessão florestal possam ser efetuadas, além de concessões florestais em Florestas Nacionais, até o momento realizadas nas FLONAS de Caxiuanã, Altamira, Crepori, Saracá-Taquera e Saracá-Taquera– Lote Sul, no estado Pará e Jacundá e Jamari, em Rondônia, efetuadas pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB- <http://www.florestal.gov.br/florestas-sob-concessao>), como nas demais áreas com floresta na Amazônia, como pode ser visto no estudo de Asner et al. (2005) – Figura 7.

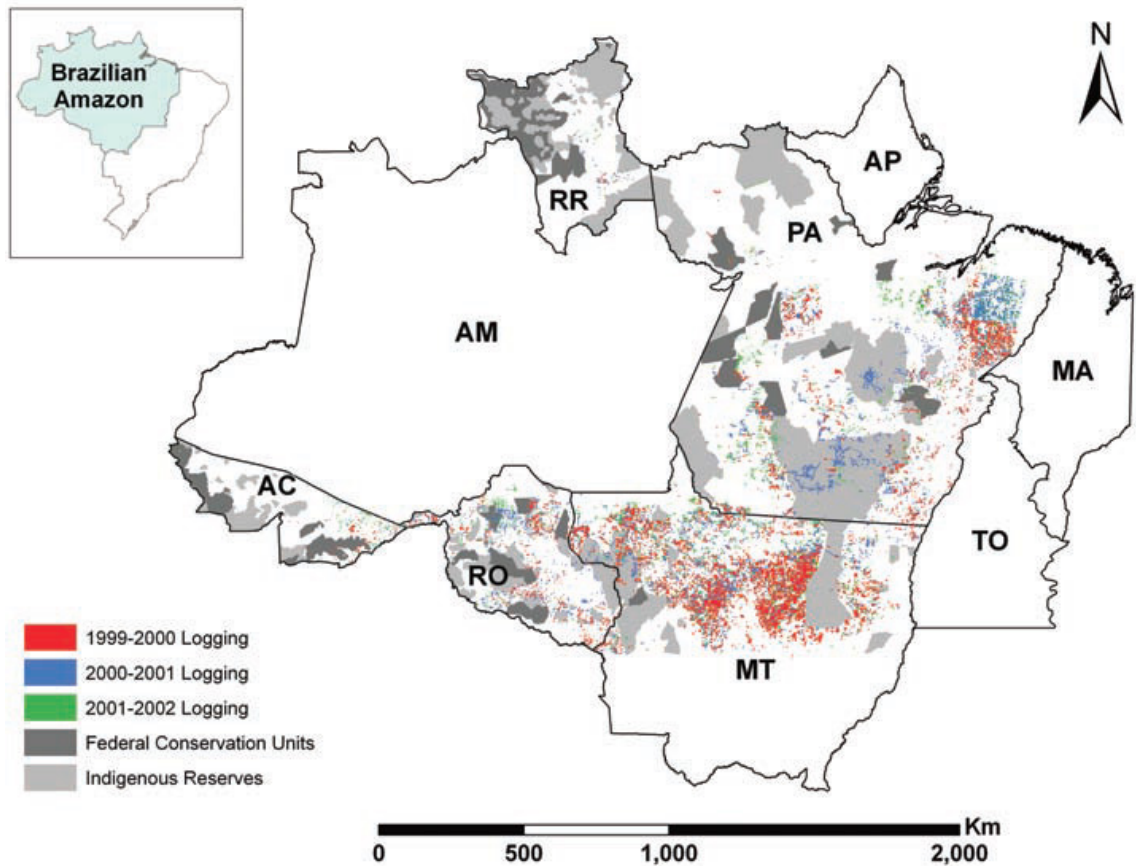
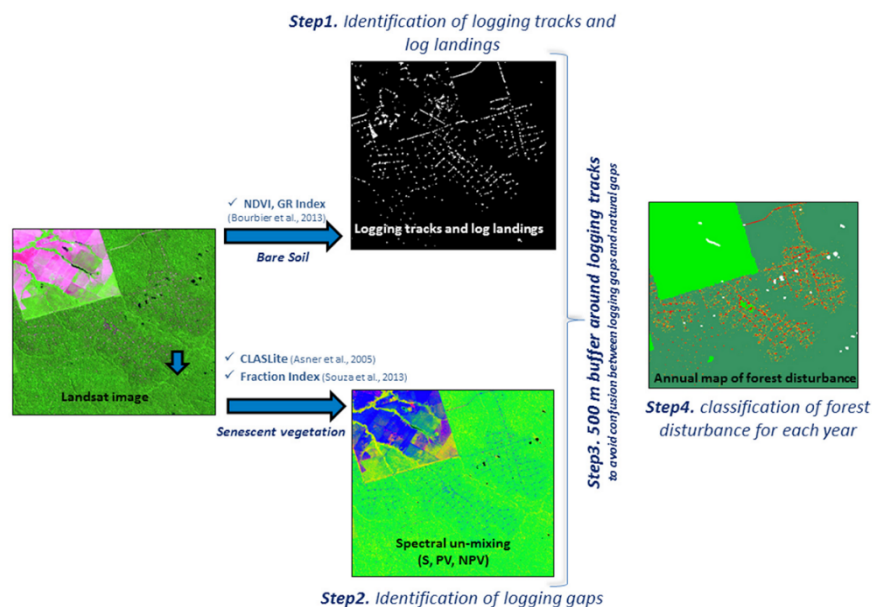
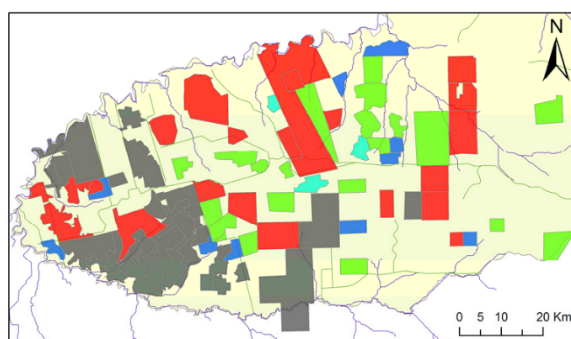


Figura 7. Distribuição espacial do corte seletivo em 5 áreas de exploração florestal na Amazônia Brasileira. Os estados do Amazonas, Amapá, Tocantins e Maranhão não foram incluídos nesta análise. Áreas em cinza claro mostram a extensão das reservas indígenas; áreas delineadas em cinza escuro correspondem as áreas de conservação federal (Instituto Sócioambiental, 1999). Fonte: Extraído de Asner et al. (2005).

Desta forma, não apenas os dados de desmatamento fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), desde a década de 80 (INPE, 2008), estabelecido como dado base na elaboração do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm), o qual demonstrou-se eficaz na redução do desmatamento a partir de sua implantação em 2004. Como esta atividade é em muitos casos precedida da exploração florestal (Pinheiro et al., 2016; Souza et al., 2018, no prelo), é esperado que o seu monitoramento em toda a Amazônia e, se for o caso o acompanhamento sistemático via sensoriamento remoto da concessão florestal, poderá se consolidar em uma variável importante para a manutenção das **áreas** florestais. Para este fim, Tritsch et al. (2016) estabeleceram uma metodologia alternativa de monitoramento capaz de mapear diferentes intensidades de manejo, desde o manejo com exploração de impacto reduzido (RIL = *Reduced Impact Logging*) até práticas de exploração convencional (CNV = *conventional management practices*) - (Figura 8), este último considerado pelos autores com formas de distúrbio florestal em diferentes intensidades de degradação, medidas de acordo com o grau de abertura da copa e com a frequência deste evento ao longo de todo período de análise.



(A)



Legend

- Different patterns of forest disturbance**
- Pattern 1 - Low impacted plots
 - Pattern 2 - Moderately impacted plots
 - Pattern 3 - Intensively impacted plots
 - Pattern 4 - Very frequently degraded plots
 - Pattern 5 - Very intensively degraded plots
 - Main roads
 - Main rivers

(B)

Figura 8. Metodologia de análise da exploração florestal proposta por Tritsch et al. (2016) (a) e o resultado gerado para cada intensidade de manejo realizada em uma unidade experimental em Paragominas-PA.

Neste estudo, os autores concluíram que os indicadores dos distúrbios florestais fornecem parâmetros chaves para o entendimento dos diferentes padrões de exploração florestal, e que isto, quando associado ao Sistema de Informações Geográficas (SIG) e ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), oferecem uma ferramenta aplicada ao entendimento dos impactos e das responsabilidades de diferentes práticas de usos e atores envolvidos na modelagem da paisagem florestal atual.

4 | CONCLUSÕES

Com base nos resultados pode-se considerar que as técnicas de filtros texturais proposto por Haralick demonstram resultados satisfatórios, permitindo que a

metodologia proposta possa ser replicada para outros ambientes de estudo por serem fundamentadas em levantamento de parâmetros em campo, extração das medidas de textura e análise de estatísticas descritivas;

A remoção da área basal causada pela exploração florestal licenciada foi perceptível ao se utilizar a textura de Haralick aplicada a metodologia de detecção de áreas de exploração florestal realizada no DETEX;

As menores direções de deslocamento das janelas de filtros texturais foram as que obtiveram melhores resultados no monitoramento das áreas antes e após a exploração florestal, pois os menores deslocamentos de janelas com diferentes dimensões, são mais eficazes no monitoramento da infraestrutura de exploração e das áreas onde indivíduos de interesse comercial foram removidos, de acordo com a área basal remanescente;

Em áreas de exploração licenciada, antes da atividade de exploração florestal (2014), além dos dosséis mais fechados, as contribuições de indivíduos de estratos superiores são similares às árvores emergentes na floresta, enquanto que os indivíduos remanescentes do extrato emergente na floresta foram mais importantes para o entendimento do comportamento após a exploração florestal em 2015;

Espera-se que com os resultados obtidos, se possa contribuir de forma significativa para o estudo espacial dos ambientes florestais podendo proporcionar eficiência e rapidez em estudos de vegetação, contribuindo assim para o monitoramento das florestas já exploradas.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE) pelo financiamento desta publicação e a Empresa Amazônia Oriental (CPATU) pela disponibilização dos dados de inventário nas áreas de exploração florestal.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. A. D., COUTINHO, A. C., ESQUERDO, J. C. D. M., ADAMI, M., VENTURIERI, A., DINIZ, C. G., ... & GOMES, A. R. (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 Amazônica, v.46, n.3, p.291-302. 2016.

ASNER, G. P., KNAPP, D. E., BROADBENT, E. N., OLIVEIRA, P. J. C., KELLER, M.: SILVA, J. N. **Selective logging in the Brazilian Amazon**. Science, 5747(310), 480–482, 2005.

BARBOSA, A. M.; SALUM, M. R. B.; ALMEIDA, C. A.; VALERIANO, D. M. **Identificação multitemporal da exploração seletiva de madeira na Floresta Nacional do Jamari – RO**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5625-5632. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. (INPE-15825-PRE/10435). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.18.35.53>>. Acesso em:

16 out. 2016.

CASTRO, T. N. **Análise de textura de imagem de alta resolução para classificação dos estágios sucessionais de mata Atlântica do Sul da Bahia**. 2012. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2012.

CORDEIRO, T. F., NARVAES, I. D. S., BUCHMANN, H. M., DE FREITAS, L. J. M., SAMPAIO, S. M. N., MAIA, J. S., ... & DE OLIVEIRA, R. R. S. **Feições de exploração florestal de impacto reduzido na Flona do Tapajós utilizando imagens Landsat e filtros texturais**. In: Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2017.

DE ALMEIDA, P. G. C. S. **Análise de textura de imagem de alta resolução para classificação dos estágios sucessionais de mata Atlântica do Sul da Bahia**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2009.

EXELISVIS. **ENVI versão 4.7**:EXELIS 2016. Disponível em: <http://www.exelisvis.com/ProductsServices/ENVIProducts/ENVI/ENVIModules.aspx>. Acesso em 18 out. 2016.

FAO – Food and Agriculture Organization. **Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005: 15 resultados claves**, Nações Unidas, 2005.

FUNCATE - Fundação de Ciência e Tecnologia Espaciais. **TerraAmazon 4.4.1, 2013**. São José dos Campos. <http://www3.funcate.org.br/geo//available/wiki-v01-TerraAmazon/pmwiki.php/Downloads/Downloads> Acesso em 18 out. 2016.

GUIMARÃES, U. S.; GOMES, A. R. “**Deteção de exploração seletiva de madeira utilizando os satélites Landsat 5 TM e Resourcesat 1 Liss-3 em áreas de manejo florestal do leste do estado do Acre, Brasil**”. In: **Symposium SELPLER**, 15, 2012, Cayenne – Guiana Francesa. Anais... Cayenne – Guiana Francesa, 2012.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K; DINSTEIN, I. **Textural features for image classification**. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, n. 6, p. 610-621, 1973.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Plano de Manejo 2004. Disponível em: <http://observatorio.wwf.org.br/site_media/upload/gestao/planoManejo/PM_flonatapajos.pdf>. Acesso em: Outubro 2016.

INPE. **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007-2008**. Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação, 47pp. 2008. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>

LUZ, N. C., BATISTA, D. A. A., MAIA, J. S., ADAMI, M., GOMES, A. R. Parâmetros de exploração maderera para la detección de corte selectivo en imagines de media resolución espacial En: **Latín American Remote Sensing Week (LARS) – Regional ISPRS Conference**, Santiago - Chile, 23-25 de octubre 2013.

MATRICARDI, E. A. T. S., D. L.; COCHRANE, M. A.; QI, J.; CHOMENTOWSKI, W. **Monitoring selective logging in tropical forest using Landsat: Multitemporal regional analyses in Mato Grosso, Brazil**. Earth Interactions, v.9, p.1-24. 2005.

MATRICARDI, E. A., SKOLE, D. L., PEDLOWSKI, M. A., & CHOMENTOWSKI, W. **Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data**. International Journal of Remote Sensing, v.34, n.4, p.1057-1086, 2013.

MAZZEI, L.; RUSCHEL, A. Estoque comercial para o segundo ciclo de corte na Floresta Nacional do Tapajós - área experimental KM 67 - Embrapa. In: SEMINÁRIO DE PESQUISAS CIENTÍFICAS DA

FLORESTA NACIONAL DO TAPAJÓS, 2., 2014, Santarém. Anais: Instituto Chico Mendes, 2014.

NASCIMENTO, J. P. R. **Análise e classificação de imagens baseadas em características de textura utilizando matrizes de co-ocorrência.** 2003. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2003.

NETER, J., KUTNER, M., NACHTSHEIM, C., and WASSERMAN, W. **Applied Linear Statistical Models**, McGraw-Hill Companies, Inc., NY, 1996.

PINHEIRO, T. F., ESCADA, M. I. S., VALERIANO, D. M., HOSTERT, P., GOLLNOW, F., & MÜLLER, H. **Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: The BR-163 region in southwestern Pará, Brazil.** Earth Interactions, v. 20, n.17, p.1-26, 2016.

SABOGAL, C.; POKORNY, B.; SILVA, J. N. M.; CARVALHO, J. O. P.; ZWEEDE, J.; PUERTA, R. **Diretrizes técnicas de manejo para a produção madeireira mecanizada em florestas de terra firme na Amazônia brasileira.** Belém, Para: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. 217 p.

SFB – Serviço Florestal Brasileiro. **Informe sobre concessões florestais federais.** Abril de 2018. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/documentos/concessoes-florestais/informe-concessoes-florestais-federais/3593-informe-concessoes-florestais-abril-de-2018/file>>.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. **The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data.** IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

SILVA, J. N. M., LOPES, C. A., DE OLIVEIRA, L. C., DA SILVA, S. M. A., DE CARVALHO, J. O. P., COSTA, D. H. M., ... & TAVARES, M. J. M. **Diretrizes para instalação e medição de parcelas permanentes em florestas naturais da Amazônia brasileira** (Nº. 634.9209811 D598). EMBRAPA Amazonia Oriental, Bélem, PA (Brasil) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF (Brasil) CIFOR, Belém (Brasil). 2005.

SOUZA, A. A. A.; PONTES, A. N.; ADAMI, M.; NARVAES, I. S. **A contribuição das estradas e o padrão de desflorestamento e degradação da cobertura florestal no sudoeste paraense.** Revista Brasileira de Cartografia (RBC), v.70, n.8, 2018. No prelo.

TRITSCH, I., SIST, P., NARVAES, I. S., MAZZEI, L., BLANC, L., BOURGOIN, C., ... & GOND, V. **Multiple patterns of forest disturbance and logging shape forest landscapes in Paragominas, Brazil.** Forests, v. 7, n.12, p. 315. 2016.

Unidades de Conservação no Brasil. Disponível em: <<https://uc.socioambiental.org/pt-br/uc/6476/>>. Acesso em: 13.out.2016.

VELOSO, H. P., RANGEL FILHO, A. L. R., & LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal.** Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. 1991.

VENTURIERI, A.; LOMBARDO, M. A.; LAQUES, A. E. **Utilização de modelos de paisagem na caracterização da frente pioneira do município de Uruará, Amazônia Oriental, Pará.** In: Magda Adelaide Lombardo; Lucia Helena de Oliveira Gerardi. (Org.). Sociedade e Natureza na visão da Geografia. Rio Claro: AGETEO, 2004, v., p. 47-61.

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

Alan dos Santos Pimentel

Unidade de Situação de Monitoramento
Hidrometeorológico do Acre
Rio Branco - Acre

Vera Lúcia Reis

Unidade de Situação de Monitoramento
Hidrometeorológico do Acre
Rio Branco - Acre

Ylza Marluce Silva de Lima

Universidade Federal do Acre – UFAC
Rio Branco - Acre

Luiz Alves dos Santos Neto

Serviço de Proteção da Amazônia – Sipam
Porto Velho – Rondônia

Diana de Souza Bezerra

Universidade Federal do Acre – UFAC
Rio Branco - Acre

Tatiane Mendonça de Lima

Universidade Federal do Acre – UFAC
Rio Branco – Acre

Irving Foster Brown

Universidade Federal do Acre - UFAC
Rio Branco – Acre

RESUMO: A Amazônia, em geral, e o Acre, em particular, têm sofrido anualmente com eventos climáticos extremos relacionados a variações nos níveis de chuvas e rios, e conseqüentemente com enchentes na estação úmida e problemas

de abastecimento de água na estação seca. No Acre, a variabilidade interanual do clima e os eventos extremos de chuvas e secas afetam os fluxos dos rios, colocando em risco as populações locais. No ano de 2015, os dados coletados das plataformas telemétricas indicaram valores de 335 e 471 mm de precipitação para Assis Brasil e de 408 e 368 mm para Brasileia, em janeiro e fevereiro, respectivamente, considerados recordes para a região, quando comparados à média de precipitação do período de 1980 a 2014. O resultado dessas fortes chuvas foi o aumento do nível do rio na capital para 18,37 metros, quatro metros acima do nível de inundação, a maior já registrada, afetando 53 distritos, 32 áreas rurais e mais de 100.000 pessoas, com um custo estimado em 200 a 600 milhões de reais. A integração de geotecnologias foi fundamental para o monitoramento do fluxo de água durante essa enchente que afetou todos os municípios ao longo da bacia do Rio Acre. A correlação da precipitação acumulada em bacias hidrográficas com a variação dos níveis dos rios, apoiou as instituições na antecipação dos desastres. O modelo do Hydroestimador elaborado pelo CPTEC foi adotado para indicar possíveis áreas de risco de inundação nos locais sem plataformas, e foi incorporado ao TerraMA2 para gerar alertas de inundação.

PALAVRAS-CHAVE: Estado do Acre, hidroestimador, inundações, plataforma

ABSTRACT: The Amazon, in general, and Acre, in particular, have suffered annually with extreme weather events related to variations in rainfall and river levels, and consequently with wet season floods and dry season water supply problems. In Acre, the interannual climate variability and extreme rainfall and drought events have affected river flows, jeopardizing local populations. In the year 2015, data collected from the PCDs indicated values of 335 and 471 mm of precipitation for Assis Brasil and of 408 and 368 mm for Brasileia, in January and February, respectively, considered records for the region, when compared to the mean of precipitation in these localities for the period from 1980 to 2014. The result of these heavy rains was the rise in the level of the river in the capital to 18.37 meters, four meters above flood level, the highest flood on record, affecting 53 districts, 32 rural areas and more than 100,000 people, with a cost estimated at 200 to 600 million reais. The integration of geotechnologies was fundamental to the monitoring of the flow of water during this flood that affected all municipalities along the Acre River Basin. The correlation of accumulated precipitation in river basins with the variation of river levels, supported several institutions, anticipating disasters. The Hydroestimator was adopted to indicate possible flood risk areas in locations without data collection platforms, and was incorporated into the TerraMA2 platform to generate early flood warnings.

KEYWORDS: Acre State, hydroestimator, floods, TerraMA2 platform

1 | INTRODUÇÃO

A Amazônia, em geral, e o Acre, em particular, têm sofrido anualmente com eventos climáticos extremos relacionados à variação da precipitação pluviométrica e sua intrínseca relação com os níveis dos rios, configurando-se essencialmente em inundações no período de inverno amazônico e problemas de abastecimento de água no período de estiagem prolongada.

Segundo Davidson et al. (2012), o uso inadequado da terra, para a expansão da agricultura, pecuária, exploração madeireira, entre outros aspectos e a variabilidade climática tornaram-se importantes agentes de perturbação na bacia Amazônica.

A variabilidade interanual da precipitação e dos níveis dos rios na Amazônia deve-se em parte, à temperatura da superfície do mar (TSM) e às variações no Pacífico tropical que se manifestam como os extremos do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), e com o gradiente meridional SST no Atlântico tropical ou ainda, a uma combinação de ambos (Espinoza et al., 2012 e Marengo et al., 2013).

As secas e inundações são parte da variabilidade natural do clima na Amazônia, no entanto os extremos resultantes desse processo têm se tornando cada vez mais frequentes e de maior intensidade, com consequências desastrosas para a saúde da população, a economia e os ecossistemas locais.

No Acre, a variabilidade climática interanual e os eventos extremos de chuvas

e secas determinam aumentos e diminuições das vazões dos rios, que colocam frequentemente em risco a população residente nas planícies de inundação em áreas urbanas e rurais (Duarte, 2011). Os últimos doze anos no estado foram caracterizados por cheias e secas severas nos anos 2005, 2010, 2012, 2015 e 2016, alguns dos quais tidos como extremos sazonais com ocorrência “uma vez por século” (Lewis, 2011 e Marengo et al., 2013).

Considerando a vulnerabilidade da população afetada, especialmente nos últimos sete anos consecutivos de inundações, e a necessidade de lidar com extremos no futuro, o Governo do Estado do Acre, em parceria com a Agência Nacional de Águas-ANA, implantou a Unidade de Situação de Monitoramento Hidrometeorológico como estrutura executiva da Comissão Estadual de Gestão de Riscos Ambientais – CEGdRA que funciona como centro operacional de monitoramento hidrometeorológico. O objetivo desta Unidade é identificar ocorrências de eventos críticos, através do monitoramento diário de tempo, clima, níveis de rios, risco de fogo e focos de calor em todo o território do estado, fazendo uso de ferramentas de geotecnologias para um monitoramento mais confiável e capaz de fornecer dados para a geração de alertas antecipados, como subsídios para a tomada de decisão e resposta rápida das defesas civis estaduais e municipais.

Neste sentido este artigo foca na experiência de integração de geotecnologias diferenciadas, aplicando modelos e dados telemétricos para subsidiar a emissão dos alertas antecipados, em situações de desastres de extremos de precipitação e inundações como subsídio para a tomada de decisão por parte das instituições de resposta.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de investigação é o Rio Acre, cuja bacia situa-se na Amazônia Sul-ocidental, compartilhada pelo departamento peruano de Madre de Dios, os estados brasileiros do Acre e Amazonas e o departamento boliviano de Pando (Figura 1).



Figura 1. Localização do Estado do Acre e da Bacia do Rio Acre.

O Rio Acre nasce em território peruano, em cotas da ordem de 400 m e corre na direção Oeste-leste, deixando-o na altura da municipalidade de Iñapari, no Peru e segue fazendo fronteira com Brasil e Bolívia. Percorre mais de 1.190 km desde suas nascentes até a sua desembocadura, na margem direita do Rio Purus. Drena um substrato formado, em grande parte, por unidades geológicas muito jovens - a Formação Solimões e Terraços aluvionares antigos, que acompanham as principais drenagens e os sedimentos recentes dos rios, constituídos principalmente por rochas argilosas e silticas, intercaladas por arenitos finos depositados em um sistema de leques aluviais, facilitando processos erosivos, de deslizamentos de terra e consequente assoreamento dos leitos (ACRE, 2004).

A rede de drenagem da bacia do Rio Acre é caracterizada por rios sinuosos e volumosos, escoando suas águas no sentido Sudoeste a Nordeste, e por estreitas planícies fluviais de deposição de sedimentos retirados pela erosividade das águas sobre as margens (Almeida, 2005 e ACRE, 2006).

O avanço e a ocupação desordenada do solo contribuem com grande aporte de sedimentos, e consequentemente, com sua instabilidade, em especial nos períodos extremos de inundações. Esse comportamento é típico da evolução de rios não estáveis, onde as margens côncavas sofrem erosão pelas correntes rotacionais e as margens convexas apresentam assoreamento (Almeida, 2005), a exemplo do Bairro Leonardo Barbosa em Brasileia, fragmentado com a força das águas oriundas da inundação de 2015.

2.2 Metodologia de Trabalho

Para monitoramento das condições dos rios, bem como para a emissão dos alertas antecipados, via Plataforma TerraMA2, a precipitação acumulada foi obtida a partir do Hidroestimador. Neste período de estudo foram realizadas as seguintes atividades:

a) Levantamento dos dados: foram adquiridos dados da estimativa de precipitação do modelo hidroestimador, que possui grade 4 x 4 km. Este produto é resultado de um método que estima automaticamente a precipitação por meio de uma relação empírica exponencial entre a precipitação estimada por radar e a temperatura de brilho do topo das nuvens extraídas do canal infravermelho do satélite GOES-13, gerando taxas de precipitação acumuladas em 24h. (SCOFIELD, 2001).

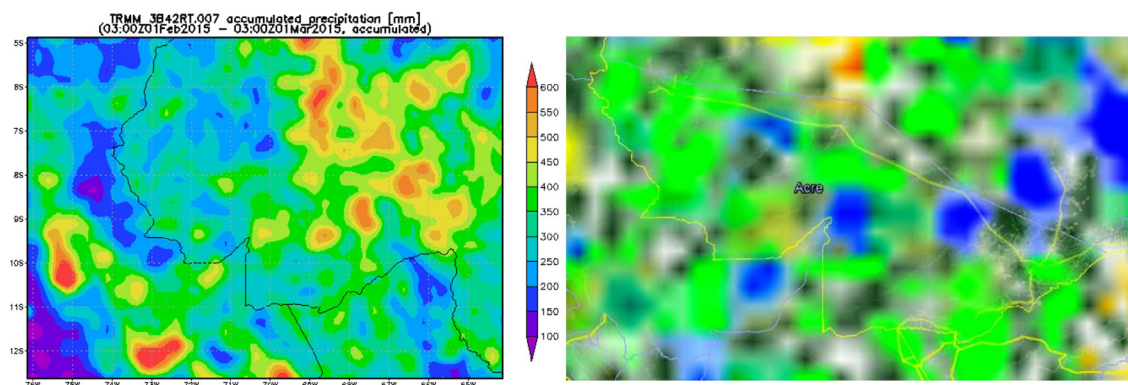
b) Processamento: os dados brutos do hidroestimador no formato binário foram adquiridos via FTP (File Transfer Protocol) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC. Através da Plataforma de monitoramento, análise e alerta TerraMA2, desenvolvida no Departamento de Processamento de Imagem (DPI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), adaptada e instalada na Unidade de Situação de Monitoramento Hidrometeorológico do Estado do Acre, realizou-se a conversão dos mesmos em formato binário para TIFF, possibilitando a manipulação das informações em software SIG. Com os dados no formato TIFF dentro do SIG, uma nova paleta de cores foi aplicada, bem como a inserção de informações adicionais da rede hidrográfica, como a divisão de sub bacia, e as cidades, facilitando o processo de localização das áreas de concentração dos maiores núcleos de precipitação.

c) Análise: os dados brutos foram transformados em mapas temáticos de estimativa de precipitação, com enfoque nos maiores núcleos de chuva acumulada no período de 24 horas. Assim, foi possível analisar a sua relação com o nível dos rios nas sub bacias mais afetadas. Ao mesmo tempo, a Plataforma TerraMA2 ligada a um conjunto de geotecnologias pode interagir com outros bancos de dados, sendo capaz de coletar e analisa-los, gerando informações que puderam ser lidas, processadas e aplicadas para criação e notificação de alertas. No período de análise vários alertas foram gerados e utilizados pelo Comitê de Alagação instalado no Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Acre – CBMAC e na Coordenação Estadual de Defesa Civil - Cedec.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em 2015, o aumento significativo da vazão e do nível do Rio Acre nos principais municípios ao longo da bacia deveu-se ao grande volume de precipitações em pequeno período de tempo. Durante o mês de janeiro a precipitação acumulada em grande parte do estado do Acre variou de 300 a 400 mm, considerada acima da

normalidade. Tanto em janeiro como em fevereiro de 2015, os volumes registrados foram superiores à média dos totais mensais, principalmente nas estações de Assis Brasil (COD 13450000), e Brasileira (COD 13460000), na parte alta da bacia do Rio Acre. Conforme estimativa elaborada a partir do Satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission - <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/getpage.pl>), no mês de fevereiro, os volumes de chuva na bacia do Rio Acre oscilaram entre 350 e 450 mm (Figuras 2 e 3).



Figuras 2 e 3. Precipitação acumulada em fevereiro de 2015 estimada pelo satélite TRMM no Acre (esquerda) e a anomalia em relação à média (direita).

Fonte: TRMM (Nasa/Jaxa)

Extremos diários de chuva na bacia do Rio Acre e suas contribuições para os acumulados durante semanas e meses implicam em níveis do rio acima da cota de alerta - 13,5 m (Duarte, 2011). Em março de 2015, medida realizada pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM/PV registrou uma vazão de 3.499,0 m³/s para a cota 18,34 m no Rio Acre em Rio Branco, considerada histórica para a região.

As chuvas que promoveram as inundações em Assis Brasil, iniciaram na parte mais alta da bacia - na área de influência da Estação Ecológica do Rio Acre - ESEC, situada na base do Instituto Chico Mendes da Biodiversidade – ICMBio, a aproximadamente 70 km em linha reta, a Oeste e montante da cidade de Assis Brasil, no dia 18 de fevereiro de 2015, com acumulados variando de 26 a 150 mm, seguidas por precipitações que superaram os 200 mm acumulados em 24 horas no município, no dia 19 de fevereiro, conforme dados do Hidroestimador. Nesse intervalo de tempo, a plataforma de coleta de dados – PCD instalada em Assis Brasil, registrou uma variação de nível no Rio Acre de 4,02 m, no dia 17 de fevereiro, para 13,24 m no dia 19 de fevereiro de 2015 (Figura 6).

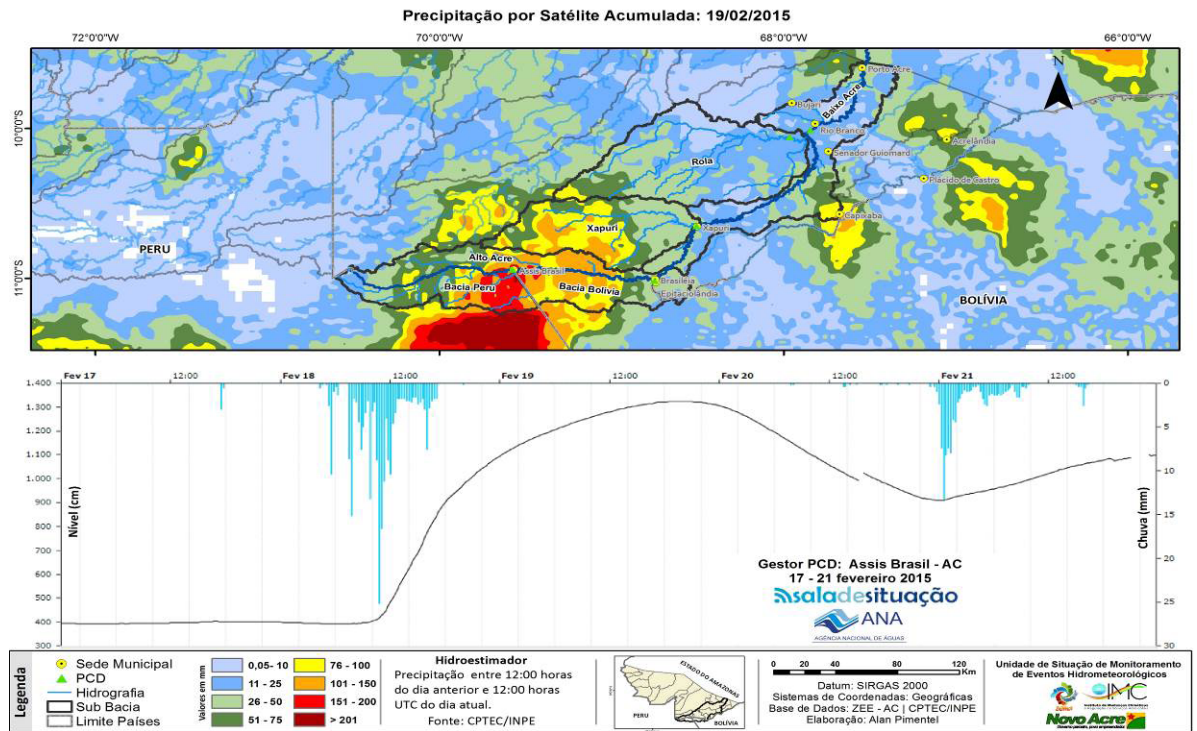


Figura 6. Precipitação acumulada por satélite em 19/02/2015 - dados do Hidroestimador e nível do Rio Acre na PCD de Assis Brasil (COD 13450000), indicado no Gestor PCD.

Fonte: <http://gestorpcd.ana.gov.br/Mapa.aspx> e www.cptec.inpe.br

Ainda no dia 18 de fevereiro a área de influência dos municípios de Brasileia, Epitaciolândia e Xapuri também foram alvos de grandes volumes de precipitação, com acumulados oscilando entre 50 e 200 mm em 24 horas, segundo dados do Hidroestimador. No dia 19 de fevereiro as chuvas continuaram afetando a região com acumulados de até 150 mm em 24 horas (Figura 6).

No dia 21 de fevereiro, as chuvas voltaram a afetar a região do Alto Acre, com acumulados de 24 horas em torno dos 110 mm em Assis Brasil. A área de influência do Riozinho do Rola, no município de Rio Branco, apresentou valores acumulados de até 150 mm de chuva nessa data (Figura 7). Com a sequência de precipitações desde a ESEC Rio Acre, os níveis do Rio Acre, nas localidades descritas superaram suas cotas de transbordamento. Em Assis Brasil o nível do rio chegou a 13,24 m no dia 19/02 (cota de alerta 11,3 m e de transbordo 12,5 m); em Brasileia, com cota de alerta de 9,8 m e de transbordamento 11,4 m, chegou a 15,41 m no dia 24 de fevereiro – valor considerado histórico para o município, afetando mais de 80% do perímetro urbano da cidade; em Xapuri o rio chegou aos 16,32 m, para 12,5 m de cota de alerta e 13,4 m de transbordamento (Figura 7).

Com o volume de água oriundo de montante (região do Alto Acre) e as precipitações ocorridas no município a partir de 21 de fevereiro, o Rio Acre em Rio Branco saiu de sua cota de transbordamento – 14 m, no dia 22 de fevereiro, culminando com o nível histórico de 18,37 m, no dia 04 de março, segundo dados da plataforma telemétrica da Agência Nacional de Águas - ANA (COD 13600002) (Figura 7).

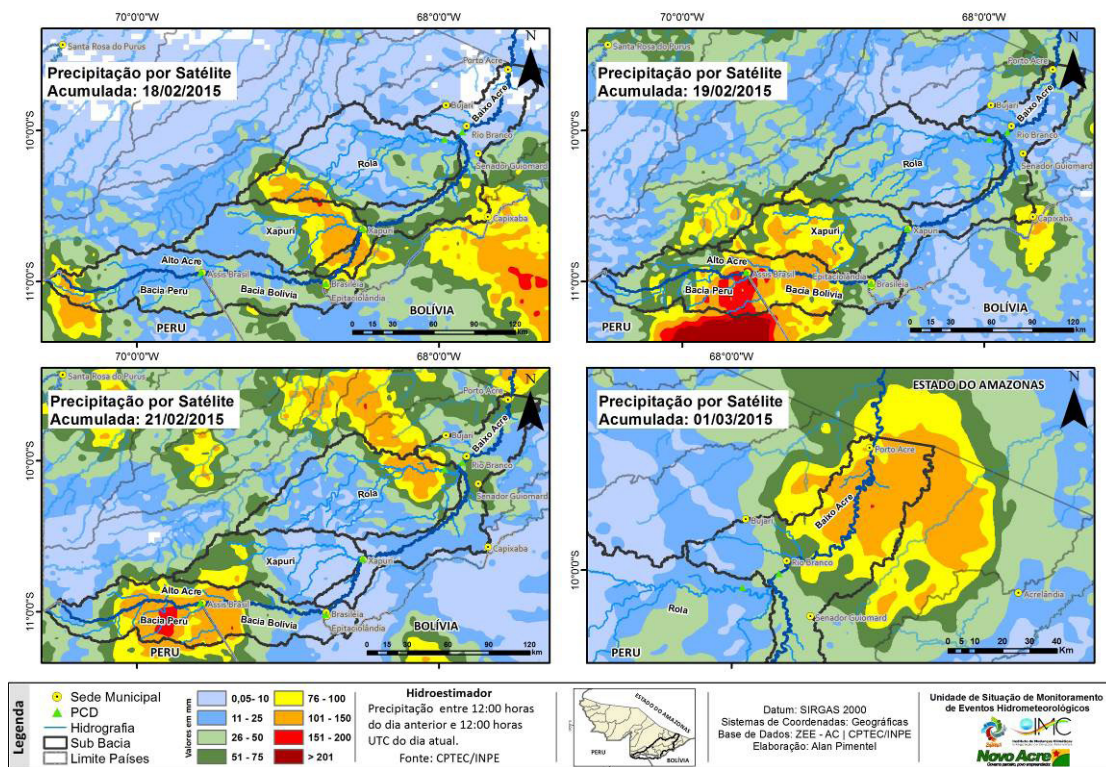


Figura 7. Acumulados de 24 horas de precipitação - por satélite, via dados do Hidroestimador.

Fonte: www.cptec.inpe.br

No dia 01 de março de 2015, o Hidroestimador indicou acumulados de 24 horas de até 150 mm na área de influência do município de Porto Acre, imediatamente a jusante de Rio Branco (Figura 7). Considerando que o município já se encontrava sob a influência dos volumes de água oriundos de montante, e o fato de o mesmo não possuir plataforma de coleta de dados, o Hidroestimador associado aos alertas emitidos pela Plataforma TerraMA2, foi o principal referencial para a resposta da Defesa Civil na localidade.

Os dados de precipitação estimada por satélite são disponibilizados a cada 30 minutos e são capturados e analisados pela Plataforma TerraMA2, retornando com a estimativa média de precipitação acumulada para cada sub bacia. Caso o resultado dos valores analisados atinja os limiares de alerta, uma notificação é emitida, informando o nível do alerta local e a estimativa de precipitação acumulada.

A Figura 8 mostra a série histórica dos alertas emitidos para bacia do Rio Acre no período monitorado. O primeiro alerta foi emitido as 02:30h (GMT) do dia 18 de fevereiro de 2015 e nesse mesmo horário as sub bacias do Xapuri e Bolívia entram em estado de observação. As 11:30 (GMT) todas as sub bacias entram em diferentes níveis de alerta, com destaque para as sub bacias do Alto Acre, Peru e Bolívia, onde localiza-se a tríplice fronteira (Madre de Dios-PE, Acre-BR e Pando-BO), que entram em alerta máximo, devido ao maior acumulado de precipitação a partir das 14:30 (GMT).

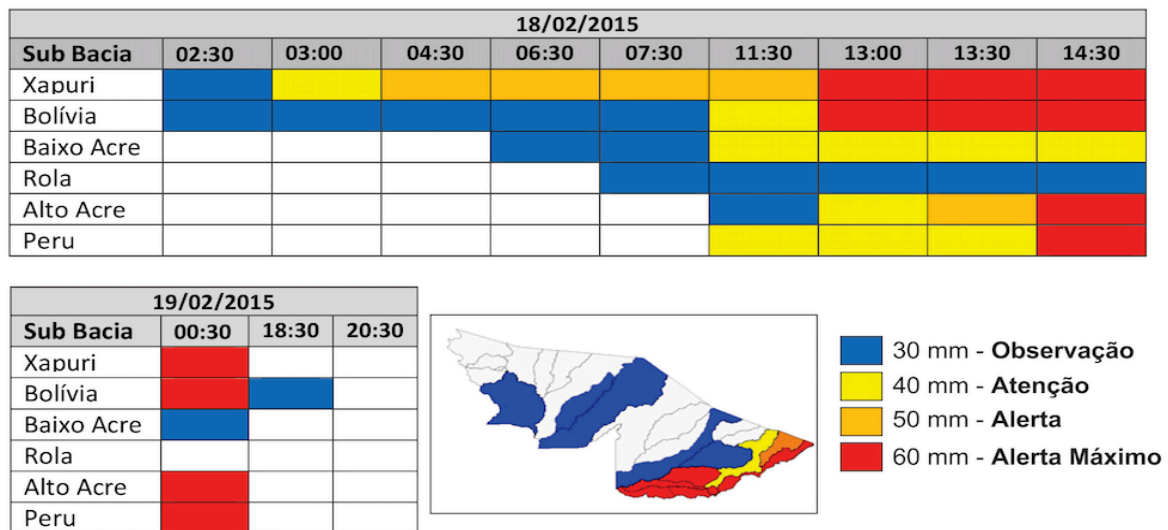


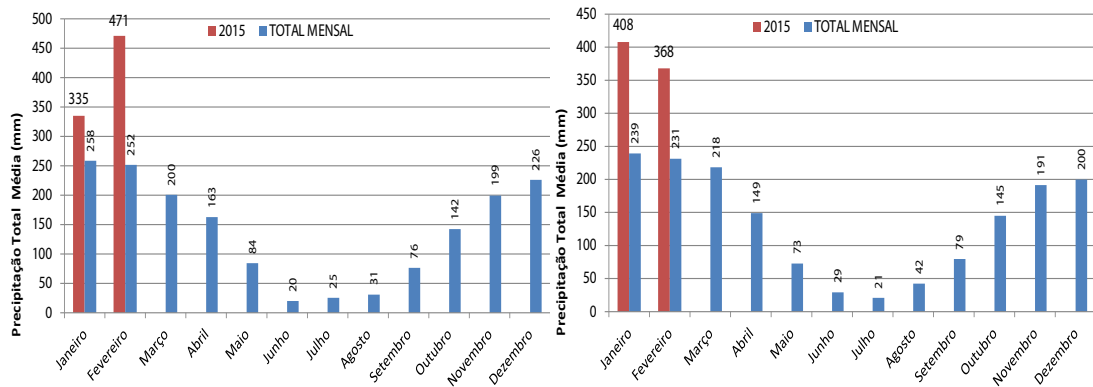
Figura 8. Alertas de estimativa de precipitação emitidos pela Plataforma TerraMA2, horário GMT.

Das 14:30 (GMT) do dia 18 de fevereiro de 2015 o alerta máximo de precipitação acumulada se estendeu até 18:30h (GMT) do dia 19 de fevereiro de 2015 nas áreas das sub bacias do Alto Acre, Peru, Bolívia, Xapuri e Riozinho do Rola, conforme mapa da Figura 8.

Nesse sentido, a Plataforma TerraMA2, ligada a um conjunto de geotecnologias, pôde interagir com outros bancos de dados, tendo sido capaz de coletar, processar e analisar dados, gerando informações que puderam ser lidas e aplicadas para a criação e emissão de alertas antecipados.

O mapa de distribuição e quantificação das precipitações acumuladas (24 horas) era elaborado toda manhã para uso na Sala de Resposta da Defesa Civil, a partir do qual técnicos da Assessoria Indígena e da Secretaria de Estado de Extensão Agroflorestal e Produção Familiar - Seaprof, faziam buscas ativas de indígenas e produtores rurais afetados pelas inundações no interior do estado, em especial na região do Rio Gregório e do município Porto Acre, respectivamente.

No ano de 2015, dados coletados das PCDs indicaram valores de 335 e 471 mm de precipitação para Assis Brasil e de 408 e 368 mm para Brasileia, em janeiro e fevereiro respectivamente, considerados históricos para a região, quando comparados a média da precipitação nessas localidades no período de 1980 a 2014 (Figuras 9 e 10).



Figuras 9 e 10. Precipitação média (1980 a 2014) e total observada em janeiro e fevereiro de 2015, em Assis Brasil (COD 01069000) (esquerda) e em Brasileira (COD 0096800) (direita)

O resultado deste evento elevou o nível do Rio Acre na capital Rio Branco para 18,37 m, quatro metros acima da cota de transbordamento, sendo a maior inundação já registrada na capital, atingindo 53 bairros, 32 áreas rurais e mais de 100.000 pessoas, representando aproximadamente 34% do município de Rio Branco, e uma despesa estimada entre 200 e 600 milhões de reais (Dolman, 2016).

4 | CONCLUSÃO

O Hidroestimador, associado aos dados das plataformas telemétricas, foi fundamental para o monitoramento do caminhamento das águas durante esta inundação, que afetou todos os municípios ribeirinhos ao longo da bacia do Rio Acre. A correlação das precipitações acumuladas espacializadas e quantificadas na bacia, com a variação dos níveis dos rios, subsidiou a tomada de decisão por parte do Governo do Estado, bem como a atuação das Defesas Civas, da Assessoria Indígena e da Secretaria de Estado de Extensão Agroflorestal e Produção Familiar, na evacuação das comunidades indígenas e dos ribeirinhos, evitando desastres e evacuando as áreas de risco em tempo hábil.

Assim, para monitoramento da precipitação em todo o território do estado do Acre, passou-se a utilizar os dados do Hidroestimador, para indicar possíveis áreas de risco de inundação nas localidades sem plataformas telemétricas, associados aos alertas antecipados gerados e emitidos pela Plataforma de Monitoramento Ambiental TerraMA2.

REFERÊNCIAS

ACRE. Secretaria de Estado de Meio Ambiente – SEMA. **Diagnóstico das bacias do Rio Acre e do Rio Purus**. Rio Branco, Acre. 2004. 84 p.

ACRE. Governo do Estado do Acre. **Programa Estadual de Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre. Fase II**. Documento Síntese. Rio Branco. 2006. 179 p.

Almeida, H.D.F. **Mineralogia, geoquímica, fertilidade e origem dos sedimentos de praia (barra em pontal) das bacias dos rios Purus e Juruá no Estado do Acre**. 2005. 172 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Pará, Belém. 2005.

Davidson, E. A., A. C. de Araujo, P. Artaxo, J. K. Balch, I. F. Brown, M. M. C. Bustamante, M. T. Coe, R. S. De Fries et al. **The Amazon basin in transition**. Nature 481, p. 321–328. 2012.

Dolman, D. **O impacto socioeconômico da inundação de 2015: dados preliminares**. Rio Branco, Acre. 2016.

Duarte, A. F. **Sazonalidade de alagações e secas na capital do Acre, Rio Branco, Amazônia Ocidental**. Disponível em: <http://www.sbmet.org.br/sic2011/arq/75401263981187540126398.pdf>. Acesso em:12.nov.2016.

Espinoza, J.C., Ronchail, J., Guyot, J. L., Junquas, C., Guillaume Drapeau, G., Martinez, J.M., Santini, W., Vauchel, P., Lavado, W., Ordoñez, J. and Espinoza, R. **From drought to flooding: understanding the abrupt 2010–11 hydrological annual cycle in the Amazonas River and tributaries**. Environ. Res. Lett. 7. (024008), p. 1-7. 2012.

Lewis, S. L., P. M. Brando, O. L. Phillips, G. M. F. Van Der Heijden, And D. Nepstad. **The 2010 Amazon drought**. Science, p. 331- 554, 2011.

Marengo, J. A., L. Borma, D. Rodriguez, P. Pinho, W. Soares And L. Alves. **Recent extremes of drought and flooding in Amazonia: vulnerabilities and Hhuman adaptation**. American Journal of Climate Change 2 (2), p. 87-96, 2013.

Scofield, R.A. (2001). **Comments on “A quantitative assessment of the NESDIS Auto-Estimador”**. Weather and Forecasting (16), p. 277-278. 2001.

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

Jean Marcel de Almeida Espinoza

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

Deivid Cristian Leal Alves

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, PPG Geociências
Porto Alegre – RS

Silvia Beatriz Alves Rolim

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Geodésia
Porto Alegre – RS

Jefferson Rodrigues dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

Maurício Soares Ortiz

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

Miguel da Guia Albuquerque

Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia do Rio Grande do Sul
Rio Grande – RS

RESUMO: Este trabalho objetivou a identificação de campos de mineração de ametista na região do município de Ametista do Sul (RS), utilizando processamento digital de imagens de satélite do sensor ASTER. Imagens de sensoriamento

remoto para mapeamento e discriminação de alvos geológicos são baseadas na interação entre a radiação eletromagnética (EMR) e os alvos. A interação entre radiação e alvo é registrada em unidades de terreno, representadas pelo valor do contador digital de cada pixel na imagem. Os valores observados correspondem à medição de um processo complexo de troca de energia envolvendo EMR (transmissão, reflexão e emissão). Essa interação ocorre através da absorção / emissão atômica / molecular de EMR ao interagir com átomos e moléculas dos minerais da rocha. Com base nesse conceito, a maneira pela qual esses compostos minerais interagem com o EMR é identificável por meio de suas respostas espectrais, ou seja, como cada mineral transmite, reflete, absorve e emite EMR. A referência cruzada desta assinatura com os valores correspondentes permite inferência estatística sobre qual tipo de rocha ou mineral está presente em um determinado pixel de uma imagem digital. Com isso em mente, utilizamos: uma imagem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission e Reflection Radiometer) da região do Ametista do Sul, devidamente calibrada e corrigida; um grupo de assinaturas espectrais correspondentes aos principais compostos de mineralização e rejeitos de mineração de ametista; e uma análise posterior da correspondência entre estas assinaturas e os valores da imagem ASTER, obtidos através

de padrões de reconhecimento DCDP (primeira derivada). Com base nesse método, imagens temáticas foram construídas para indicar a probabilidade de mineração de ametista e, posteriormente, validadas com dados de campo. Este trabalho demonstra que o uso de dados de satélite é uma ferramenta importante no monitoramento geológico e de atividades de mineração de campo.

PALAVRAS-CHAVE: sensoriamento remoto, processamento de imagens, geologia.

ABSTRACT: This work aims the identification of amethyst mining fields in the Ametista do Sul town (Rio Grande do Sul state) area using digital processing of satellite images from ASTER sensor. Remote sensing images for mapping and discrimination of geological targets is based on the interaction between electromagnetic radiation (EMR) and the targets. The radiation-target interaction is registered in terrain units, represented by the digital counter value of each pixel in the image. The observed values correspond to the measurement of a complex process of energy exchange involving EMR (transmission, reflexion and emission). This interaction occurs through atomic/molecular absorption/emission of EMR while interacting with atoms and molecules of the rock's minerals. Based on this concept, the manner in which these mineral compounds interact with EMR is identifiable by means of their spectral answers, that is, how each mineral transmits, reflects, absorbs and emits EMR. Cross-referencing this signature with the corresponding values allows statistical inference on which type of rock or mineral is present at a certain pixel of a digital image. With this in mind, we used: an ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) image from the Ametista do Sul region, duly calibrated and corrected; a group of spectral signatures corresponding to the main mineralization compounds and mining rejects of amethyst; and a posterior analysis of the correspondence between these signatures and the ASTER image values, obtained through DCDP recognition patterns (first derivative). Based on this method, thematic images were constructed to indicate the probability of amethyst mining, and were later validated with field data. This work demonstrates that the use of satellite data is an important tool in geological and field mining activity monitoring.

KEYWORDS: remote sensing, image processing, geology.

1 | INTRODUÇÃO

A utilização de dados de sensoriamento remoto tem sido importante na minimização de custos e tempo em campanhas de pesquisa e exploração mineral diversas, concentrando a atividade de campo apenas nos locais de real necessidade. Estudos utilizando essa abordagem têm sido obtidos com maior sucesso em regiões áridas e semiáridas do mundo, onde ocorrem maiores áreas com materiais expostos, permitindo aquisição direta da informação espectral do sistema rocha-solo-água como ao exemplo dos trabalhos de Amos e Greenbaum (1989), Emranet al.(1996) e Whiteet al.(1997), onde essas técnicas estão amplamente consolidadas. Já em ambientes

tropicais, a caracterização das propriedades espectrais desses alvos é normalmente influenciada pela cobertura vegetal.

Dessa forma, investigações sobre a presença mineral utilizando sensoriamento remoto devem considerar esse fato, constituindo associações rocha-solo-água-vegetação (LULLA, 1985; ALMEIDA FILHO et al., 1996; ALMEIDA FILHO et al., 1997) e, também, o grau de exposição de rocha-solo na cena imageada, segundo os autores. Novas perspectivas foram abertas para a discriminação desses alvos com o advento das imagens do sensor Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), a bordo da plataforma orbital Terra. O sensor ASTER representa um avanço, em termos de resolução espectral, quando comparado ao instrumento Enhanced Thematic Mapper (ETM+) do satélite Landsat-7. Um exemplo da maior potencialidade do sensor ASTER para a mineralogia ambiental foi apresentado por Van der Meer (1999), que discutiu o potencial de detecção de alguns minerais, como caulinita e muscovita, através desse sensor. Esses dois minerais são caracterizados por uma banda de absorção em aproximadamente $2,2\mu\text{m}$ devido à hidroxila (OH) (HUNT, 1971) correspondente à banda seis do sensor ASTER (Figura 01).

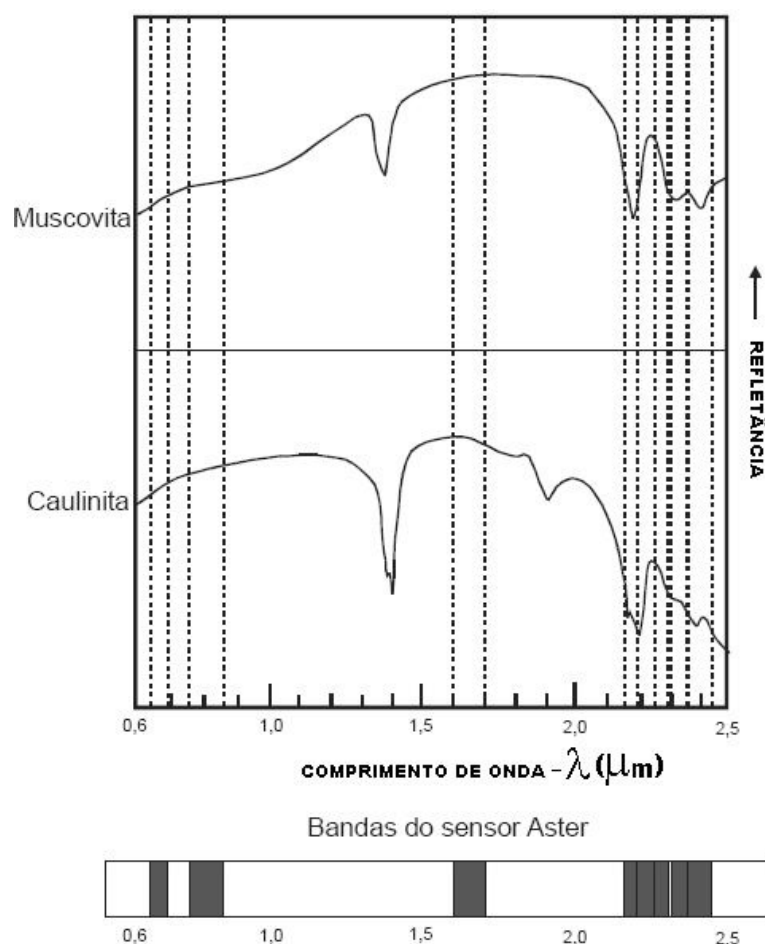


Figura 1: Espectros de reflectância da caulinita e da muscovita Vs. comprimento de onda e comparados às correspondentes bandas do sensor ASTER. FONTE: modificada de Hunt (1970-1971).

Essas informações espectrais podem ser detectadas das bandas cinco a nove do sensor ASTER. Já o sensor ETM+, que possui apenas a banda sete posicionada

nesse importante intervalo espectral para a geologia, registra, portanto, uma única resposta nessa faixa espectral, trazendo sobreposição de informação. Baseando-se nesses preceitos, efetuamos a caracterização espectral das rochas constituintes da porção sul da bacia do Paraná e, posteriormente, realizamos a classificação de dados-imagem do sensor ASTER, mostrando uma aplicação dos métodos de sinergia entre classificadores de imagens orbitais e caracterizadores espectrais de alvos.

Crósta et al. (2002) utilizaram dados do sensor ASTER para caracterizar halos de alteração hidrotermal em depósitos auríferos epitermais no distrito de Los Menucos, Argentina. Foram utilizadas tanto técnicas usualmente empregadas no processamento de imagens multiespectrais, como também técnicas especificamente desenvolvidas para o processamento de imagens hiperespectrais. Segundo aqueles autores, os resultados foram bastante satisfatórios, demonstrando os benefícios que a recente disponibilização de imagens orbitais multiespectrais de melhor resolução espectral pode trazer para atividades de exploração mineral.

Avaliando essas considerações, desenvolvemos a caracterização espectral das principais rochas que caracterizam essa região, como o Basalto, a Malaquita e o Biju (rocha arenítica local). Com o emprego de técnicas de processamento de imagem foi possível, a partir de dados ASTER, localizar alvos de afloramento dessas rochas, mostrando-se como um importante meio de apoio ao estudo geológico.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Neste desenvolvimento utilizamos dados cartográficos, geológicos, imagens de satélite do sensor ASTER e dados espectrorradiométricos de laboratório para constituir as informações fundamentais para esta investigação. Os dados cartográficos foram extraídos da carta topográfica da região, na escala 1:100.000 e na projeção UTM. As imagens obtidas do sensor ASTER compreenderam as bandas um a três do Visible and Near-infrared (VNIR – 400 a 1000 nm) e as bandas quatro a nove do Shortwave Infrared (SWIR – 1000 a 2500nm). Para elaboração das assinaturas espectrais das rochas da região de interesse, utilizou-se o espectrômetro GER-2100, fornecido em parceria pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), e utilizado em laboratório para a aquisição de dados espectrais a partir de amostras coletadas em campo.

O sensor opera na região do espectro eletromagnético de 400 a 2500 nm e adquire dados em intervalos espectrais de 2 nm. Nessa faixa de comprimento de onda, minerais que contêm, por exemplo, hidroxila (OH) e carbonato (CO₃⁻), entre outros, podem apresentar curvas de refletância com bandas de absorção em comprimentos de onda específicos que favorece sua detecção espectral.

O instrumento não necessita de iluminação solar, pois utiliza uma fonte de iluminação independente. Para a calibração das medidas é utilizado um padrão de

referência interno composto de uma placa de spectralon®. O instrumento gerou curvas espectrais de refletância que foram armazenadas como arquivos individuais.

Nas etapas de pré-processamento, processamento e análise digital dos dados foram utilizados os aplicativos The ENvironment for Visualizing Images (ENVI®) e seu pacote de correção atmosférica FAASH. O ENVI® foi utilizado no pré-processamento e processamento dos dados do sensor ASTER, bem como para a geração das curvas de assinatura espectral e imagens temáticas classificadas, buscando um teste-piloto para aplicação desses dados.

O aplicativo FAASH foi empregado também durante o pré-processamento dos dados para a correção das influências atmosféricas sobre a imagem. Já o software MATLAB® foi empregado como suporte para a programação de transformações sobre os dados-imagem, visando extrair os “endmembers” característicos de cada elemento da cena (descritores espectrais de um certo alvo de interesse). O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas, a saber:

1) Aquisição de dados espectrais e análises radiométricas sobre as amostras de rochas coletadas em campo: Esta aquisição de dados foi realizada a partir do espectraloradiômetro anteriormente descrito, com uma cobertura de 400nm à 2500nm em intervalos de aquisição de 2nm de largura. Já a análise radiométrica das amostras foi feita em base à literatura estabelecida, em especial as análises descritas por Hunt (1971) e Crosta (2002), onde se busca avaliar regiões de absorção nos espectros de reflectância e correlacionar estas absorções a feições previamente estudadas. Segundo este método, buscamos conhecer o comportamento espectral dos possíveis componentes da amostra e, identificando estas características no espectro da própria amostra, caracterizá-la.

2) Reamostragem: A reamostragem das curvas de comportamento espectral para que estas curvas fossem representadas com a mesma resolução do dado-imagem ASTER (com nove valores centrados nos pontos centrais das nove primeiras bandas do sensor ASTER), foi realizada empregando algoritmos de cluster de dados com implementação através dos interpoladores “vizinho mais próximo” e “média ponderada”, tornando cada uma das assinaturas espectrais obtidas das amostras características coletada em campo um novo conjunto de nove valores correspondentes às bandas do ASTER;

3) Pré-processamento digital dos dados ASTER e de reflectância: A correção radiométrica das imagens adquiridas a partir do sensor ASTER foi efetuada a partir do modelo FAASH (RSI, 2013), pertencente ao Software ENVI®. A correção radiométrica foi efetuada a fim de subtrair os efeitos atmosféricos presentes em imagens orbitais e, assim, tornar possível a transformação dos valores atuais de contadores digitais para valores de reflectância para cada pixel.

4) Processamento digital dos dados ASTER: Para este estudo foram implementadas duas técnicas de classificação espectral sobre a imagem ASTER, sendo a primeira delas a técnica de Decomposição de Curvas por meio da Derivada Primeira (DCDP). A técnica DCDP seguiu os passos seqüenciais descritos no Quadro 01. A imagem processada constituiu de uma sub-cena, compreendendo a sede do município de Ametista do Sul e suas adjacência, perfazendo as áreas constituintes dos pontos de apoio de campo onde foram coletadas as amostras para radiometria.

Processos	
1	Leitura da imagem de entrada para processamento (já corrigida radiometricamente)
2	Leitura dos espectros de referencia (formato xls)
3	Aplicação da reamostragem de espectros: redução para resolução semelhante a da imagem
4	Aplicação da derivada primeira sobre o espectro de referencia (criação do vetor-derivada de referencia)
5	Aplicação da derivada primeira sobre cada elemento da imagem (criação do vetor-derivada para cada pixel)
6	Classificação da imagem coma aplicação a análise de similaridade estatística entre o vetor referencia e o vetor de cada pixel
7	Criação da imagem classificada exibindo a probabilidade de um pixel conter o elemento referencia

Quadro 01: Passos metodológicos do DCDP.

Fonte: Adaptado de Curran, 1994.

A técnica empregada pode ser cuidadosamente avaliada e implementada a partir da bibliografia correspondente, publicada por Curran (1994) onde se expressam detalhadamente os passos para o método DCDP.

5) Análise e interpretação dos produtos gerados: Como análise e interpretação dos dados espectrais gerados, buscou-se avaliar as feições presentes às curvas espectrais segundo àquelas descritas por Hunt (1971), identificando presença de elementos químicos relevantes bem como a indicação da composição mineral com a presença de água. Já para a verificação da aplicabilidade destes dados como fonte de identificação da presença destes minerais em dados-imagens do sensor ASTER, foram utilizados pontos de controle coletados in loco para verificação dos resultados da DCDP. Finalmente, foi feita uma análise da acurácia deste produto-piloto através de áreas mapeadas em campo, a fim de determinar a confiança de tal método para os dados obtidos.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir das amostras coletadas em campo, obteve-se a assinatura espectral para as diferentes rochas presentes na região estudada. Com essas assinaturas, foi buscada a formatação de um banco de dados espectrais dessas rochas, contendo características de composição química, localização preliminar, forma de apresentação, cor predominante, entre outras. Posteriormente, como aplicação para esse compêndio de informações, executou-se a classificação de uma imagem da região através da DCDP, como é descrito anteriormente.

Por consolidação em diversas pesquisas, sabe-se que curvas de refletância podem fornecer evidências da composição físico-química e mineralógica de rochas, por exemplo (SWAIN & DAVIS, 1978). Segundo Formaggio et al. (1996), ainda é pequena a disponibilidade de estudos espectrais sobre as rochas que compõem a mineralogia brasileira, apesar do potencial diagnóstico que essas curvas apresentam.

3.1 As assinaturas Espectrais

Variações características na refletância para as faixas do visível e do infravermelho próximo mostram que as bandas de absorção bem como determinadas declividades das curvas espectrais estão entre as feições mais informativas e são causadas por processos vibracionais e eletrônicos devidos à interação entre a radiação eletromagnética e as partículas da rocha (HUNT e SALISBURY, 1970). A Figura 02 ilustra as refletâncias bidirecionais de amostras dos principais componentes encontrados nos afloramentos rochosos estudados, como o basalto (constituintes de rejeito de garimpos de pedra ametista).

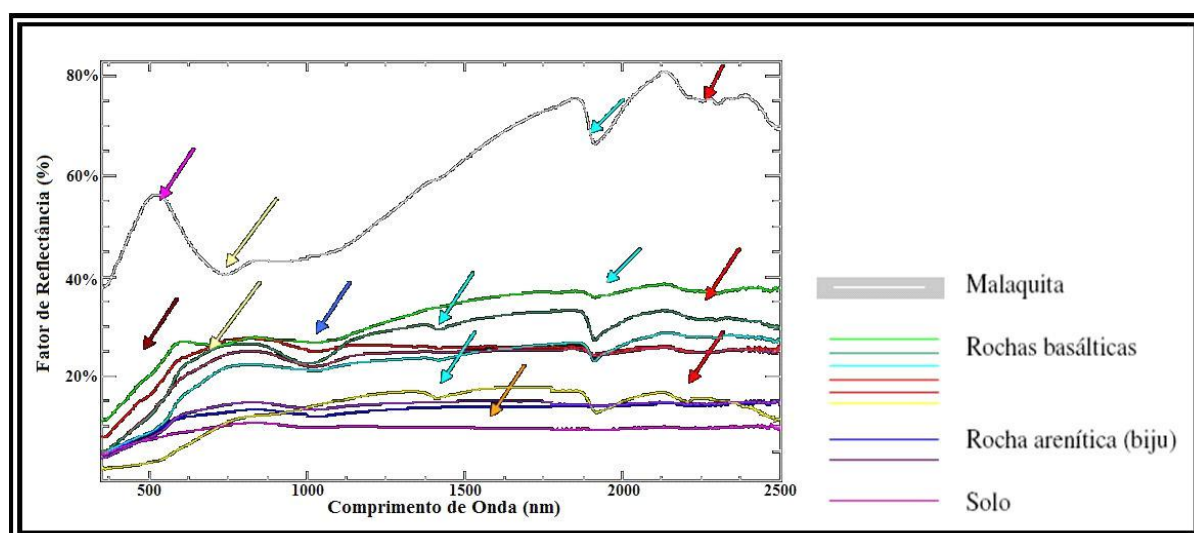


Figura 02 – Assinaturas espectrais das amostras coletadas em campo.

Analisando as curvas de assinatura espectral produzidas, expostas anteriormente, como primeira feição espectral evidencia-se a baixa refletividade das amostras de solo, tanto para a faixa do visível quanto do infravermelho, a qual se atribui às altas

concentrações de magnetita (HUNT et al, 1971) que se caracteriza por ser um mineral de alta opacidade e sem presença de feições de absorção (HUNT et al., 1971), o que pode ser observado na Figura 03 (seta em laranja).

O conteúdo de matéria orgânica também mostra forte influência na resposta espectral, principalmente de solos (Montgomery, 1976); a concentração de matéria orgânica e a refletância mostram-se inversamente proporcionais, observando-se que para um aumento no conteúdo de matéria orgânica, vê-se uma queda na refletância para o intervalo de 600 nm a 1100 nm (seta em amarelo).

A forma iônica do átomo de ferro (Fe^{3+} , ferro trivalente) provoca fortes absorções para a faixa espectral no entorno de 550 nm e para comprimentos de onda menores (seta em vermelho-escuro) (HUNT et al., 1971). As bandas de absorção desta forma do átomo de ferro se dão devido a transferências de carga metal ligante ($Fe^{3+} \Rightarrow O_2^{2+}$), centralizada à região do ultravioleta e estendendo-se até a faixa do visível (HUNT et al, 1971).

Também se mostram marcantes as feições referentes à presença de água, localizadas em 1450 nm e 1950 nm, mesmo estando as amostras, no momento da radiometria de seus espectros, moídas e secas (HUNT et al., 1971). Essa presença pode ser observada na Figura 03 nas setas na cor turquesa. As intensas bandas de absorção da água, centradas em 1450 nm e 1950 nm, foram observadas por Hunt & Salisbury (1970), sendo estas atribuídas à água confinada, típica das montmorilonitas.

A faixa de absorção centrada no entorno de 900 nm é atribuída à presença de óxidos de ferro (HUNT et al, 1971) (seta em azul). Atribui-se à caulinita a banda de absorção centrada no entorno de 2200 nm (setas em vermelho). Já o espectro de refletância obtido para a malaquita (óxido de cobre) além de apresentar as faixas de absorção referentes aos componentes citados (água, ferro, óxidos de ferro), mostra um pico de refletância significativo para a faixa do visível, centrado para o comprimento de onda verde. Isso se explica por sua coloração característica em tom verde-claro.

A partir destes espectros característicos, foi buscada a formatação de um banco de dados espectrais dessas rochas, contendo características de composição química, localização preliminar, forma de apresentação, cor predominante, entre outros.

3.2 Classificação de imagens ASTER

A classificação da imagem ASTER local, composta pelas nove primeiras bandas do sensor, a partir das assinaturas espectrais das amostras coletadas em campo. As imagens ilustrando a classificação através do emprego da técnica proposta neste trabalho (DCDP) podem ser vistas em seqüência. A linha em vermelho-escuro representa o limite do município de Ametista do Sul.

A Figura 03 representa a sobreposição da classificação via DCDP com a imagem ASTER original. As zonas de maior coincidência entre o vetor referencia e o vetor de cada pixel representam-se como áreas de maior probabilidade de presença do alvo

de referência. A exemplo, zonas com coincidência entre as inflexões das derivadas do vetor de referencia e o vetor de um pixels acima de 90% determina este pixel como um elemento com 90% ou mais de probabilidade de pertencer a classe correspondente a o vetor de referência.

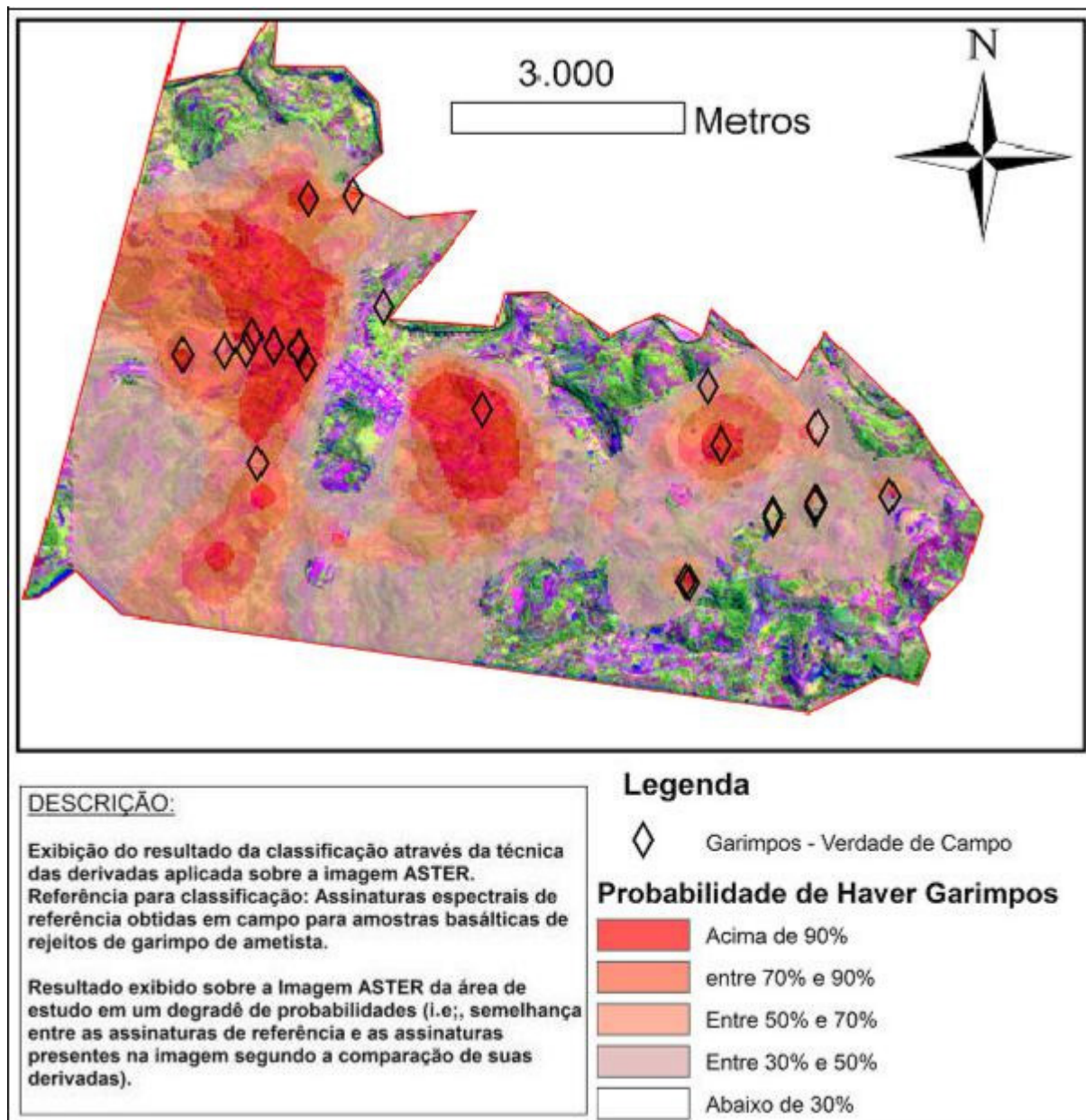


Figura 03 – Imagens representativas da classificação realizada a partir das assinaturas espectrais.

A classificação a imagem ASTER pelo método DCDP permitiu inferir as probabilidades de um pixel em questão fazer parte da classe garimpo. Esta análise, em comparação aos pontos de localização de garimpos, observados em campo, exibiu uma coincidência estatística de 85%, aproximadamente. Dos 46 pontos de garimpo observados em campo, 39 pontos acabaram representados em zonas com valores de 90% ou mais de probabilidade de coincidência entre o vetor de referencia e o vetor local, obtido através da análise DCDP.

Segundo Curran (1994) a análise comparativa entre espectros tomados a distintas

iluminações, mas de alvos semelhantes melhor representado através da análise da derivada dos espectros do que pelos espectros diretamente. Isto se explica pelo fato de que a intensidade de um espectro é uma função da iluminação e das condições de coleta, enquanto as derivadas dos espectros (inflexões) tem a tendência de se manterem semelhantes, mesmo sob condições distintas.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados encontrados no trabalho apontam o uso concomitante de imagens ASTER e da técnica DCDP como uma forma robusta de mapeamento de garimpos de ametista, apresentando valores expressivos de aproximadamente 85% de acerto para área analisada. Considerando as características estruturais das rochas abordadas neste trabalho, ficou evidente a possibilidade da caracterização espectral das mesmas e o posterior emprego dessa caracterização para classificação de imagens orbitais ASTER como forma de apoio ao trabalho geológico de campo.

Resultados diferenciados devem ser esperados quando consideramos a dinâmica da refletância de rochas com cobertura vegetal pronunciada, devido a influência da vegetação e problemas como o sombreamento diferenciado em função da variação do ângulo de incidência solar, como por exemplo, a determinação do grau de pureza dos pixels classificados na imagem, tentando evitar conflitos de classificação como a sobreposição rocha/sombras e os falso-positivos na classificação. Para tanto sugere-se como alternativa de refinamento à técnica DCDP, a aplicação da técnica DCDP sobre imagens-fração em uma análise sub-pixel.

Os resultados alcançados através da biblioteca espectral desenvolvida neste trabalho são bastante expressivos, visto que esta abrange uma relevante base temática para a região de interesse. Com as informações contidas na biblioteca espectral espera-se auxiliar pesquisas que busquem melhor compreender o comportamento espectral de determinados alvos rochosos em conjunto com a sua composição físico-química, além de viabilizar a consolidação de técnicas de emprego da caracterização espectral e do sensoriamento remoto junto à geologia.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I.; BINS, L.S. Application of image merging, segmentation and region-classification techniques as a new approach for the detailed thematic mapping of soil-vegetation assemblages. *Revista Brasileira de Geociências*, v.27, n.2, p.207-210, 1997.

ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I.; CORREIA, V.R.M. Use of landsat thematic mapper imagery as mineral prospecting tool in the Tin Province of Goiás, Brazil. *Geocarto International*, v.11, n.1, p.61-69, 1996.

AMOS, B. J.; GREENBAUM, D. Alteration detection using TM imagery, the effect of supergene weathering in an arid climate. *International Journal of Remote Sensing*, v.10, n.3, p.515-527, 1989.

CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. 3 ed. Campinas, SP. 1992. 170p.

CROSTA, A.P.; SOUZA FILHO, C.R.; AZEVEDO, F. Caracterizando halos de alteração hidrotermal em depósitos auríferos epitermais com os sensores multiespectrais orbitais LANDSAT/TM e ASTER: o caso do Distrito de Los Menucos, Argentina. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 41., João Pessoa, 2002. Anais. João Pessoa: Sociedade Brasileira de Geologia, 2002

CRÓSTA, A.P.; SOUZA FILHO, C.R.; AZEVEDO, F.; BRODIE, C. Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International Journal of Remote Sensing*, v. 24 (21), p.4233–4240, 2003.

CURRAN, P.J. 1994. Imaging spectrometry - its present and future role in ENVI®ronmental resarch. p.1-23. In J. Hill and J. Megier (ed.) *Imaging spectrometry - a tool for ENVI®ronmental observations*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands

EMRAN, A.; HAKDAOUI, M.; CHOROWICZ, J. Anomalies on geologic maps from multispectral and textural classification: the Bleida Mining District (Morocco). *Remote Sensing of ENVI®ronment*, v.57, n.1, p.13-21, 1996.

ENVI®: Guia do usuário. Disponível no sitio eletrônico “<http://www.sulsoft.com.br/index.php/downloads/>”.

Acessado em 29/02/2013.

FORMAGGIO, A.R.; EIPHANIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. Comportamento Espectral (450-2450 nm) de Solos Tropicais de São Paulo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20: 467-474. 1996.

FLAASH “User’s Guide”. Disponível no site: <http://www.rsinc.com/ENVI®/>, acesso agosto de 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E – Processamento de Imagens Digitais. 3ª ed. Pearson, SP. (2009).

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks: Silicate Minerals.

Modern Geology, 1: 283-300. 1970.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W.; LENHOFF, C.J. Visible and Near-infrared Spectra of Minerals and Rocks:

III. Oxides and Hidroxides. *Modern Geology*, 2: 195- 205. 1977

LULLA, K. Some observations on geobotanical remote sensing and mineral prospecting. *Canadian Journal of Remote Sensing*, v.11, n.1, p.17-39, Jul. 1985.

MOREIRA, A. D. A. Identificação de Conflito no Uso da terra em uma Microbacia Hidrográfica. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Viçosa, MG: UFV, 1999. 61p.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. 1 ed. São José dos Campos, SP. 2001. 250p.

RICHARDS, J.A.. Remote sensing digital image analysis – an introduction. 2nd ed. Springer-Verlag, Berlin, 1993.

SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. Remote Sensing: The Quantitative Approach. 1.ed. McGraw-Hill Book Company, 1978.

VAN DER MEER, F. Can we map swelling clays with remote sensing? International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v.1, n.1, p.27-35, 1999

WHITE, K.; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J. Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper data. Remote Sensing of Environment, v.62, n.1, p.30-39, 1997

MAPEAMENTO DAS ÁREAS OCUPADAS COM PASTAGENS NO TRIÂNGULO MINEIRO-MG

Jorge Luís Silva Brito

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia
Uberlândia – MG

Roberto Rosa

Universidade Federal de Uberlândia Instituto de Geografia
Uberlândia – MG

Mirna Karla Amorim da Silva

Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Geografia
Monte Carmelo-MG

RESUMO: O objetivo deste trabalho é mapear as áreas ocupadas com pastagens na região do Triângulo Mineiro, Oeste de Minas Gerais, composta por 35 municípios. A base cartográfica foi elaborada a partir das cartas topográficas do IBGE na escala 1:100.000, contendo a rede viária a hidrografia, o limite e a sede dos municípios. Para o mapeamento da pastagem no Triângulo Mineiro foram utilizadas as imagens do sensor OLI do satélite Landsat -8, bandas 3, 4 e 5, cenas das órbitas 221 a 223 e pontos 073 e 074, do mês de setembro de 2015. O processamento digital das imagens foi realizado no software ENVI 5.0. As áreas de pastagens foram delimitadas pelo método de edição vetorial em tela do computador e atualização dos dados do mapa de uso da terra do projeto TerraClass,

utilizando a composição colorida 3b4g5r. O mapeamento das pastagens apresentou uma confiabilidade de 81%, determinada através da verificação em campo. Os resultados indicaram que as pastagens ocupavam em 2015 uma área de 24184,65 km², correspondendo a 45,02% das terras do Triângulo Mineiro. O município com a maior área ocupada com pastagem foi campina Verde, correspondendo 70% de suas terras e o município com a menor área ocupada com pastagens foi Planura, correspondendo a 9,11% de suas Terras.

PALAVRAS-CHAVE: uso da terra, pastagem, sensoriamento remoto, classificação de imagens.

ABSTRACT. This study aims to map pasture areas in the region of Triângulo Mineiro, west of Minas Gerais state, composed of 35 municipalities. The cartographic basis was elaborated from IBGE's topographical charts in the scale of 1:100.000, with the road network, hydrography, the borders and seat of the municipalities. For the pasture mapping in Triângulo Mineiro images of OLI sensor from Landsat 8 satellite were used, bands 3, 4 and 5, scenes of the orbits 221 to 223 and points 073 and 074, of the month of September 2015. The digital image processing was accomplished through ENVI 5.0 software. The pasture areas

were delimited and updated from the TerraClass project, using the computer screen vector editing method, having a 3b4g5r colored composition as basis. The pasture mapping presented a reliability of 81%, determined through checking in the field. The results indicated that the pastures occupied, in 2015, an area of 24.184,65 km², corresponding to 45.02% of the lands of Triângulo Mineiro. The municipality with the biggest pasture occupied area was Campina Verde, corresponding to 69.7% of its lands, and, the municipality with the smallest pasture occupied area was Planura, corresponding to 9.1% of its lands.

KEYWORDS: land use, pasture, remote sensing, image classification.

1 | INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado ocupa uma área de 2.039.387 km², abrangendo 12 estados (IBGE, 2004), possuindo grande número de nascentes, sendo parte considerável das principais regiões hidrográficas da América do Sul e formas variadas de relevo.

As áreas de pastagens ocupavam, em 2015, 600.840 km² do bioma Cerrado, correspondendo a 29,46% da área do bioma e cerca de 40% da área total de pastagens no Brasil (BRASIL, 2015). Pastagens cultivadas é a classe de cobertura de terras mais representativa na região do Triângulo Mineiro, no extremo oeste de Minas Gerais (SANO et al., 2010). No entanto, estima-se que mais de 50% das pastagens cultivadas no Cerrado estejam severamente degradadas (OLIVEIRA et al., 2004).

A degradação de pastagens é entendida como um processo evolutivo de perda de vigor, produtividade, e capacidade de recuperação natural, tornando-as susceptíveis aos efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados (MACEDO; ZIMMER, 1993).

O uso de imagens de satélite constitui uma alternativa bastante confiável e economicamente viável para o monitoramento das pastagens cultivadas no Brasil (FERREIRA et al., 2012; SANO et al., 2010)

O objetivo deste trabalho foi mapear as áreas ocupadas com pastagens plantadas na região do Triângulo Mineiro, oeste de Minas Gerais, no ano de 2015, por meio de imagens OLI/Landsat-8.

1.1 Área de Estudo

A área da pesquisa está localizada no Triângulo Mineiro, oeste de Minas Gerais, composta por 35 municípios (Figura 1), localizada entre as coordenadas de geográficas de 20°18' e 18°28' de latitude Sul e 51°12' e 47°30' de longitude ao Oeste de Greenwich, ocupando uma área de 53.722,20 km² (IBGE 2016).

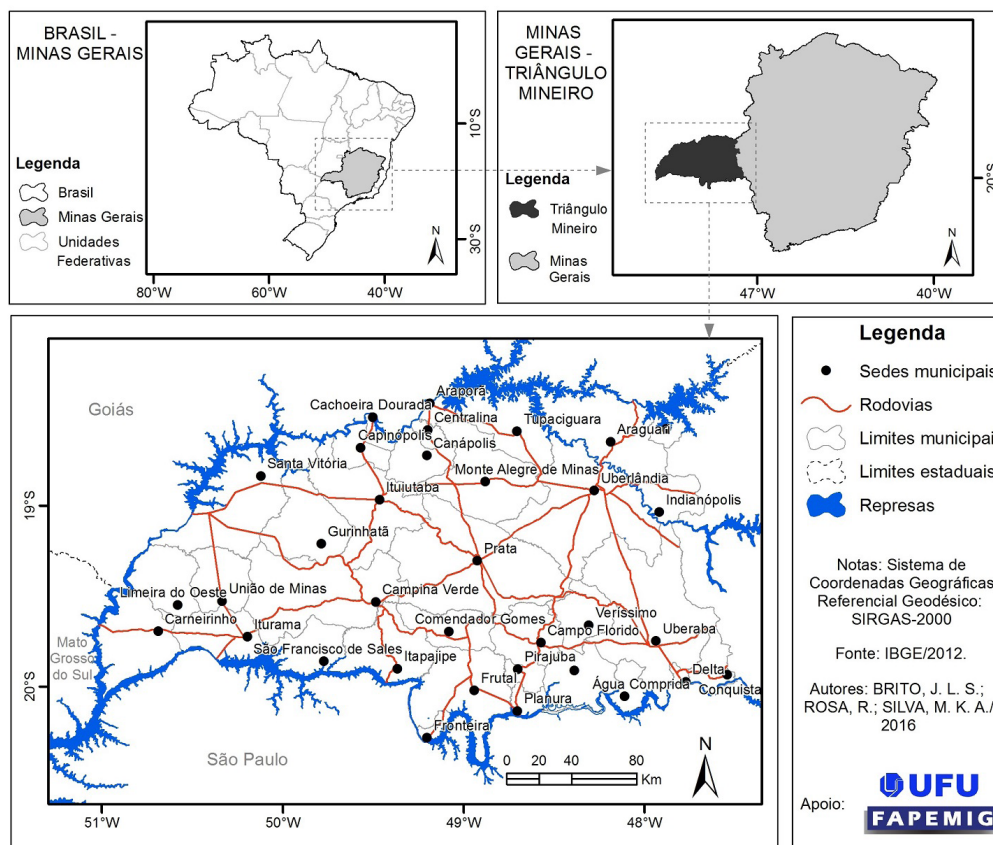


Figura 1. Mapa de localização dos municípios do Triângulo Mineiro, estado de Minas Gerais.

Os solos, em sua grande maioria, são formados por Latossolos, bem profundos e bem drenados com relevo plano a suave ondulado. Segundo a classificação de Koppen, o clima é tropical, com precipitação média anual de 1.520 até 1.680mm (SOUZA et al., 2009).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS




Para o mapeamento da pastagem, no Triângulo Mineiro, foram utilizadas as imagens do sensor OLI do satélite Landsat 8, bandas 3, 4 e 5, cenas das órbitas 221 a 223 e pontos 073 e 074, do mês de setembro de 2015.

O processamento digital das imagens foi realizado no software ENVI 5.0. Foram realizadas as operações de correção geométrica e geração de composições coloridas nas bandas 3b4r5g.

As áreas de pastagens foram delimitadas e atualizadas a partir dos dados do Projeto TerraClass do Bioma Cerrado (BRASIL, 2015), disponível na página eletrônica www.dpi.inpe.br/tccerrado, usando o método de edição vetorial em tela do computador, a partir de uma chave de interpretação para as pastagens, de acordo com o nível de degradação (Quadro 1 e Figura 2).

Para a obtenção do mapa de pastagens, foram utilizados os seguintes procedimentos técnicos:

- Elaboração da base cartográfica do Triângulo Mineiro, a partir das cartas topográficas do IBGE, na escala 1:100.000, contendo a rede viária, a hidrografia, o limite e a sede dos municípios;
- Extração dos polígonos de pastagens do arquivo shapefile, do projeto Terra-Class do Bioma Cerrado (Figura 2), da área do Triângulo Mineiro;
- Atualização e edição dos polígonos de pastagens pelo método de edição vetorial em tela do computador, da composição colorida 3g4g5r, com o auxílio da chave de interpretação (Quadro 1);
- Trabalho de campo para verificação da precisão do mapeamento;
- Elaboração do mapa final de áreas ocupadas com pastagens e cálculo de áreas.

Tipo de pastagem	Cor e padrão característico de interpretação	Exemplo na imagem
Pastagem muito degradada	Verde claro com textura média e forma geométrica regular	
Pastagem pouco degradada	Verde com textura média e forma geométrica regular	
Pastagem melhorada	Vermelho claro com textura média e forma geométrica regular	

Quadro 1 - Exemplo de chave de interpretação utilizada para a edição em tela do computador dos polígonos de pastagem, de acordo com a qualidade da pastagem na imagem OLI/Landsat 8, composição colorida 3b4g5r, de setembro de 2015.



a) Pastagem muito degradada



b) Pastagem pouco degradada



c) Pastagem melhorada

Figura 2. Fotos de três áreas de pastagens com três níveis de degradação, encontradas na área de estudo: a) pastagem muito degradada; b) pastagem pouco degradada e c) pastagem melhorada.

3 | RESULTADOS

A Figura 3 mostra o mapa de distribuição das pastagens no Triângulo Mineiro, referente ao ano de 2015. A partir da verificação de campo, foi possível confirmar que, das cinquenta e quatro amostras identificadas como pastagens, dez não foram mapeadas, obtendo assim, um grau de concordância do mapeamento de 81%.

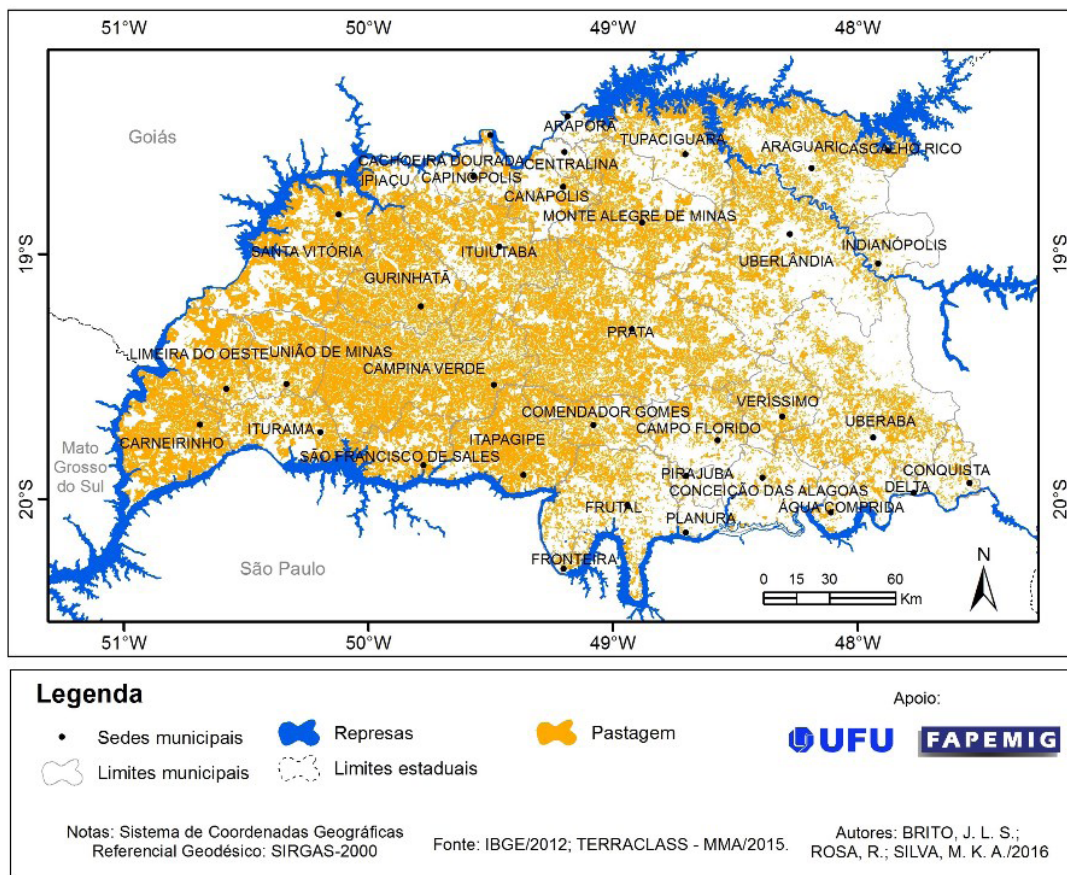


Figura 3. Distribuição das pastagens dentro do Triângulo Mineiro

A Tabela 1 indica o percentual de áreas ocupadas com pastagens nos municípios do Triângulo Mineiro. A área total ocupada é de 24.184,65 km², correspondendo a 45,02% das terras do Triângulo Mineiro. O município com a maior área ocupada com pastagem é Campina Verde (69,7%) e o município com a menor área ocupada com pastagens é Planura (9,1%).

A Figura 4 mostra a estratificação da área de estudo em função do percentual de área dos municípios ocupada com pastagem no ano de 2015, indicando que os municípios situados no oeste do Triângulo mineiro ainda utilizam 60 a 70% de suas terras com pastagens. Já os municípios situados na porção Sudeste da região (Delta, Uberaba, Planura, Conquista e Água Comprida, Frutal e Pirajuba) utilizam menos de 30% de suas terras com pastagens. Esses municípios apresentam um uso intenso com a cultura de cana-de açúcar, com a instalação de usinas de Álcool e Açúcar.

Municípios	Área do município	Área do município ocupada com pastagem	
	(km ²)	(km ²)	%
Água comprida	492,22	89,17	18,12
Araguari	2.729,51	1.059,06	38,8
Araporã	295,84	61,48	20,78
Cachoeira Dourada	200,93	63,6	31,65
Campina Verde	3.650,75	2.542,95	69,66
Campo Florido	1.264,25	386,46	30,57

Canápolis	839,74	306,57	36,51
Capinópolis	620,72	160,19	25,81
Carneirinho	2.063,32	1.325,57	64,24
Cascalho Rico	367,31	197,41	53,74
Centralina	327,19	84,96	25,97
Comendador Gomes	1.041,05	533,77	51,27
Conceição das Alagoas	1.340,25	205,9	15,36
Conquista	618,36	135,56	21,92
Delta	102,84	14,71	14,3
Fronteira	199,99	69,32	34,66
Frutal	2.426,97	765,2	31,53
Guarinhatã	1.849,14	1259	68,09
Indianópolis	830,03	107,63	12,97
Ipiáçu	466,02	169,83	36,44
Itapagipe	1.802,44	1.138,97	63,19
Ituiutaba	2.598,05	1.500,27	57,75
Iturama	1.404,66	614,89	43,78
Limeira do Oeste	1.319,04	718,38	54,46
Monte Alegre de Minas	2.595,96	1.169,86	45,06
Pirajuba	337,98	33,85	10,02
Planura	317,52	28,92	9,11
Prata	4.847,54	2.799,19	57,74
Santa Vitória	3.001,36	1.666,33	55,52
São Francisco de Sales	1.128,86	627,51	55,59
Tupaciguara	1.823,96	638,27	34,99
Uberaba	4.523,96	1.247,13	27,57
Uberlândia	4.115,21	1.330,77	32,34
União de minas	1.147,41	733,14	63,9
Veríssimo	1.031,82	398,8	38,65
TOTAL	53.722,20	24.184,65	45,02

Tabela 1. Cálculo da área ocupada pelas pastagens, no ano de 2015, em cada município do Triângulo Mineiro.

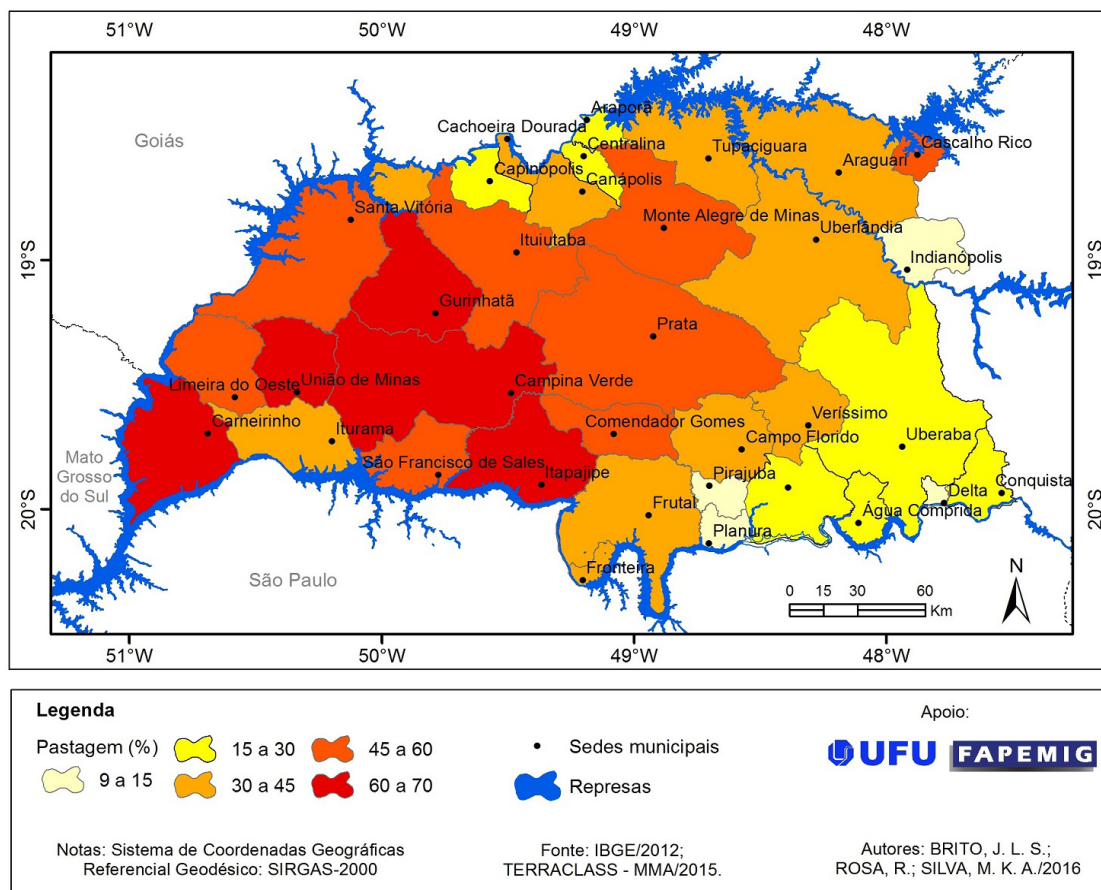


Figura 4. Distribuição espacial das áreas ocupadas com pastagens, em 2015, nos municípios do Triângulo mineiro, estado de Minas Gerais

4 | CONCLUSÕES

Os resultados da pesquisa indicaram que as pastagens ocuparam uma área de 24.184,65 km², correspondendo a 45,0% das terras do Triângulo Mineiro, sendo que o município com a maior área ocupada com pastagem é Campina Verde (69,7%) e o município com a menor área ocupada com pastagens é Planura (9,1%). A metodologia utilizada mostrou-se satisfatória, pois produziu um mapa com uma confiabilidade de 81%.

5 | AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Fundação de amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio na Pesquisa através do projeto nº CRA-APQ-01542-14.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado**: Projeto

TerraClass Cerrado. 2013/MMA/sbf. Brasília. MMA, 2015. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/tccerrado>. Acesso em: 15 abr. 2015.

FERREIRA, L. G.; SANO, E. E.; FERNANDEZ, L.; ARAUJO, F. M. Biophysical characteristics and fire occurrence of cultivated pastures in the Brazilian savanna observed by moderate resolution satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, 2012.

IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. Escala 1:5.000.000. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>. Acesso em: 10 set. 2016.

IBGE. **Área territorial dos Municípios do Brasil**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/areaterritorial/area.shtm>. Acesso em: 03 nov. 2016.

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistema pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: FAVORETTO, V.; RODRIQUES, L.R.A.; REIS, R.A. (eds.). Simpósio sobre ecossistemas de pastagens, 2, 1993, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, UNESP, 1993. p.216-245.

OLIVEIRA, O. C.; OLIVEIRA, I. P.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M. Chemical land biological indicators of decline/degradation of Brachiaria pastures in the Brazilian Cerrado. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v.103, p.289-300, 2004.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, p. 113-124, 2010.

SOUZA, R. R. de; COSTA, R. A.; ASSUNÇÃO, H. F. da; MELO, S. C. Variações pluviométricas no Triângulo Mineiro-MG. **GEONORDESTE**, Ano XX, n. 2, p.179-201, 2009.

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

Caroline Bessi Fávero

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

Anderson Antonio da Conceição Sartori

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

Sidnei Fonseca Guerreiro

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

Victor Munhoz Ruiz

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

Rosane Maria Kaspary

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP/Sorocaba), Doutorado em Ciências Ambientais. Sorocaba – SP.

Martha Santana Martins

Universidade de Salvador (UNIFACS), Mestre em Desenvolvimento Regional e Urbano. Salvador - BA.

RESUMO: A sub-bacia hidrográfica do Alto Batalha é caracterizada por grandes fontes de distúrbio devido ao excesso de intervenção

antrópica, causada pela demanda de alimento, em paralelo com as necessidades de matéria prima para as indústrias. Essa intervenção humana, desordenada e sem critérios de manejo do solo, resultou em uma paisagem extremamente fragmentada. A fragmentação florestal é o principal desafio para a conservação da biodiversidade. O objetivo desse estudo foi diagnosticar os fragmentos da sub-bacia, através da classificação da imagem do satélite CBERS 4, possibilitando uma análise qualitativa e quantitativa dos fragmentos da paisagem. Para tornar a classificação possível, e tornar o mais próximo da realidade, a imagem do satélite foi fusionada pelo método de Brovey. Depois de classificar a imagem, foi possível observar que a sub-bacia do Alto Batalha possui uma grande quantidade de fragmentos com área menor à 20 ha, que torna difícil a conservação da biodiversidade local. Através desses resultados foi possível concluir que, mesmo que haja grande quantidade de fragmentos com áreas menores que 20 ha, existem fragmentos com mais de 100 ha de área, que são extremamente importantes para a conservação e manutenção da biodiversidade.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, Processamento de imagem, Classificação de imagem.

ABSTRACT: The Alto Batalha sub-basin is

characterized by great sources of disturbances due to the excessive human intervention, caused by the great demand of food, in parallel to the necessities of raw material to the industries. This human intervention, messy and without discretion of management of the soil, has made the landscape extremely fragmented. The forest fragmentation is the main challenge of the biodiversity conservation. The purpose of this project was to diagnose the fragments of the sub-basin, through the image classification of the satellite CBERS 4, in a way that made possible the qualification and quantification of the landscape's forest fragments. To make the classification possible, and bring it closer to reality, we merged the image in the method Brovey. After the image's classification was finished, it was possible to observe that the Alto Batalha sub-basin has a great amount of fragment with areas under 20 ha, which made it difficult to maintain the biodiversity's conservation. From this results it was possible to conclude that, even thou the number of fragments with areas under 20 ha is big, there are fragments with over 100 ha of area, which are extremely important to the conservation and maintenance of the biodiversity.

KEYWORDS: remote sensing, sensoriamento remoto, processamento de imagens, classificação de imagem.

1 | INTRODUÇÃO

A sub-bacia do Alto Batalha é caracterizada por grandes fontes de distúrbios devido a excessiva intervenção antrópica, ocasionada pela grande demanda por alimentos, paralelamente, às necessidades de matéria prima para as indústrias, gerando conseqüentemente necessidade de novas áreas agrícolas ao processo produtivo. Essa intervenção antrópica, desordenada e sem critérios de manejo do solo, vem causando muitos problemas, dentre eles a perda da qualidade da água e, do solo e processos de fragmentação florestal que são elementos essenciais de uma paisagem. Como resultado desta forma desordenada de ocupação, as paisagens vêm sofrendo modificações, ocasionado diversos problemas para as populações, principalmente no que se diz respeito à fonte de abastecimento em qualidade e quantidade dos recursos hídricos (SOUZA *et al.*, 2017; PILONE *et al.*, 2017; DO NASCIMENTO AQUINO, 2018).

Segundo Fontes (1995), foi a partir da década de 1970, que a sub-bacia do Alto Batalha começou a sofrer esse tipo de intervenção antrópica com maior intensidade, devido a crescente participação da cultura da cana-de-açúcar, que passou de 0,11%, em 1972, para 15,83% em 1995, em substituição às áreas de pastagens e principalmente às áreas de mata nativa.

Como resultado desta forma desordenada de ocupação, a paisagem foi muito modificada, ocasionado diversos problemas para as populações que utilizam essa sub-bacia como fonte de água limpa e renda sendo assim capaz de mostrar a importância do estudo da paisagem, para a análise dos fragmentos florestais no Alto Batalha, possibilitando a determinação do grau de comprometimento ecológico geográfico da

área (BEZERRA, 2011).

Muitos estudos vêm sendo realizado com objetivos de analisar a integridade das paisagens Viana (1998). Diagnósticos em paisagens com interferências antrópicas tem como intuito a análise em quantidade e qualidade em fragmentos florestais, para determinar o grau de comprometimento ecológico geográfico da área de estudo. A fragmentação das matas é um dos principais desafios da conservação da biodiversidade. Especialmente em paisagens intensamente cultivadas, a maior parte dos remanescentes florestais encontra-se em forma de pequenos fragmentos (SOUZA *et al.*, 2013; BRINCK, 2017).

Dentre as consequências do processo de fragmentação florestal, destacam-se a diminuição da diversidade biológica, o distúrbio do regime hidrológico das bacias hidrográficas, as mudanças climáticas, a degradação dos recursos naturais e a deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais (Martins *et al.*, 2002). As respostas das comunidades vegetais e de cada espécie à fragmentação variam de acordo com diversos fatores, como histórico da fragmentação, seu tamanho e forma, impactos das ações humanas atuais, grau de isolamento e a sensibilidade da comunidade e dos indivíduos de cada espécie a estes processos (CANTINHO *et al.*, 2010).

Martins (2002) afirmou que a diminuição da diversidade biológica, o distúrbio do regime hidrológico das bacias hidrográficas, as mudanças climáticas, a degradação dos recursos naturais e a deterioração da qualidade de vida das populações tradicionais são consequências que se destacam do processo de fragmentação florestal.

A dinâmica dos ecossistemas possui grande influência nos processos ecológicos, mostrando assim a importância do entendimento do significado da ecologia de paisagem. Segundo (VOLOTÃO,1998; ZHOU *et al.*, 2017; CADOTTE *et al.*, 2017), a ecologia de paisagem envolve o estudo de padrões da paisagem, as interações entre os fragmentos dentro de uma paisagem, focalizando três características da paisagem:

- a. Estrutura: o relacionamento espacial entre os ecossistemas característicos ou os elementos presentes;
- b. Função: as interações entre os elementos espaciais;
- c. Mudança: a alteração na estrutura e função do mosaico ecológico pelo tempo.

O histórico da fragmentação, seu tamanho e forma, impactos das ações humanas atuais, grau de isolamento e a sensibilidade da comunidade e dos indivíduos de cada espécie a estes processos são fatores importantes para as respostas das comunidades vegetais e de cada espécie à fragmentação (CANTINHO *et al.*, 2010).

Os estudos sobre o efeito da fragmentação são de grande importância para a

conservação da biodiversidade, que até certo ponto, depende da compreensão da influência da configuração espacial dos remanescentes de matas e das chances de persistência em longo prazo das espécies presentes no local (BOSCOLO, 2007; ESTEVAM *et al.*, 2017; ZIMBRES *et al.*, 2018).

A fragmentação florestal é a transformação de grandes florestas em pequenos remanescentes, isolados uns dos outros, em um mosaico de paisagem alteados pelo homem, sendo considerado atualmente como uma das principais ameaças à biodiversidade ecológica mundial Pires *et al.* (2006), tornando assim, fundamental a identificação das áreas essenciais para a conservação do meio, possibilitando o estabelecimento de prioridades no desenvolvimento de métodos de conservação (BORTOLETO, 2014).

O tamanho dos fragmentos está diretamente ligado às espécies contidas no mesmo, fragmentos muito pequenos não suportam algumas espécies, podendo afetar toda a rede de interações dentro do fragmento, instigando espécies a migrarem de habitats e tornando-as mais suscetíveis a extinção (CHIARELLO, 1999; BORTOLETO, 2014).

Pirovani (2012) afirmou que a utilização de métricas de paisagem é um pré-requisito para o estudo da evolução da paisagem, sendo essencial, em uma análise de estrutura de paisagem, a utilização de mais de uma métrica de paisagem. A Tabela (1) apresenta as métricas de paisagem selecionadas pelos autores na caracterização da estrutura da sub-bacia.

Métrica	Revisão Bibliográfica	Autor
Índice de Área	Quantifica o tamanho dos fragmentos.	PIROVANI, 2012.
Índice de borda	Região do fragmento sob maior influência dos fatores externos.	PIROVANI, 2010.
Perímetro	Considerado como índice de borda, quantifica o contorno dos fragmentos.	MCGARIGAL, K; MARKS, B, 1995.
Índice de forma	Analisa o formato dos fragmentos e está diretamente relacionado ao efeito de borda.	FORMAN; GORDON, 1986.
Área nuclear	A área nuclear tem sido considerada pelos estudiosos como a métrica mais importante para a determinação da qualidade dos habitats.	MCGARIAL; MARKS, 1995.
Distância do vizinho mais próximo	A posição relativa entre os fragmentos é importante para determinar a qualidade do fluxo gênico das espécies da paisagem.	BEZERRA, 2010.

Tabela 1. Métricas de paisagem para análise de estrutura de paisagem.

O sensoriamento remoto e métricas de paisagem possui papel fundamental no processo de caracterização, análise e monitoramento de grandes áreas terrestres (Mascarenhas, 2008), auxiliando a interpretação e compreensão da dinâmica dos fragmentos florestais da paisagem permitindo o acompanhamento das mudanças das

paisagens e seus efeitos sobre o meio ambiente e as espécies locais (Almeida, 2008). Para quantificar e qualificar os fragmentos são utilizados métodos de classificação de imagem.

O objetivo da classificação é descobrir agrupamentos naturais, possibilitando a formação de hipóteses sobre o objeto a ser estudado. A classificação é utilizada para identificar os pixels de uma imagem dentro de várias classes de coberturas ou temas, podendo ser útil para a análise da cobertura do solo existente em uma paisagem e a produção de dados estatísticos dessas áreas (Oliveira, 1999). O objetivo desse trabalho foi diagnosticar os fragmentos florestais da sub-bacia do Alto Batalha – SP, por meio da classificação da imagem do satélite CBERS 4, de maneira que tornasse possível a quantificação e qualificação dos fragmentos florestais da paisagem.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo foi a sub-bacia do Alto Batalha (Figura 1), está situada no centro geográfico do estado de São Paulo, entre os paralelos 22° 20' e 22° 30' Sul e os meridianos 49° 00' e 49° 10' WG, e possui uma área aproximada de 14.670 hectares inseridos na UGRHI 13 e 16, abrangendo o território pertencente aos municípios de Agudos, Bauru e Piratininga. De acordo com a Classificação de Köppen, a região de Bauru é classificada como Cwa - temperado macro térmico de inverno seco não rigoroso. Segundo dados coletados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a região tem precipitação média anual de 1.331 mm.

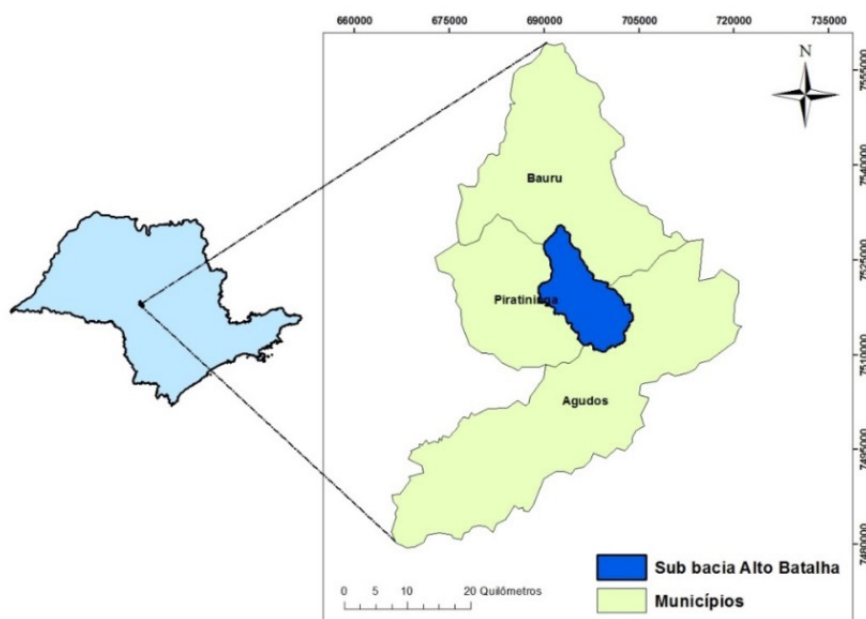


Figura 1. Localização da área de estudo: Sub bacia do Alto Batalha- Bauru, Piratininga e Agudos/SP.

As vegetações nativas da área de estudo caracterizam-se por biomas de floresta tropical e cerrado, porém atualmente a sub-bacia está ocupada, predominantemente por pastagens, áreas agrícolas e área rural.

2.2 Imagens Orbitais

Para a elaboração do plano de informação de uso e ocupação do solo, com ênfase nos fragmentos florestais, foram utilizadas as imagens do satélite CBERS-4, obtidas através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE.

Foram utilizadas as bandas pancromática (PAN 5) e multiespectral (PAN 10), bandas espectrais 2, 3 e 4, do dia 19 de março de 2016. As características das imagens CBERS 4 estão contidas na Tabela (2).

	0,51 – 0,85 μ m (Pan)
Bandas espectrais	0,52 – 0,59 μ m (G)
	0,63 – 0,69 μ m (R)
	0,77 – 0,89 μ m (NIR)
Resolução	5 m (Pan) / 10 m (G, R, NIR)
Largura da faixa imageada	60 km
Apontamento	$\pm 32^\circ$
Revisita	5 dias
Revisita real	Não
Quantização	8 bits
Taxa de dados bruta	140 Mbit/s
	100 Mbit/s

Tabela 2. Características das câmeras pancromática e multiespectral do CBERS 4

2.3 Fusão

O método de fusão aplicado foi o Brovey utilizando o *software* ArcGIS 10.3. A transformação Brovey consiste na combinação aritmética entre uma imagem multiespectral RGB de baixa resolução espacial (10m) e uma imagem pancromática de alta resolução (5m). Cada banda da imagem multiespectral é multiplicada pela razão da imagem pancromática dividida pela soma das bandas da imagem multiespectral (VRABEL, 1996; SCHNEIDER, 2003; PINHO, 2005; NAGI, 2012).

2.4 Classificação

O método de classificação aplicado foi o *Maximum Likelihood Classification*. Este método de classificação parte do pressuposto que o usuário conheça previamente a área analisada, bem com a distribuição das classes, para que desta forma, quando da aplicação da classificação, a seleção de amostras de treinamento possa ser o mais eficiente possível (CRÓSTA, 1993).

O método também exige que sejam selecionadas algumas amostras de uso e ocupação do solo. Para realizar as amostras de cada uso de solo foi criado um *shape* em forma de ponto, sendo posicionados duzentos pontos de amostragem sobre os diferentes objetos e alvos, em sequência foram estabelecidas cinco classes de uso e ocupação: Agricultura, Área Urbana, Área de Reflorestamento, Mata Nativa e Recursos Hídricos.

Para a introdução dos pontos no mapa de uso e ocupação do solo foi utilizando o *Google Earth* como ferramenta de apoio para uma melhor definição da cobertura do solo.

Essas amostras de uso do solo são utilizadas para treinar o sistema para reconhecer o padrão estabelecido. Então o sistema computacional compara os pixels selecionados como amostras com os pixels contíguos, e quando o pixel contíguo é aceito, o processo continua para os demais pixels. Esse processo ocorre até que todos os pixels contidos na área de interesse da imagem estejam classificados.

2.5 Análise dos Fragmentos

Para a geração do plano de informação foi extraído do mapa de uso e ocupação do solo os fragmentos de floresta nativa. Primeiramente foi realizada uma análise com os fragmentos em conjunto. Após este processo os fragmentos foram analisados individualmente.

2.6 MÉTRICAS DE PAISAGEM

A análise das métricas de paisagem foram realizadas em um segundo momento por meio do *plug in* VLATE 2.0, que foi inserido no *software* ArcGIS. Através desse *plug in* puderam ser analisadas diversas variáveis, como área e perímetro de cada fragmento de forma individual, distância do vizinho mais próximo, análise de forma, efeito de borda e análise de área total.

Para a determinação da área nuclear considerou-se uma borda de 50 metros, distância em que os efeitos de borda tendem a desaparecer (MURCIA, 1995).

Cada uma dessas análises gerou um banco de dados que foi extraído para o *software* Excel e analisados individualmente, posteriormente foi elaborado gráficos para cada uma delas, possibilitando interpretações em vários níveis.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a fusão da imagem do satélite CBERS 4 realizada em Brovey (Figura 2) foi possível notar uma melhor visibilidade e distinção das classes de uso e ocupação do solo, resultando em uma imagem com resolução espacial de 5 m. A análise visual da imagem obtida através da fusão possibilitou uma maior nitidez dos alvos terrestres, apresentando uma forma mais próxima da realidade. Esse processo facilitou a extração

dos pontos amostrais para que fosse feita a classificação através do método escolhido conforme ilustrado na Figura (2).

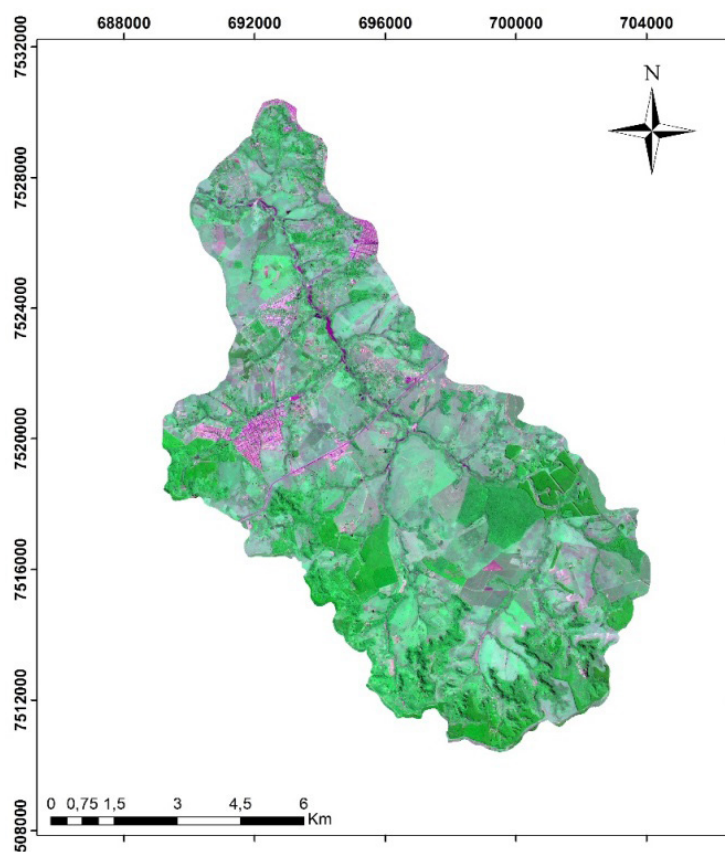


Figura 2. Imagem fusionada do satélite CBERS 4 referente a área de estudo com resolução espacial de 5m.

Após ter sido aplicado o método *Maximum Likelihood Classification* foram identificadas e calculadas as áreas de todas as classes de uso na sub-bacia, eliminando todos os polígonos que tivessem áreas menores que 0,1 ha. Essa eliminação foi realizada para que o resultado obtido chegasse o mais próximo possível da realidade e também não tivesse uma mistura espectral dos pixels. Após a eliminação dos polígonos, com áreas menores que 0,1 ha, obtivemos a classificação de uso e ocupação do solo (Figura 3) da sub-bacia do Alto Batalha, englobando todas as classes definidas e suas respectivas áreas (Tabela 2).

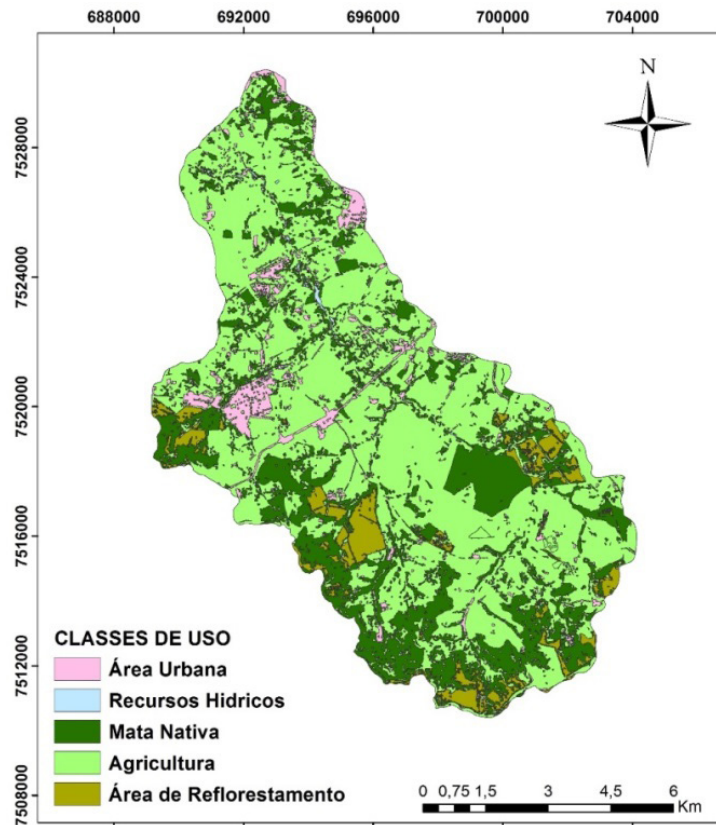


Figura 3. Classificação do uso do solo da área de estudo, sub-bacia do Alto Batalha.

Pode-se observar que a agricultura ocupa a maior área na sub-bacia estudada, cerca de 64% da área total, ou seja, 9.387,65 ha, conforme a Tabela 2, e que em toda a parte central da sub-bacia hidrográfica está concentrada a agricultura, podendo ser avistados poucos focos de fragmentos de matas nativas.

Classes de uso	Área (ha)	Porcentagem
Área Urbana	827,35	5,65%
Corpos d'água	33,77	0,23%
Mata Nativa	3.643,06	24,83%
Agricultura	9.387,65	63,99%
Área de Reflorestamento	777,53	5,30%

Tabela 2. Classes de uso do solo na sub-bacia do Alto Batalha

A alta erodibilidade dos solos está associada à baixa cobertura do solo pela vegetação nativa. A principal consequência deste impacto é o assoreamento do solo que modifica a qualidade da fauna, da flora e das águas (Andrade *et al.* 2007). Outro impacto importante de grandes áreas de agricultura é o fato de elas atuarem como barreiras para o deslocamento animal e para a dispersão vegetal, influenciando diretamente na taxa de colonização dos fragmentos (LAURENCE, VASCONCELOS, 2009).

Embora a agricultura seja a principal atividade causadora desses impactos, relacionados ao desmatamento e erosão do solo, é uma atividade vital aos países em

desenvolvimento, como o Brasil (WOOD, LINNE, 2005).

Quando comparados os fragmentos florestais de mata nativa de formas individuais (Tabela 3), pudemos observar o tamanho dos fragmentos, a quantidade e área ocupada pelos mesmos.

Foram encontrados 1.147 fragmentos florestais de mata nativa, sendo nítida a predominância de fragmentos com menos de 20 ha, 1133 fragmentos, que abrangem um total de 28,67% da área total ocupada pela mata nativa. Segundo Marcelino (2007), quanto menor for o fragmento, maiores as consequências deletérias em relação às grandes florestas contínuas.

Fernandez (2004) afirmou que, quanto mais isolados, e expostos os fragmentos estiverem, uma série de micro alterações começam a ocorrer em cadeia, desencadeando mudanças e alterações ainda mais profundas no interior do fragmento e na paisagem como um todo.

Tamanho dos fragmentos (ha)	Quantidade de fragmentos		Área total dos fragmentos		Área total (%)
	nº	%	ha	%	
Abaixo de 20,0	1133	98,78	1.044,58	28,67	7,12
20,0 – 100,0	9	0,78	384,59	10,56	2,62
Acima de 100,0	5	0,44	2.213,89	60,77	15,09

Tabela 3. Fragmentos florestais da sub-bacia do Alto Batalha

Devido a essas alterações, a comunidade animal começa a ser afetada também. Ocorre a perda do habitat natural, causando a exclusão de espécies raras ou endêmicas, o aumento da vulnerabilidade de espécies remanescentes pela redução da população, a diminuição das taxas de migração e o isolamento geográfico dos animais (LAURANCE, VASCONCELOS, 2009).

A sub-bacia também apresenta fragmentos de grande extensão (Tabela 3), que possuem área acima de 100 ha, que ocupam 60,77% da área total ocupada pela mata nativa. Fragmentos maiores estão menos sujeitos ao efeito de borda, conseqüentemente possibilitando a melhor conservação ambiental dentro do mesmo, além da ocorrência de maior quantidade de espécies, quando comparado aos fragmentos menores (BIERREGARD *et al*, 2001; LUDWIG *et al.*, 2001). Os grandes fragmentos são muito importantes no panorama geral da conservação dos recursos naturais e das espécies de plantas e animais (SHEA *et al*, 1998).

A relação entre os dados obtidos, por meio da utilização da extensão *V-LATE 2.0*, permitiu uma análise mais detalhada com relação às métricas de paisagem utilizadas para determinar a resiliência e saúde do meio ambiente, focando os fragmentos florestais. Os gráficos relacionando perímetro e área exibem os valores dos perímetros em metros no eixo y, e os valores das áreas em metros no eixo x. Observando na Figura (4) foi nítida a predominância dos fragmentos menores na distribuição gráfica do perímetro, mantendo a maioria dos fragmentos muito concentrados próximo ao

valor de zero. Indicando claramente um desequilíbrio, de acordo com Odum (1988), que afirmou que quanto menor sua proporção entre perímetro e área, ou seja, tamanho de um fragmento florestal, maiores serão os efeitos externos sofridos pelo mesmo, podendo ser observada uma menor proporção no número de espécies quando comparados com fragmentos de áreas maiores.

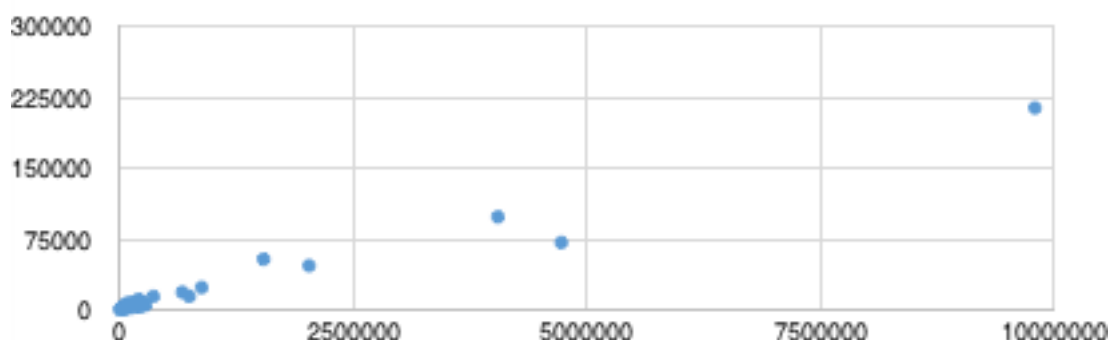


Figura 4. Comparação entre área e perímetro total dos fragmentos florestais.

Quando relacionamos a área dos fragmentos com os perímetros dos mesmos foi possível observar que os fragmentos com áreas menores do que 20 ha (Figura 5) possuem um perímetro muito concentrado abaixo dos 2.000 metros, começando a dispersar a partir desse mesmo valor, possuindo raros fragmentos com perímetros acima de 10.000 metros. Os valores de perímetros para fragmentos com áreas abaixo de 20 ha variam entre 0 e 12.000 metros. As áreas com perímetros abaixo de 2.000 metros sugerem atuar como fragmentos e habitats para as espécies, porém os fragmentos com o perímetro de valor maior sugerem atuar como corredores.

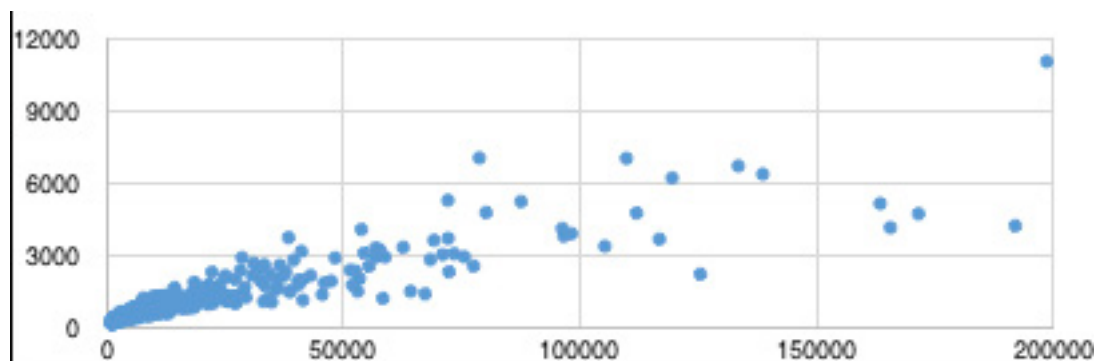


Figura 5. Comparação entre área e perímetro de fragmentos florestais menores do que 20 ha.

De acordo com Forman e Gordon (1986), corredores são faixas pelas quais as espécies, que se encontram isoladas em fragmentos, usam para movimentar-se, possibilitando a união dos fragmentos florestais. De acordo com os autores, os corredores são de extrema importância para a visão geral da paisagem, pois são considerados peças chaves no controle de fluxo biológico e hídrico. A Figura (6) apresentou um padrão um pouco mais disperso que os outros dois, se mantendo um pouco mais equilibrado que os gráficos citados anteriormente.

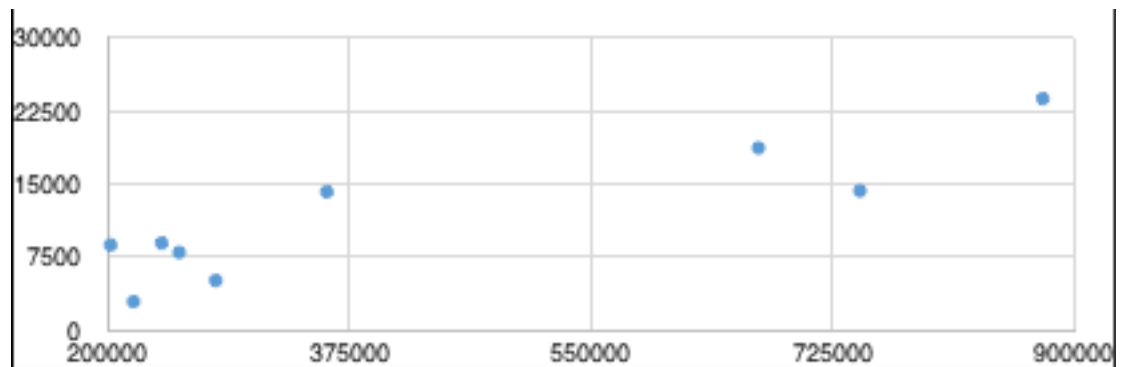


Figura 6. Comparação entre área e perímetro de fragmentos entre 20 e 100 ha.

Os valores de perímetros para fragmentos com áreas acima de 100 ha variam entre 40.000 e 250.000. Como no caso da análise da Figura (5), os perímetros mais distantes da aglomeração do restante tendem a se comportarem como corredores, sendo base para a conectividade dos fragmentos florestais, e a distribuição gênica da paisagem (FORMAN; GORDON, 1986). A Figura (7) nos evidencia o mesmo padrão que a Figura 5. Demonstram que a maioria dos perímetros se concentra com valores mais baixos, neste caso abaixo de 100.000 m, e um se destaca, encontrando-se acima de 200.000 m. Os valores de perímetros para fragmentos com áreas entre 20 e 100 ha variam entre 2.000 e 25.000 m.

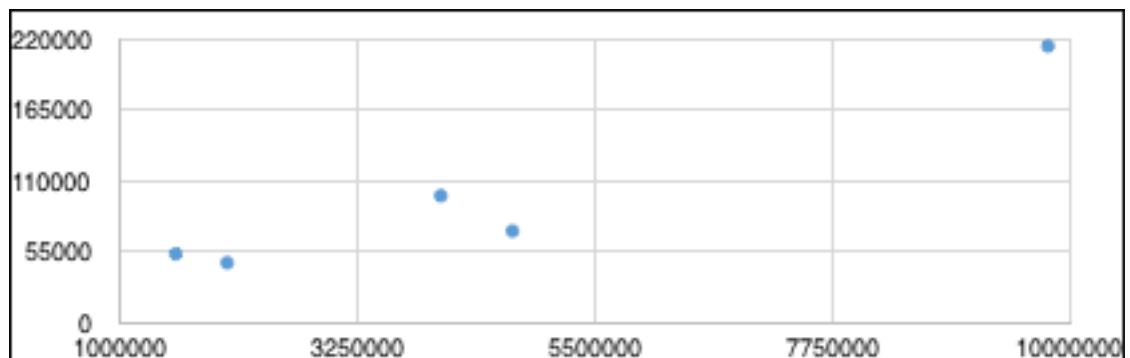


Figura 7. Comparação entre área e perímetro de fragmentos maiores do que 100 ha.

Os gráficos relacionando área e vizinho mais próximo exibem os valores das áreas em metros no eixo x e no eixo y exibe a distância entre o vizinho mais próximo em metros Figura (8).

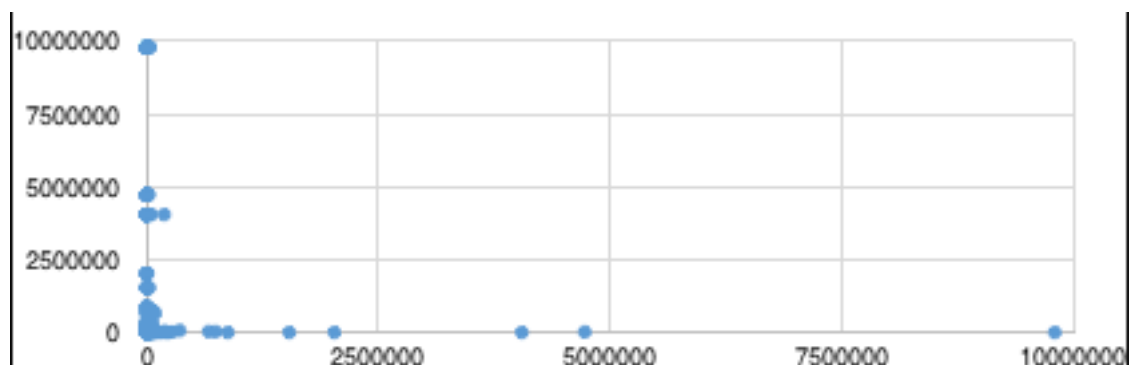


Figura 8. Comparação entre área total e vizinho mais próximo.

Foi possível observar na Figura (9) que grande parte dos fragmentos com áreas menores do que 20 ha possuem o vizinho mais próximo há uma distância entre si abaixo de 2.000.000 m. A distância é muito grande quando considerados o tamanho dos fragmentos, dificultando a distribuição gênica e a migração da fauna entre os fragmentos. A grande distância entre os fragmentos também diminui a reprodução da fauna e da flora, dificultando a manutenção do ecossistema e da biodiversidade. Basile (2006) afirmou que populações isoladas, possuem uma maior propensão ao processo de extinção, pois impossibilita a variação genética, além de não serem capazes de suprir todas as suas necessidades de sobrevivência.

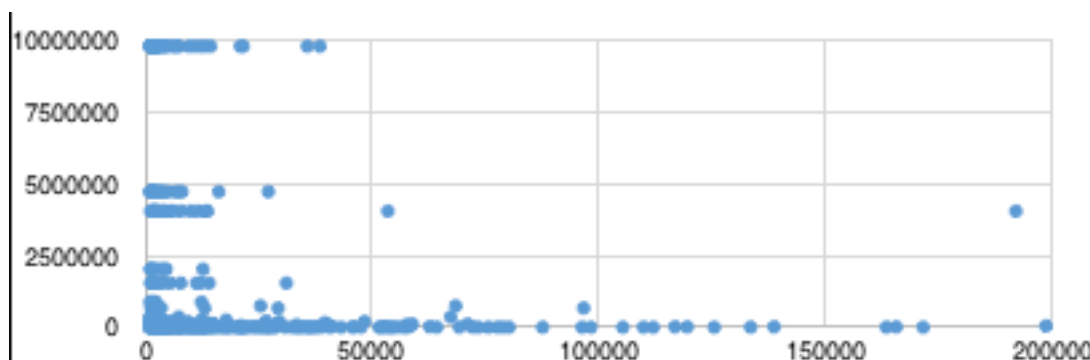


Figura 9. Comparação entre área < 20 ha e vizinho mais próximo.

Já quando observados as Figuras (10) e (11) é possível verificar que os fragmentos maiores possuem uma distância menor para com seu vizinho mais próximo, tornando-os muito importantes para a conservação da biodiversidade e do ecossistema. A pequena distância contribui para a migração gênica, contribuindo para o desenvolvimento e manutenção ecossistêmica. Fernandez (2004) afirmou que, quanto mais isolados, e expostos os fragmentos estiverem, uma série de micro alterações começam a ocorrer em cadeia, desencadeando mudanças e alterações ainda mais profundas no interior do fragmento e na paisagem como um todo.

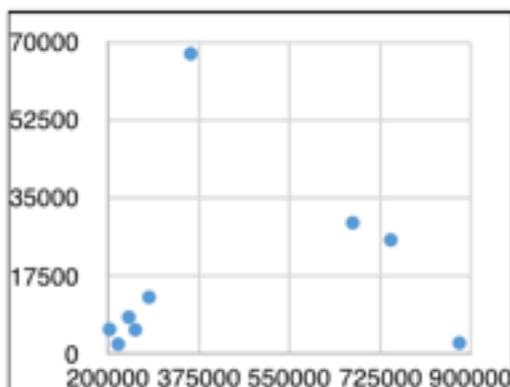


Figura 10. Comparação entre área entre 20 e 100 ha e vizinho mais próximo

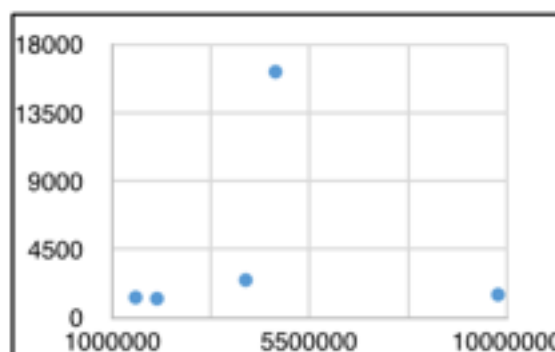


Figura 11. Comparação entre áreas > 100 já e vizinho mais próximo.

Os gráficos relacionando a área e a proximidade dos fragmentos exibem os

valores das distâncias entre os fragmentos em metros, no eixo y, e os valores das áreas em metros, no eixo x. Quando observamos a Figura (12) podemos determinar que grande parte dos fragmentos com áreas menores do que 20 ha possuem distâncias concentradas abaixo de 200.000 m, causando impacto de forma negativa sob o desenvolvimento dos fragmentos.

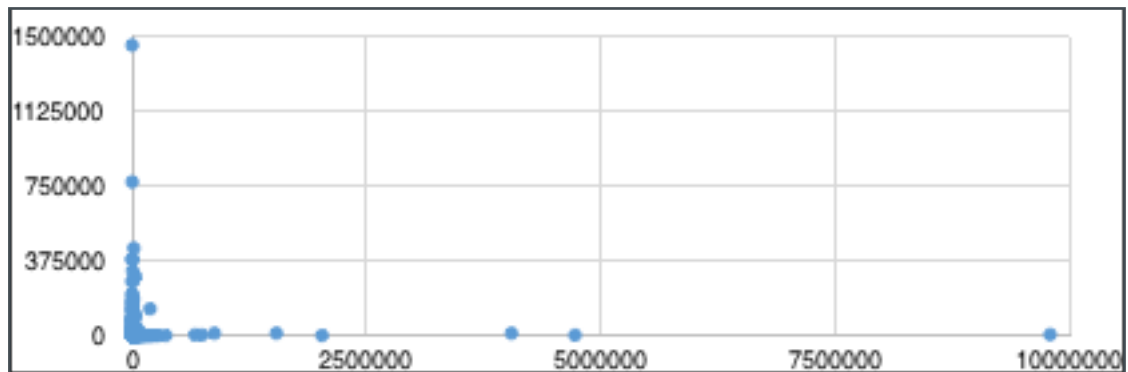


Figura 12. Comparação entre área total e proximidade dos fragmentos.

Na Figura (13), a distância entre os fragmentos se concentra abaixo de 4.000 m, facilitando o desenvolvimento ecológico dos fragmentos e a dispersão gênica, como afirmou Fernandez (2004).

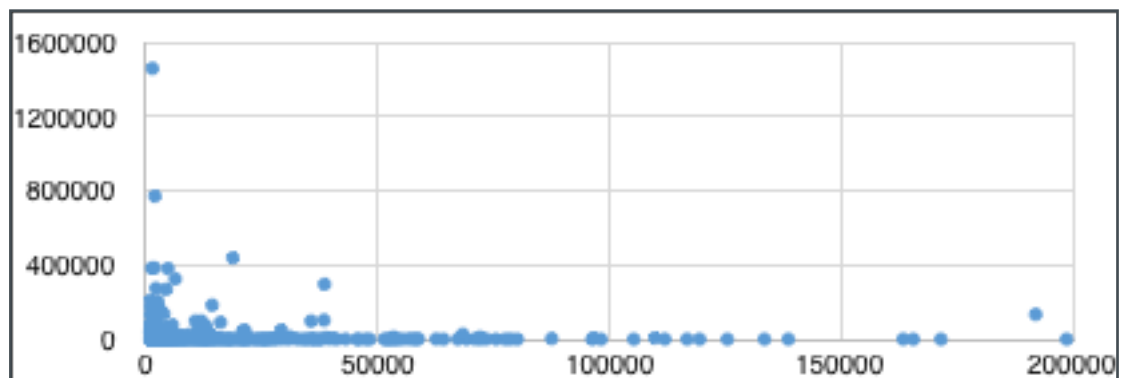


Figura 13. Comparação entre áreas menores que 20 ha e proximidade dos fragmentos.

A Figura (14) pode se analisar que leve aumento para mais disperso, porém mantém a distância entre os fragmentos mais baixa, do que quando comparado a Figura (10). A distância entre os fragmentos se mantém abaixo de 12.000 metros, o que acaba sendo uma distância grande a ser percorrida pela fauna e flora para a manutenção da diversidade ecológica.

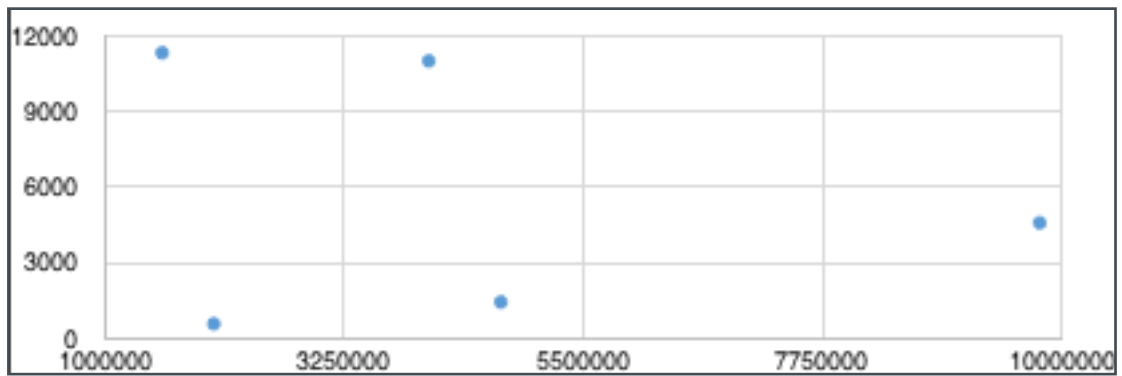


Figura 14. Comparação entre áreas > 100 ha proximidade entre os fragmentos

Para a análise da área nuclear os dados obtidos foram divididos em 4 classes Tabela (4) de acordo com as áreas nucleares em ha, tendo como base o plano de informação da mata nativa da sub-bacia do Alto Batalha.

Área nuclear dos fragmentos (ha)	Número de fragmentos
0 – 0,9	61
0,9 – 9,0	16
9,0 – 50,0	6
Maiores que 50,0	4

Tabela 4. Classes de área nuclear dos fragmentos.

Foi possível observar que apenas 87 dos 1.148 fragmentos conseguiram manter uma área nuclear após a retirada dos 50 metros de borda definido como distância mínima na qual o efeito de borda tende a desaparecer (MURCIA, 1995). Esse fato demonstra que a maioria dos fragmentos florestais não possui área suficiente para contribuir para a preservação e manutenção da biodiversidade da paisagem. A maior parte dos fragmentos que possuem área nuclear, obtiveram valores entre 0 e 0,9 hectares. Muitas vezes o fragmento florestal pode ser grande o suficiente para apresentar uma área nuclear, porém a mesma deve ter a capacidade de abrigar espécies e populações, suportando-as para evitar a extinção e depredação das mesmas (TURNER; GARDNER, 1990).

As maiores áreas nucleares estão acima de 50 hectares e são encontradas em apenas 4 fragmentos. Os fragmentos com maior área nuclear, segundo Forman e Gordon (1986), podem ser considerados essenciais ferramentas para a manutenção da biodiversidade animal e vegetal de uma paisagem.

4 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a sub bacia do Alto Batalha tem grande influência da agricultura, e que mais de 50% de sua área total está ocupada pela mesma. Os fragmentos florestais com área menor que 20 ha predominam a paisagem, o que torna a sobrevivência da fauna e da flora mais difícil, devido aos impactos causados

pela fragmentação. A sub-bacia também apresenta grandes fragmentos florestais que podem ser essenciais para a manutenção da biodiversidade da área de estudo. A fusão da imagem do satélite CBERS 4 foi fundamental para a definição das amostras no processo de classificação da imagem. A caracterização ambiental da paisagem de acordo com as métricas de paisagem estabeleceu basicamente as ações que resultam na conservação, manejo e restauração das áreas com potencial, conforme as características do ambiente.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. G. de. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do parque nacional dos campos gerais, Paraná.** 2008. 74 p. Dissert. (Mestrado em Gestão do Território) PPG-UEPG, Ponta Grossa. 2008.

ANDRADE, E. M. de; et al. **Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada.** Engenharia Agrícola, v.27, n.3, p.683-690, 2007.

BASILE, A. **Caracterização estrutural e física de fragmentos florestais no contexto da paisagem da Bacia do Rio Corumbataí, SP.** 2006. 86f. Dissert. (Mestrado Ecologia Aplicada) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BEZERRA, C. G., et al. **Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte Alegre - ES.** Espaço & Geografia, v.14, n.2, p. 257-277, set./dez. 2011. Disponível em: < <http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/viewFile/144/136>>. Acesso em: 26 de mar. 2017.

BIERREGAARD, R. O.; et al. **Lessons from Amazonia: The Ecology and Conservation of a Fragmented Forest.** Yale University Press, New Haven & London. 2001. 478 p.

BOSCOLO, D. **Influência da estrutura da paisagem sobre a persistência de três espécies de aves em paisagens fragmentadas da Mata Atlântica.** 2007. 244 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Biociência da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

BORTOLETO, L. A. **Análise da dinâmica de fragmentos florestais: estudo de caso de Sorocaba – SP.** 2014. 76f. Dissert. (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2014.

BRINCK, Katharina et al. **High resolution analysis of tropical forest fragmentation and its impact on the global carbon cycle.** Nature Communications, v. 8, p. 14855, 2017.

CADOTTE, M. W. et al. **Solving environmental problems in the Anthropocene: the need to bring novel theoretical advances into the applied ecology fold.** Journal of Applied Ecology, v. 54, n. 1, p. 1-6, 2017

CANTINHO, R. Z.; et al. (2010). **Definição de áreas prioritárias para restauração Florestal no Vale do Paraíba.** In: Sem. de atualização em Sensoriamento Remoto e SIG aplicados à Engenharia Florestal, 9., 2010, Curitiba, PR. Anais. São José dos Campos: INPE, 2010. Artigos, p. 626-633.

CHIARELLO, A. G. **Effects of fragmentation of the Atlantic forest on mammal communities in**

southeastern Brazil. *Biological Conservation*, v. 89, n. 1, p. 71-82, 1999.

CROSTA, A.P. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Editora da Unicamp. Campinas, SP: IG/Unicamp. 1993. 170p.

DO NASCIMENTO AQUINO, Deodato et al. **Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 49, n. 3, p. 420-429, 2018.

FERNANDEZ, F. A. S. **O poema imperfeito: crônicas de biologia, conservação da natureza e seus heróis**. 2.ed. Curitiba: Ed. Universidade Federal do Paraná, 2004. 258 p.

FONTES, J.L. **Evolução do uso do solo, aplicações de agrotóxicos e qualidade da água na micro bacia do Alto Batalha**. 1995. 38f. Monografia (Espec. Engenharia de Segurança do Trabalho) Faculdade de Engenharia e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 1995.

FORMAN, R.T.T.; GORDON, M. **Landscape Ecology**. John Wiley & Sons, New York. 1986.

LAURANCE, W. F.; VASCONCELOS, H. L. **Consequências ecológicas da fragmentação florestal na Amazônia**. *Oecologia Brasiliensis*, v. 13, n. 3, p. 434-451, 2009.

MARCELINO, V.R. **Influencia da fragmentação florestal e da estrutura da vegetação na comunidade de aves da Fazenda Figueira, Londrina – PR**. 2007. 101 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). USP, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba/SP, 2007.

MARTINS, I. C. M.; et al. **Diagnóstico ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais “IPUCAS” no município de lagoa da confusão, Tocantins**. *Revista Árvore*, v. 26, n. 3, p. 299-309, 2002.

MASCARENHAS, L. M de A.; et al. **Sensoriamento remoto como instrumento de controle e proteção ambiental: análise da cobertura vegetal remanescente na bacia do rio Araguaia**. *Sociedade & Natureza*, v. 21, n. 1, p. 5-18, 2009.

MURCIA, C. **Edge effects in fragmented forests: implications for conservation**. *Trends in Ecology and Evolution*, v.10, p. 58-62. 1995.

NAGI, R. **Combining colored and gray shade rasters with high fidelity**. ArcGIS Blog, 2012. Disponível em: < <https://blogs.esri.com/esri/arcgis/2012/01/18/combining-colored-and-grayshade-rasters-with-high-fidelity/>>. Acesso em: 28 de set. 2017.

ODUM, E.P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Editora Guanabara, 1988.

Oliveira, H. N. B. de. **Segmentação e classificação de imagens LANDSAT TM**. 1999. 97 p. Dissert. (Pós-graduação em Informática) Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 1999.

PILONE, E.; DEMICHELA, M.; CAMUNCOLI, G. **Seveso Directives and LUP: The mutual influence of natural and anthropic impacts**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 49, p. 94-102, 2017.

PINHO, C. M. D. **Análise Orientada A Objetos De Imagens De Satélites De Alta Resolução Espacial Aplicada A Classificação De Cobertura Do Solo No Espaço Intraurbano**. 2005. 180f.

Inpe-14183-Tdi/1095. Dissert. (Mestrado Em Sensoriamento Remoto). Inpe -, São José Dos Campos, 2005.

PIRES, AS. 2006. **Perda De Diversidade De Palmeiras Em Fragmentos De Mata Atlântica: Padrões E Processos**. 2006. 108f. Tese (Doutorado) - Instituto De Biociências Da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

PIROVANI, D. B.; *et al.* **Uso de Geotecnologias para estudo da fragmentação florestal com base em princípios de ecologia da paisagem**. In: SANTOS, A. R.; *et al.* (Org.). Geotecnologias Aplicadas aos Recursos Florestais. 1ed. Alegre, ES: CAUFES, v.1, p. 24-42. 2012.

SHEA, K.; *et al.* **Management of populations in conservation, harvesting and control**. Trends in Ecology & Evolution, v. 13, n. 9, pp. 371-375. 1998.

SCHNEIDER, M. J.; *et al.* **Experimentos em fusão de imagens de alta resolução**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 9, n. 1, p.75-88, 2003.

SOUZA, N. C. R. *et al.* **Identification of the degree of impact of dams on the hydrologic regime of semi-arid rivers: an evaluation of the DHRAM method**. RBRH, v. 22, 2017.

SOUZA, S. M.de, SILVA, A. G., SANTOS, A. R., GONÇALVES W., MENDONÇA, A. R., **Análise dos Fragmentos Florestais Urbanos da Cidade de Vitória – ES**. REVSBAU, ISSN 1980-7694 ON-LINE. Piracicaba – SP, v.8, n.1, p.112-124, 2013.

TURNER, M. G.; GARDNER, R. H. **Quantitative methods in landscape ecology: the analysis and interpretation of landscape heterogeneity**. New York: Springer Verlag, 1990.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. **Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais**. Série Técnica IPEF, v. 12, n.32, p. 25-42, 1998.

VOLOTÃO, C. F. S.. **Trabalho de análise espacial métricas do FRAGSTATS**. 1998. 48f. Dissert. (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – Minist. da Ciência e Tecnologia, (INPE), São José dos Campos, 1998.

VRABEL, J. **Multispectral imagery band sharpening study**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, v. 62, n. 9, p. 1075-1083, 1996.

WOOD, D.; LINNE, J.M. **Received wisdom in agricultural land use policy: 10 years on from Rio**. Land Use Policy, v.22, p. 75-93. 2005.

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

Maristela Ramalho Xaud

Embrapa Roraima
Boa Vista – Roraima

Cláudia Maria de Almeida

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
São José dos Campos – São Paulo

Haron Abraham Magalhães Xaud

Embrapa Roraima
Boa Vista – Roraima

RESUMO: Para avaliar a taxa anual de desmatamento por corte raso na Amazônia brasileira, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) utiliza o sistema PRODES (“Projeto de Monitoramento de Satélite da Floresta Amazônica Brasileira”). O banco de dados PRODES pode ser acessado no site do INPE, que permite estudos adicionais sobre os padrões de desmatamento em diferentes subconjuntos dessa região tão heterogênea. O presente estudo tem por objetivo simular a dinâmica espacial do desmatamento em uma sub-região localizada no extremo norte da Amazônia brasileira (sul do estado de Roraima), utilizando o banco de dados PRODES e um modelo de autômatos celulares, levando em conta um período de cinco anos (2000-2005). A plataforma de autômato celular (CA) DINAMICA EGO foi utilizada neste estudo. É dirigido por mapas de paisagem a partir do tempo inicial e final do período de simulação e por variáveis

espaciais (dinâmicas e / ou estáticas). Os mapas da paisagem continham as seguintes classes de cobertura da terra: floresta, não floresta, desmatamento e hidrografia. As variáveis espaciais selecionadas para a análise foram distância a estradas, distância a sedes municipais e distância a áreas desmatadas. Os resultados indicaram que a transição “floresta para desmatamento” foi mais fortemente associada com as variáveis “distância ao desmatamento” e “distância a estradas” e apresentou uma fraca relação com a “distância aos locais urbanos”. Os resultados lançam luz sobre as condicionantes dos processos de mudança da cobertura da terra nessa região, principalmente a conversão da floresta para áreas desmatadas, indicando o papel menor dos locais urbanos em comparação com a importância decisiva das estradas e das áreas anteriormente desmatadas.

PALAVRAS-CHAVE: desmatamento, PRODES, autômato celular, Amazônia, Roraima

ABSTRACT: In order to assess the annual rate of shallow cut deforestation in the Brazilian Amazonia, INPE (Brazilian National Institute for Space Research) uses PRODES (“Project for the Satellite Monitoring of the Brazilian Amazon Forest”) system. PRODES database can be accessed from INPE website, which enables further studies on deforestation patterns in

different subsets of such a heterogeneous region. The present study focuses on simulating the spatial dynamics of deforestation state of Roraima, in the far north of the Brazilian Amazon, using PRODES database and a cellular automata model within a time span of five years (2000-2005). The cellular automaton (CA) platform DINAMICA EGO was used in this study. It is driven by landscape maps from the initial and final time of the simulation period and by spatial variables (dynamic and/or static). The landscape maps contained the following land cover classes: forest, non-forest, deforestation and drainage. The spatial variables selected for the analysis were distance to roads, distance to urban sites, and distance to deforested areas. The results indicated that the transition 'forest to deforestation' was more strongly associated with the variables 'distance to deforestation' and 'distance to roads' and presented though a weak relation with 'distance to urban sites'. The results shed light on the drivers of land cover change processes in this region, mainly the conversion from forest to deforested areas, indicating the minor role of urban sites as compared to the decisive importance of roads and previously deforested areas.

KEYWORDS: deforestation, cellular automata model, PRODES, Amazonia, Roraima

1 | INTRODUÇÃO

Na Amazônia brasileira, a intensificação do processo de desmatamento teve início a partir da década de 1970, quando o Governo Brasileiro consolidou projeto para integração da Amazônia ao restante do país, priorizando a ocupação da região (BECKER, 1997; BECKER, 2001; MACHADO, 1998).

Um elemento central para materializar essa integração foi o planejamento e abertura de rodovias, que deram nova dimensão no que tange ao acesso a novas áreas florestais, o que anteriormente só era possível através dos rios. As margens das rodovias são consideradas como artérias do desmatamento e áreas prioritárias para estudos mais detalhados sobre o padrão deste fenômeno de conversão florestal. Segundo Alves (2002 a,b), dois terços do desmatamento encontram-se dentro de uma faixa de 50 km ao longo das estradas pavimentadas.

Avanços na área de sensoriamento remoto e processamento de imagens de satélite nas últimas décadas têm sido utilizados pelo Brasil, tendo em vista a necessidade do conhecimento mais aprofundado sobre os comportamentos temporais e regionais dos desmatamentos da Amazônia. Desde 1988, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) desenvolve projeto pioneiro no monitoramento contínuo do desmatamento na Amazônia Brasileira através do Projeto PRODES (Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite), cujo objetivo é estimar a taxa anual e a extensão do desmatamento bruto da Amazônia. Na metodologia utilizada pelo INPE, é considerado desmatamento "a conversão de áreas de floresta primária por atividades antropogênicas para o desenvolvimento de atividades agropecuárias", o que significa corte raso da cobertura florestal. As imagens utilizadas são principalmente do satélite

LANDSAT (INPE, 2008).

Na análise dos dados dinâmicos de desmatamento, a modelagem computacional se apresenta como uma ferramenta importante para desvendar a complexa relação entre condicionantes que influenciam padrões regionais, assim como para estimar impactos das mudanças de cobertura da terra. Os modelos permitem conduzir experimentos que testam nossa compreensão de processos-chave (LAMBIN et al., 2000; VELDKAMP e LAMBIN, 2001).

Em Roraima, o desmatamento apresenta particularidades interessantes em função de suas dimensões geográficas, ecológicas e sociais: sua área de florestas naturais é maior que todo o estado do Acre; há numerosos projetos de assentamentos rurais (31); associado ao processo de desmatamento existe o forte impacto das queimadas na região, que em determinadas áreas mais susceptíveis se transforma em incêndios florestais; e as características climáticas diferenciadas em relação ao restante da Amazônia propiciam uma sazonalidade reversa, que pode causar impacto no desmatamento principalmente na região sul do estado.

De acordo com a avaliação dos dados PRODES divulgados para o estado de Roraima, constata-se uma taxa média de 270 km²/ano, perfazendo até o ano de 2005, um total estimado de aproximadamente 7500 km² de área desmatada, o que representa aproximadamente 1% de todo o desmatamento ocorrido na Amazônia Legal brasileira no mesmo período. No período observado de 2000 a 2005, os municípios do sul do estado (Caroebe, Rorainópolis, São Luiz e São João da Baliza) foram os que mais desmataram (XAUD E XAUD, 2005).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a dinâmica espacial do desmatamento em uma sub-região da Amazônia Setentrional, no período de 2000 a 2005, através da modelagem baseada em autômatos celulares.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área De Estudo

A área de estudo está localizada na região sul do estado de Roraima, no extremo norte da Amazônia Legal Brasileira, e engloba os principais eixos de desmatamento dos quatro municípios da região (Rorainópolis, São Luiz, São João da Baliza e Caroebe) (Figura 1).

O processo de ocupação na região teve início nos anos 80 e foi concentrado ao longo do trecho sul da BR-174 (que liga Venezuela a Manaus, passando por Boa Vista) e da BR-210 (Rodovia Perimetral Norte, planejada para ligar o Oceano Atlântico ao Pacífico). A atração provocada para ocupação dessa região foi motivada pela relativa facilidade de escoamento da produção para o mercado de Manaus, a princípio tendo a extração madeireira como atividade principal, sendo seguida posteriormente de atividades agropecuárias (atualmente banana e pecuária bovina). Predominam

projetos de assentamento com propriedades de 60 a 100 ha.

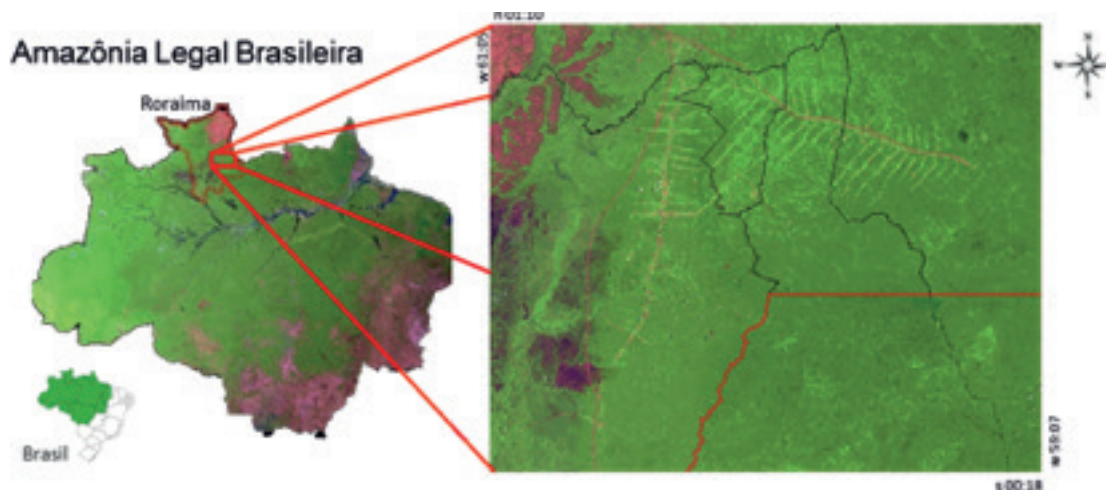


Figura 1: Localização da área de estudo

2.2 Material

Os dados de desmatamento utilizados foram derivados do mosaico estadual de Roraima do banco de dados do PRODES (INPE, 2008), período de 2000 a 2005. Os mosaicos estaduais têm resolução espacial reamostrada para 120 metros. Outros dados utilizados (estradas e sedes municipais) foram derivados da base oficial do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Os softwares utilizados para o desenvolvimento do trabalho foram: SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas), versão 4.3.3; IDRISI versão 32.2; ER MAPPER versão 7.1; e DINÂMICA EGO versão 1.2.

2.3 Modelagem Dinâmica Espacial

Modelagem dinâmica espacial destina-se a simular, em ambiente computacional, os chamados fenômenos dinâmicos espaciais, que podem ser entendidos como mudanças, tanto de caráter físico-químico (dispersão de poluentes, por exemplo), climático (cheias), ou socioeconômico (segregação socioespacial em uma cidade), assim como mudanças de caráter posicional (migração de espécimes vegetais) ou de natureza funcional (alterações de uso e cobertura da terra), as quais ocorrem no espaço e ao longo do tempo.

Modelos para simular especificamente mudanças de uso e cobertura da terra não são novos, e alguns deles datam do início do século XIX. Os primeiros modelos não eram capazes de lidar adequadamente com o espaço e o tempo. Por isso, modelos que não operavam sobre uma dimensão temporal ou espacial foram denominados como modelos não dinâmicos. Modelos que consideravam o tempo, mas eram desprovidos de representação espacial foram chamados de modelos dinâmicos não espaciais, e aqueles modelos que apresentassem tanto uma dimensão temporal quanto espacial foram finalmente designados como modelos dinâmicos espaciais ou

modelos dinâmicos espacialmente explícitos (ALMEIDA, 2003).

Essa terceira categoria de modelos - modelos dinâmicos espacialmente explícitos - somente surgiu no final dos anos de 1980, com o advento da computação gráfica e, conseqüentemente, de Sistemas de Informações Geográficas - SIGs (BATTY et al., 1997). Esses modelos adotam como lastro teórico o paradigma de autômatos celulares, que constituem idealizações ou abstrações matemáticas, as quais tiveram, posteriormente à sua concepção, implementação de domínio computacional. Autômatos celulares (AC) são compostos por quatro elementos (Wolfram, 1983):

- células: que podem assumir diferentes formas e dimensões;
- estados: que se referem aos atributos das células e são sempre discretos, isto é, um estado por célula em cada passo de tempo;
- vizinhança: a qual pode apresentar diferentes configurações e influencia os estados das células, operando de forma similar a filtros de processamento digital de imagens; e, por fim,
- regras de transição: que são uniformes, i.e., aplicam-se igualmente a todas as células do sistema, e de ação local, o que implica dizer que não há ação à distância.

A plataforma DINAMICA EGO ancora-se no paradigma de AC, constituindo-se em um sistema para a simulação espaço-temporal de dinâmica da paisagem, tendo sido efetivamente empregado para gerar as simulações de desmatamento da área de estudo. O DINAMICA EGO representa, portanto, um ambiente de modelagem de domínio público e foi desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (Soares-Filho *et al.*, 2002).

2.4 O Processo Da Modelagem

Para as simulações, os dados reais do desmatamento (PRODES) em 2000 e 2005, foram usados para quantificar a conversão da floresta para desmatamento. Um conjunto de variáveis relacionadas a esse processo foi selecionado para, juntamente com parâmetros internos do DINAMICA, fornecer uma simulação do desmatamento para o ano de 2005. A metodologia aplicada em cada fase do processo de modelagem será tratada de forma detalhada a seguir (Figura 2).

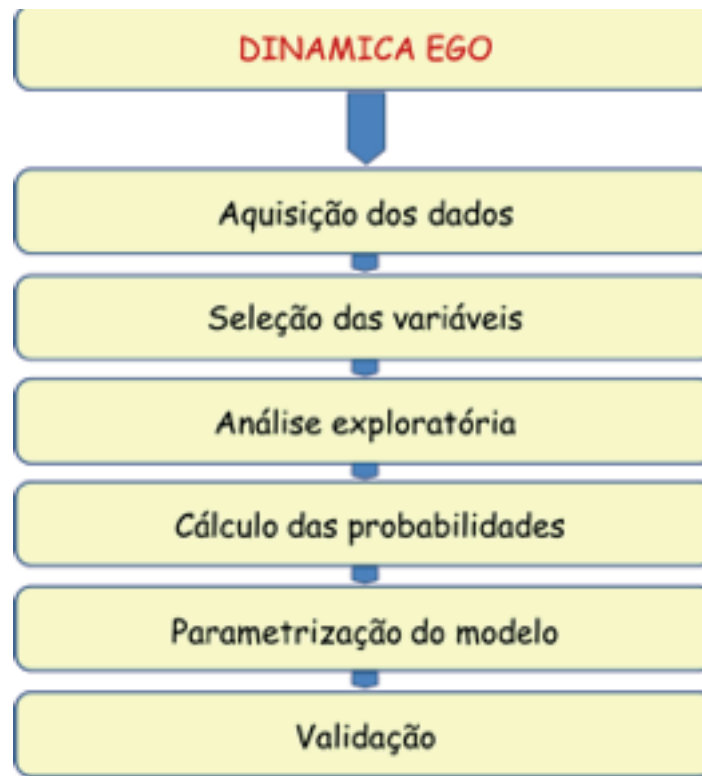


Figura 2: Fluxograma do trabalho

2.4.1 Aquisição dos dados

Os dados de desmatamento acumulado para os anos de 2000 e para o período de 2000 a 2005 foram agrupados do banco de dados do PRODES, através da junção dos incrementos anuais da legenda utilizada pelo projeto. As classes utilizadas para o trabalho foram: floresta, não-floresta, desmatamento acumulado 2000, desmatamento 2000-2005 e hidrografia (Figura 3).

A definição do polígono a ser estudado dentro da região de interesse foi realizada da seguinte maneira: primeiramente foram selecionados os municípios da região sul do estado (Caroebe, Rorainópolis, São Luiz e São João da Baliza) e depois foi recortado um retângulo envolvente, de forma a adequar uma área que englobasse o fenômeno de estudo (desmatamento). Esse procedimento foi necessário tendo em vista a extensão da área total dos municípios e a concentração do desmatamento ao longo das rodovias (aproximadamente $\frac{1}{4}$ da área total).

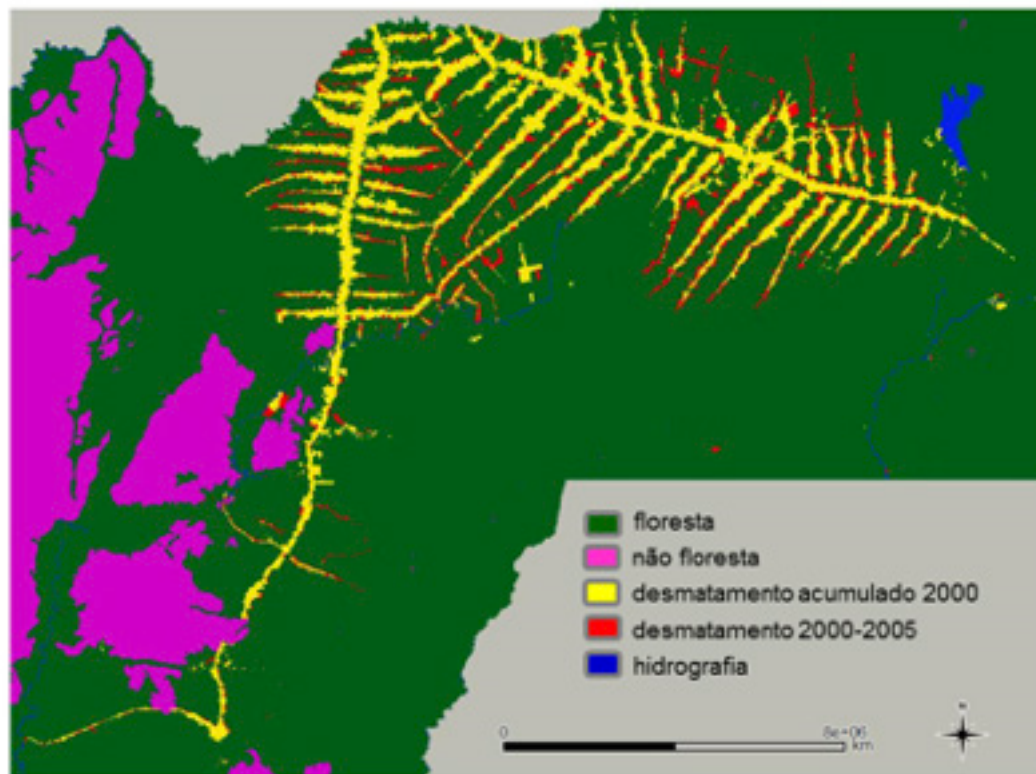


Figura 3: Mapa do desmatamento do PRODES (até 2005) da área de estudo

2.4.2 Seleção das variáveis

A seleção das variáveis explicativas foi baseada em estudos anteriores em outras regiões da Amazônia (Aguiar, 2006; Alves, 2002b, Laurence *et al.*, 2002) e na disponibilidade de dados para a região de estudo, tendo em vista o caráter exploratório e a análise local de fatores determinantes. Assim, as variáveis utilizadas se basearam nas distâncias em relação a estradas, sedes municipais e áreas desmatadas. Visando discretizar os mapas de distância, criando faixas de distância consideradas adequadas ao processo em análise, foram utilizadas rotinas de calibração automática disponíveis no DINAMICA, baseadas no algoritmo de generalização de linhas, conforme proposto por Goodacre *et al.* (1993).

2.4.3 Análise exploratória

Para a definição dos pesos das variáveis explicativas, foi empregado o método estatístico “pesos de evidência”, que pressupõe a independência de eventos. Assim, no processo de modelagem, verificou-se inicialmente uma eventual existência de dependência entre os mapas de variáveis. Foram utilizados o Índice de *Cramer* (V) e o *Joint Information Uncertainty* (U) ou “Índice de Incerteza de Informação Conjunta” (Bonham-Carter, 1994), os quais operam com valores reais e percentuais, respectivamente, de áreas de sobreposição entre diferentes categorias (no caso, faixas de distância) de dois mapas de variáveis explicativas, visando avaliar a presença de associação ou dependência espacial entre ambos.

2.4.4 Cálculo das probabilidades

A probabilidade global de transição de floresta para áreas desmatadas na área de estudo foi calculada por meio de uma operação de tabulação cruzada, que produziu como saída uma matriz de transição entre os mapas de cobertura inicial e final do período de simulação (2000-2005).

Para o cálculo da probabilidade local (ou espacial) de transição da cobertura da terra, o DINAMICA gerou um mapa de probabilidade que apresentou valores diferenciados para cada célula, com base na estimativa dos pesos positivos de evidência ($W+$). Os $W+$ são obtidos a partir de um cálculo que utiliza resultados de uma operação de tabulação cruzada entre o mapa de transição de cobertura e as variáveis estáticas, a qual desconsidera as áreas cuja cobertura da terra no tempo inicial não seja floresta. Os $W+$ indicam a atração entre uma determinada transição de cobertura, no caso o desmatamento, e uma dada variável estática. O valor de $W+$ representa a influência de cada nível ou faixa de distância de cada variável nas probabilidades locais ou espaciais de transição (Bonham-Carter, 1994). Quanto mais elevado o valor de $W+$, maior será a chance de ocorrer a transição em função da presença prévia de determinado nível da variável ou evidência. De forma contrária, quando o valor de $W+$ é negativo, isto indica que menor é a probabilidade da transição de cobertura ocorrer em função da presença prévia do respectivo nível da evidência.

Para avaliar se o modelo foi bem calibrado, isto é, se o conjunto de variáveis explicativas selecionadas foi o mais adequado e se a definição das faixas de distância foi ótima, foi checado se esse mapa apresentou o máximo de coincidência possível entre as áreas com valores elevados de probabilidade e as áreas que de fato sofreram desmatamento (transição de floresta para áreas desmatadas).

2.4.5 Parametrização

Com intuito de alocar as mudanças no processo de modelagem, o DINAMICA apresenta dois algoritmos de transição: *expander* e *patcher*. A função *expander* responde pela expansão de manchas previamente existentes de certa classe de cobertura da terra. A função *patcher*, por sua vez, destina-se a gerar novas manchas, através de um mecanismo de constituição de sementes (Soares-Filho et al., 2002).

No presente estudo foram utilizados três conjuntos de valores de *expander* e *patcher* visando entender o fenômeno em questão, em relação à localização das mudanças. Para as áreas médias e variâncias dos tamanhos das novas manchas de desmatamento, tanto por *expander* como por *patcher*, foram utilizados os valores de 50 ha e 30 ha, respectivamente, com variâncias de 80 ha e 50 ha. Para o índice de isometria das manchas, foi utilizado o valor de 1.5, que caracteriza um equilíbrio entre compacidade e fragmentação das manchas (Tabela 1). Segundo Ximenes et al. (2008), “este índice representa um valor numérico, o qual é multiplicado pelo valor

de probabilidade das oito células da janela de vizinhança 3x3 pixels, utilizada pelos algoritmos *patcher* e *expander*, antes da aplicação da regra de transição. Quanto mais elevado é o valor do índice, mais compactas serão as manchas produzidas pelas funções de transição, e, de forma oposta, quanto mais próximo de zero, mais fragmentadas serão as manchas”.

Parâmetros		Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
<i>expander</i>		0,8	0,5	0,2
<i>patcher</i>		0,2	0,5	0,8
Área média	<i>expander</i>	50		
	<i>patcher</i>	30		
Variância	<i>expander</i>	80		
	<i>patcher</i>	50		
Isometria <i>expander/patcher</i>		1,5		

Tabela 1: Parâmetros dos modelos testados no trabalho

2.4.6 Validação

Para avaliar o desempenho do modelo de simulação, medidas de similaridade *fuzzy* foram aplicadas em um contexto de vizinhança local, de forma a identificar a similaridade de padrões espaciais entre o mapa simulado e o respectivo mapa de referência, isto é, o mapa real de cobertura no tempo final da simulação (mapa PRODES de 2005).

O método de Hagen (2003), empregado neste trabalho, baseia-se no conceito de “*fuzziness of location*” (incerteza de localização), no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma, e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança. A escolha da função de decaimento mais apropriada e do tamanho da janela de amostragem depende da incerteza dos dados e do limiar de tolerância do erro espacial.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a matriz de transição, resultante da operação de tabulação cruzada entre os mapas de cobertura inicial (2000) e final (2005), a qual fornece os percentuais de conversão de cobertura da terra, o que corresponde, no caso particular deste trabalho, à probabilidade global de transição de floresta para desmatamento, estimada em 3,17%. As classes “Desmatamento”, “Hidrografia” e “Não-floresta” não sofreram alterações de cobertura durante o período de estudo.

Cobertura da terra		2005			
		Floresta	Desmatamento	Hidrografia	Não-floresta
2000	Floresta	0,9683	0,0317	0	0
	Desmatamento	0	1	0	0
	Hidrografia	0	0	1	0
	Não-floresta	0	0	0	1

Tabela 2: Matriz de transição de cobertura da terra no período de 2000 a 2005.

Na determinação das correlações entre variáveis, os índices de *Cramer* e de *Incerteza da Informação Conjunta (Joint Information Uncertainty - JIU)*, mostraram que todas as variáveis são importantes para explicar o fenômeno, mas que “distância a desmatamento” e “distância a estradas” apresentaram maior correlação.

A Figura 4 mostra graficamente como se comportam os valores de $W+$ para as variáveis explicativas “distância a desmatamento” e “distância a estradas”.

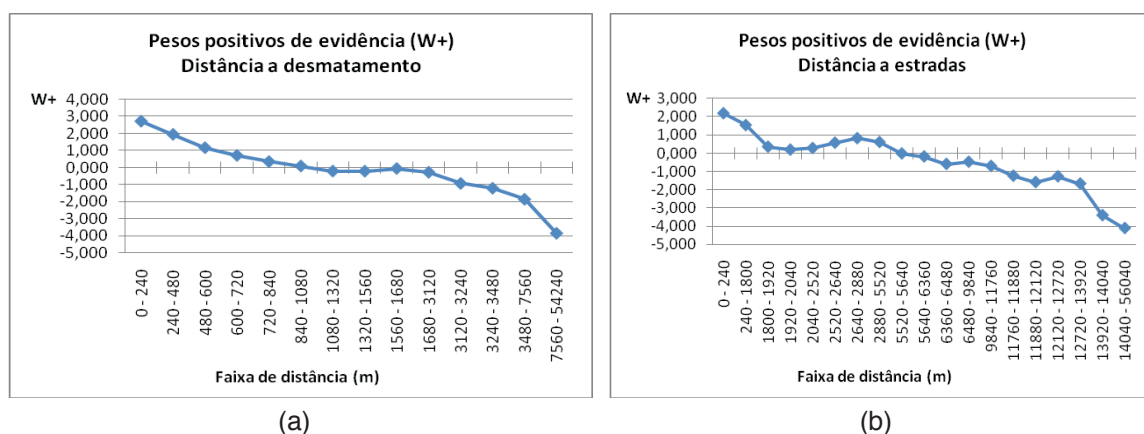


Figura 4: Comportamento dos pesos positivos de evidência ($W+$) das variáveis “distância a desmatamento” (a) e “distância a estradas” (b), por faixa de distância.

A curva dos valores de $W+$ da variável “distância a desmatamento” indica a concentração de pesos com os maiores valores nas primeiras faixas de distância, o que aponta para o padrão de avanço do desmatamento em torno de áreas previamente desmatadas, para o período estudado, conforme já observado em outras regiões da Amazônia (Aguiar et al., 2007; Ximenes et al., 2008; Soler et al., 2009).

Para a variável “distância a estradas”, observa-se comportamento semelhante, apresentando valores positivos para as faixas de distância até aproximadamente 5 km das estradas, dentro da área de estudo. A abertura de estradas, conforme já relatado por vários autores tem sido fator determinante ao desmatamento na Amazônia (Alves, 2002a; Soler et al., 2009) e particularmente na região de estudo (Barni et al., 2012).

Conforme mencionado na Seção 2.4.4, o DINAMICA produz, a partir dos valores de $W+$, mapas de probabilidade local (ou espacial) de transição da cobertura da terra, contendo valores de probabilidade distintos em cada célula. A Figura 5 apresenta os mapas de probabilidade local de transição de cobertura da terra gerados neste trabalho para as variáveis distância a estradas e distância a sedes.

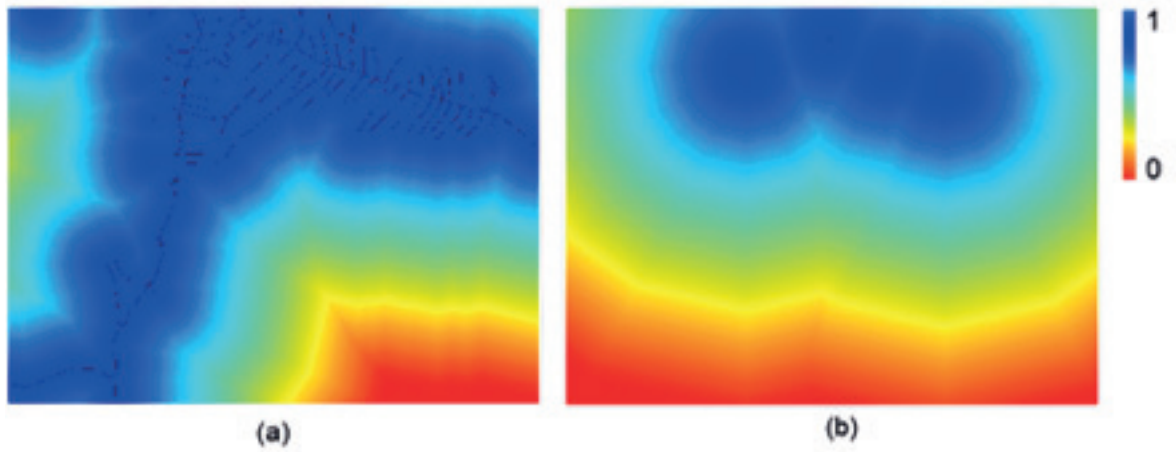


Figura 5: Mapas de probabilidade local de transição de cobertura da terra para as variáveis “distância a estradas” (a) e “distância a sedes” (b)

Em relação aos resultados dos modelos (variando *expander* e *patcher*) utilizados nesse estudo, foram avaliados os valores máximos de similaridade para cada uma das janelas de amostragem, de acordo com o método de Hagen (Tabela 3). O modelo 2 que equilibra valores de *expander* e *patcher* (0,5) foi o que apresentou melhores resultados na validação, principalmente quando se considera as janelas maiores (7x7, 9x9 e 11x11).

Modelo	3x3	5x5	7x7	9x9	11x11
1	0,3509	0,4922	0,6115	0,7080	0,7819
2	0,3519	0,4983	0,6215	0,7191	0,7929
3	0,3578	0,5013	0,6191	0,7140	0,7882

Tabela 3: Valores máximos de similaridade fuzzy para os modelos testados

Assim, a simulação produzida pelo modelo 2 (Figura 6), considerando as variáveis distância a estradas e distância a desmatamento, apresentou o melhor resultado no presente trabalho.

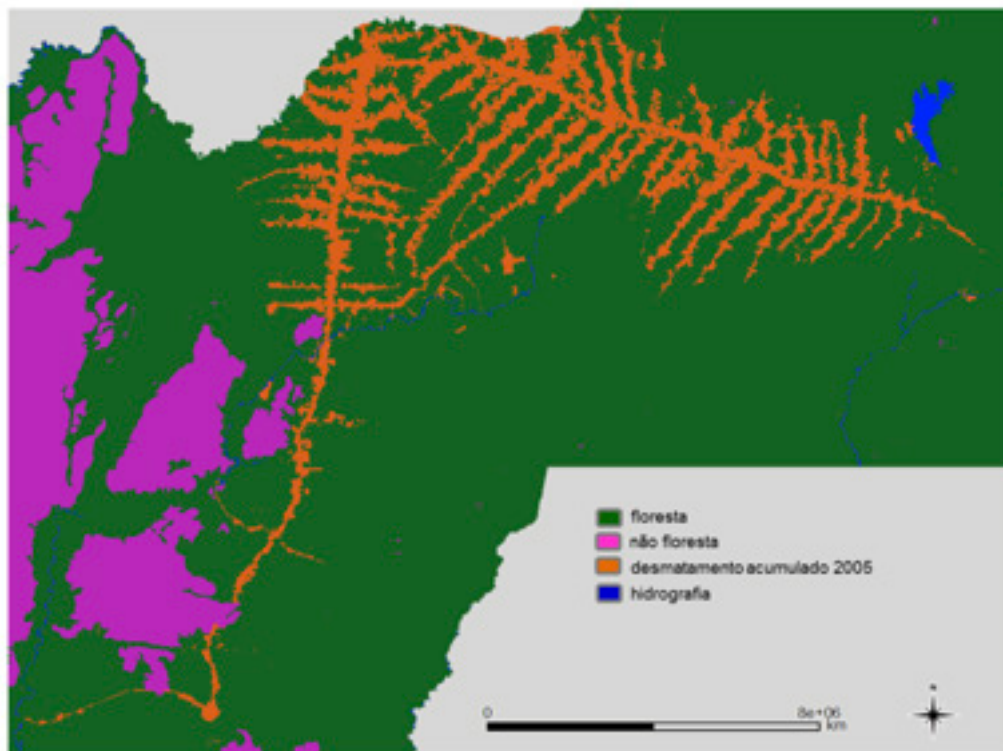


Figura 6: Resultado da simulação do desmatamento para o ano de 2005, com tamanho médio de mancha de 50 ha (expander) e 30 ha (patcher) e variância de 80 ha (expander) e 50 ha (patcher), sendo metade das manchas atribuídas para expander e a outra metade para patcher.

A variável “distância a desmatamento” foi fundamental para a simulação dos processos de desmatamento que se observam nas regiões limítrofes de áreas em que já ocorreu a supressão da floresta.

Em vista do histórico de ocupação fundiária na área de estudo com Projetos de Assentamento, o padrão de desmatamento no período de estudo apresenta predominantemente pequenas e médias extensões e segue uma tendência de ocorrência no entorno de áreas recentemente desmatadas e no entorno das estradas, que seguem o estilo espinha-de-peixe. Dessa forma, a variável “distância a estradas” apresentou grande importância no modelo.

A variável “distância a sedes”, por outro lado, expressou a reduzida importância da localização dos centros urbanos para o desmatamento e ocupação da região, uma vez que as sedes estão situadas ao longo das rodovias principais BR-174 (Rorainópolis) e BR-210 (São Luiz, São João da Baliza e Caroebe), de forma linear e sem a capilaridade proporcionada pelas estradas secundárias (vicinais) na região.

4 | CONCLUSÕES

O presente trabalho desenvolveu um experimento de modelagem dinâmica espacial, baseado em autômatos celulares, com finalidade de avaliar o desmatamento no sul do estado de Roraima, no período de 2000 a 2005. Apesar das variáveis utilizadas

não representarem todo o conjunto de condicionantes do processo de desmatamento na área, elas representam fatores indutores estratégicos para uma primeira avaliação exploratória na região.

Das três variáveis avaliadas - distância a desmatamento, distância a estradas e distância a sedes, as duas primeiras se apresentaram superiores na explicação do fenômeno desmatamento na região estudada.

O modelo que destinou metade das transições ocorridas na área de estudo a um padrão de expansão de manchas previamente existentes de desmatamento, sendo a outra metade a partir de manchas novas, foi o que obteve melhores resultados de validação.

Em trabalhos futuros, os autores pretendem incorporar outras variáveis, a exemplo de variáveis de caráter ambiental e aquelas constantes do Cadastro Ambiental Rural - CAR (unidades de proteção/conservação, reservas indígenas, reserva legal, áreas de proteção permanente etc.), dados fundiários (dimensão e situação de posse de lotes rurais etc.), variáveis socioeconômicas (IDH, nível de escolaridade e renda etc.), além da possibilidade de desmembramento de variáveis já inclusas no modelo, como, por exemplo, a decomposição da variável distância a estradas em distância a estradas principais e a estradas secundárias.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia**. 2006. 182p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2006.

AGUIAR, A.P.D.; CÂMARA, G.; ESCADA, M.I.S. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: exploring intra-regional heterogeneity. **Ecological Modelling**, 209 (2-4), p.169-188, 2007.

ALMEIDA, C. M. **Spatial dynamic modeling as a planning tool: Simulation of urban land use change in Bauru and Piracicaba (SP), Brazil**. 2003. 317 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP.

ALVES, D.S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 23, no. 14, 2903-2908, 2002a.

ALVES, D. Analysis of geographical patterns of deforestation in Brazilian Amazonia the 1991-1996 period. In: C. Woods and R. Porro, Eds. **Pattern and Process of Land use and Forest Change in Amazon**. University of Florida, Gainesville. 2002b p. 95-106.

BARNI, P.E.; FEARNSTIDE, P.M.; GRAÇA, P.M.L.A. Desmatamento no Sul do estado de Roraima: padrões de distribuição em função de Projeto de Assentamento do INCRA e da distância das principais rodovias (BR-174 e BR-210). *Acta Amazonica*, v.42, p.195-204, 2012.

BATTY, M.; COUCLELIS, H.; EICHEN, M. Urban systems as cellular automata (Editorial).

Environment and Planning B, v. 24, n. 2, p. 159-164, 1997.

BECKER, B. K. **Revisão das políticas de ocupação da Amazônia**: é possível identificar modelos para projetar cenários? In: *Parcerias Estratégicas*, n. 12, 2001.

BECKER, B.K. **Amazônia**. Ed. Ática. São Paulo. 5ª edição. 112 p. 1997.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994, 305 p.

GOODACRE, A. K. et al. A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage and magnetic anomalies in western Quebec. **Tectonophysics**, v. 217, p. 285-305, 1993.

HAGEN, A. Multi-method assessment of map similarity. In: 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, 2003, Palma, Spain. **Anais...** Palma: Universitat de les Illes Balears, 2003. p. 171–182.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da Cobertura Florestal da Amazônia por satélites – Sistemas PRODES**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes>. Acesso em: 01 novembro 2008.

LAMBIN, E.F.; ROUNSEVELL, M.D.A.; GEIST, H.J. Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity? **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.82, p.321-331, 2000.

LAURANCE, W. et al. Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. **Journal of Biogeography**, v. 29, p. 737-748, 2002.

MACHADO, L. A. A fronteira agrícola na Amazônia brasileira. In: BECKER, B. K. et al. **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. São Paulo: Companhia das Letras, 1998. p. 181-217.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; PENNACHIN, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 217-235, 2002.

SOLER, L.S.; ESCADA, M.I.S.; VERBURG, P.H. Quantifying deforestation and secondary forest determinants for different spatial extents in an Amazonian colonization frontier (Rondonia). **Applied Geography**, v.29, p. 182-193, 2009.

VELDKAMP, A.; LAMBIN, E.F. Predicting land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**. v.85, p. 1-6, 2001.

WOLFRAM, S. Statistical mechanics of cellular automata. **Review of modern physics**, v. 55, p. 601-643, 1983.

XAUD, M.R.; XAUD, H.A.M. **Desmatamento no Estado de Roraima**. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005. 18 p. (Embrapa Roraima, Documentos, 8).

XIMENES, A. C. et al. Modelagem Dinâmica do Desmatamento na Amazônia. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, p. 370-391, 2008.

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

Gabriella Santos Arruda de Lima

Universidade Federal de Goiás - UFG - Campus Samambaia (Campus II), Goiânia – Goiás.

Nilson Clementino Ferreira

Universidade Federal de Goiás - UFG - Campus Samambaia (Campus II), Goiânia – Goiás.

RESUMO: A erosão é uma importante fonte de perigo para os solos. É causada por agentes naturais, como a chuva, causam danos às culturas, exaustão do solo, assoreamento e poluição das bacias hidrográficas. Tais processos são intensificados, na região metropolitana de Goiânia, pela remoção de vegetação nativa e estabelecimento de pastagens e lavouras. A Equação Universal de Perda de Solo (USLE), aplicada pelo uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), permite estimar a erosão em diversas condições de uso da terra. O USLE foi selecionado como uma metodologia com o objetivo de avaliar a suscetibilidade erosiva ao uso atual do solo e também para os remanescentes cenários de vegetação transformados em agricultura e pastagem, comparando seus valores para prever como a conversão do ativo ambiental pode colaborar para a ocorrência de erosão. Considerando-se toda a região metropolitana de Goiânia, simularam-se os seguintes cenários: atual, pastagem e agricultura. A

suscetibilidade erosiva ao pasto foi aumentada para quase cinco vezes e a agricultura mais de 130 vezes em comparação com o cenário atual. Observou-se que os cenários simulados resultaram em um aumento da perda média de solo de 3,33 t.ha⁻¹.ano⁻¹ e de 14,3 t.ha⁻¹.ano⁻¹ para Pastagem e Agricultura, respectivamente. Os resultados indicam que a conversão de passivos ambientais demonstra um aumento significativo na suscetibilidade erosiva.

PALAVRAS-CHAVE: erosão laminar, USLE, antropização.

ABSTRACT. Erosion is a major source of danger to soils. It is caused by natural agents, like rain, cause damage to crops, soil exhaustion, siltation and pollution of watersheds. Such processes are intensified, in the metropolitan region of Goiânia, by the removal of native vegetation and establishment of pastures and crops. The Universal Soil Loss Equation (USLE), applied by the use of the Geographic Information Systems (GIS), allows to estimate erosion in varying land use conditions. USLE was selected as a methodology with the objective of evaluating the erosive susceptibility to the current ground use and also for the remaining vegetation scenarios transformed into agriculture and pasture, comparing their values to predict how the conversion of environmental asset can collaborate for the occurrence of erosion.

Considering that the whole metropolitan area of Goiânia, these ensuing scenarios were simulated: Current, Pasture and Agriculture. The erosive susceptibility to pasture was increased to almost five times and Agriculture over 130 times compared to the Current Scenario. It was observed that the simulated scenarios resulted in an increase of the average soil loss of $3.33 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ and $14.3 \text{ t.ha}^{-1}.\text{year}^{-1}$ for Pasture and Agriculture, respectively. The results indicate that the conversion of environmental liabilities demonstrates a significant increase in erosive susceptibility.

KEYWORDS: laminar erosion, USLE, anthropization.

1 | INTRODUÇÃO

O transporte de partículas de solos causado pela ação do vento e da água produzem vários tipos de erosão, sendo uma delas a laminar, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1993). De acordo com Ranieri et al. (1998) entre os principais fatores que induzem esse processo estão a erosividade da chuva, erodibilidade dos solos e características do relevo e ainda a ocupação e formas de uso do solo. Em função da sua localização e os elevados índices pluviométricos, no Brasil a erosão hídrica é predominante (Pruski, 2009).

O intenso uso da terra no estado de Goiás para a agricultura e pecuária, sem planejamento e práticas conservacionistas adequadas, pode contribuir para cenários de insustentabilidade ambiental (Ferreira et al, 2009). Na região metropolitana de Goiânia, devido ao intenso processo de urbanização e uso do solo para desenvolvimento de atividades agropecuárias e industriais, vem ocorrendo importantes e profundas alterações do ambiente natural. Com a mudança do uso da terra a infiltração do solo fica reduzida aumentando o escoamento superficial, podendo causar enchentes e a erosão do solo. (Silva, 2015). Além disso, em regiões de grande adensamento urbano ainda ocorre o efeito de ilhas de calor, que podem alterar a intensidade pluviométrica (Teza e Baptista, 2005).

A presença de biomassa vegetal nativa controla a erosão hídrica, pois permite a interceptação pluviométrica, possibilita maior infiltração, protege o solo contra o impacto direto das gotas de chuva e o escoamento superficial, que desloca partículas de solo é reduzido (Cook e Doornkamp, 1990). Dessa forma, a presença de cobertura vegetal atua como um dos principais fatores de controle do processo erosivo. A Equação Universal de Perda dos Solos EUPS, proposta por Wischmeier e Smith (1978) é amplamente utilizada como método de avaliação da perda de solos, podendo ser prevista para cenários hipotéticos, em processos de planejamento, permitindo uma comparação entre os distintos usos da terra (Machado et al. 2003).

Nesse sentido o estudo sobre erosão laminar do solo em regiões antropizadas se torna importante para um maior conhecimento dos agravantes que essa antropização pode causar ao solo. Esse trabalho tem como objetivo estimar a perda do solo na região metropolitana de Goiânia por meio da EUPS com o atual uso da terra e também

com os cenários de vegetação remanescente transformada em agricultura e em pastagem, comparando seus valores para se prognosticar o quanto a conversão do ativo ambiental pode colaborar para a ocorrência de erosão.

2 | 2. METODOLOGIA

2.1 Localização e Caracterização da Área de Estudo

A Região Metropolitana de Goiânia, com seus vinte municípios, ocupa 7.397,203 km² onde residem 2,384 milhões de habitantes, ou 35% da população e 36,5% do Produto Interno Bruto (PIB) do estado de Goiás (IBGE, 2010), sendo a região de maior representatividade demográfica, social e econômica do estado. Os solos encontrados na região predominantemente são Argissolo, Cambissolos, Gleissolos, Latossolos e Neossolos (Embrapa, 1999). Nos meses de dezembro e janeiro, de maior concentração pluviométrica, a média de precipitação é de 270 mm e no período de maior seca, nos meses de junho, julho e agosto as médias pluviométricas são bastante reduzidas podendo chegar a 0 mm (INMET, 1992). O relevo é predominantemente plano a suave-ondulado com poucas áreas com declividade mais elevada. Verifica-se que a maior parte dos municípios está antropizado, as pastagens têm maior predominância em toda a região rural, com presença de agricultura distribuída, mas nota-se maior ocorrência ao norte e sul, a vegetação remanescente está presente em toda a região, mas amplamente fragmentada, por outro lado é possível observar as grandes áreas urbanizadas, principalmente, no município de Goiânia.

A região metropolitana de Goiânia encontra-se entre as coordenadas de latitude Sul 16° 08' e 17° 12' e longitude Oeste 49° 44' e 48° 48', conforme Figura 1.

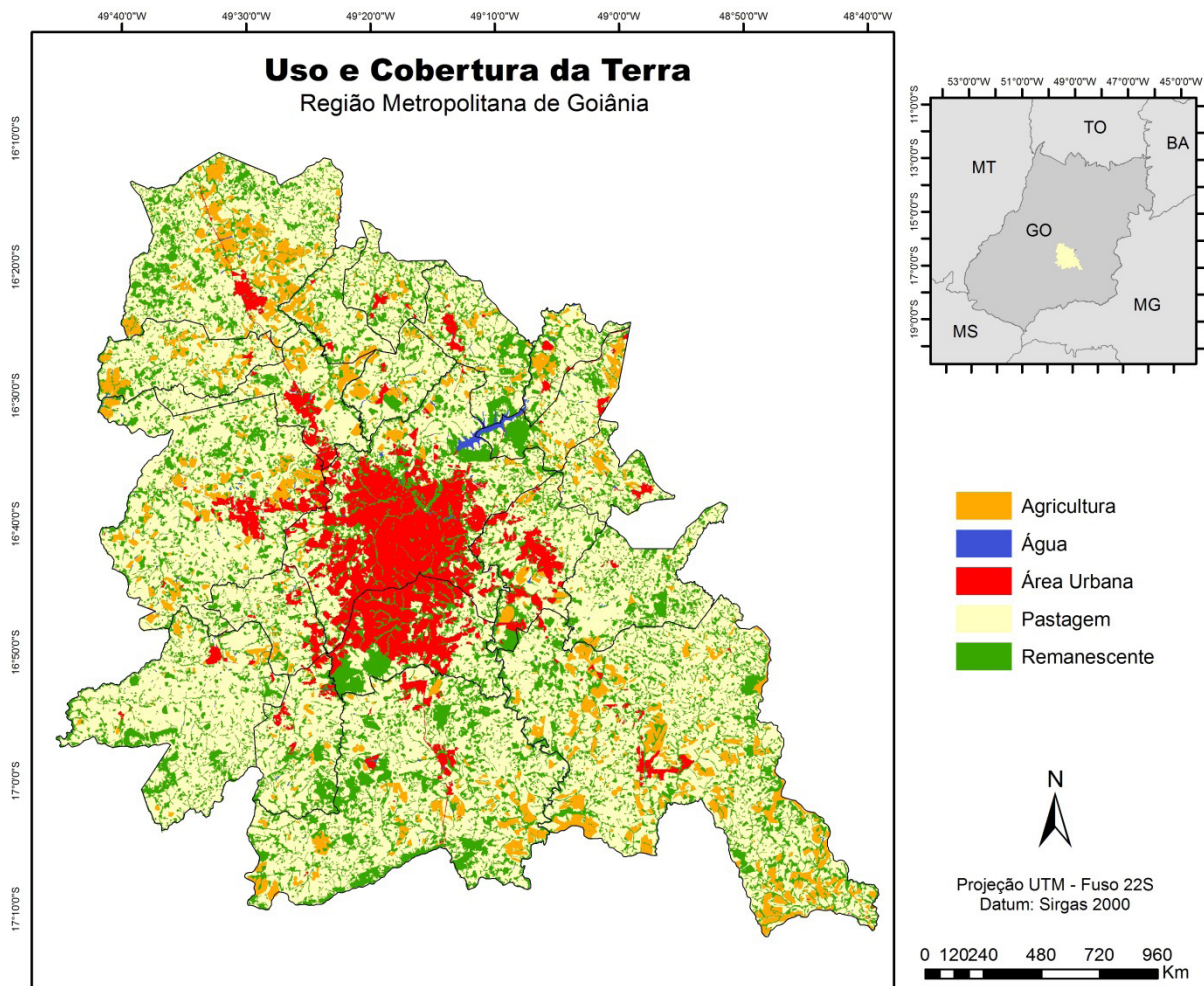


Figura 1. Localização e uso e cobertura da terra da região metropolitana de Goiânia.

2.2 Materiais e Métodos

A metodologia adotada para estimar a perda dos solos foi a EUPS dos autores Wischmeier e Smith (1978) com os seguintes fatores da Equação 1:

$$A = R * K * LS * C * P \quad (1)$$

Sendo,

A= perda anual do solo ($\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$);

R= fator erosividade da precipitação ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$);

K = fator erodibilidade do solo ($\text{ton ha MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

LS = fator comprimento de rampa (adimensional);

C = fator de cobertura e manejo da cultura (adimensional);

P = fator prática de manejo (adimensional).

A erosividade da chuva (fator R) foi estimada por meio da Equação 2 proposta por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para cálculo da média mensal do índice de erosão.

$$R = \sum_{i=1}^{12} EI_{30i} \quad (2)$$

Sendo:

$$EI_{30i} = 67,3555 \left(\frac{r^2}{P} \right)^{0,85} \quad (3)$$

Onde,

EI é a média mensal do índice de erosão (MJ.mm,há⁻¹;h⁻¹);

r é a precipitação média mensal (mm);

P é a precipitação média anual (mm);

i é o índice de meses; e

R é a erosividade.

Os valores das médias de precipitações mensal e anual foram obtidos por meio do Satélite tropical de medição de precipitações (TRMM sigla em inglês) ao longo de 12 meses do ano de 2012 sendo os dados mais recentes disponibilizados pelo satélite.

A erodibilidade dos solos (fator K) foi extraída a partir da revisão bibliográfica da obra de Silva e Alvares (2005), fruto de uma compilação de dados que resultaram em uma tabela contendo os solos e os respectivos valores de erodibilidade. Para este trabalho foram selecionadas apenas as classes dos solos relevantes para a área em estudo e estão descritos conforme Quadro 1. O mapa de solos da região foi adquirido junto a Agência Ambiental.

Solos	Fator K (ton ha MJ⁻¹ mm⁻¹)
Argissolos	0,01990
Cambissolos	0,0182
Gleissolos	0,0279
Latossolos	0,0043
Neossolos	0,0127

Quadro1. Valores de Erodibilidade para classes de solo.

Fonte: Silva e Alvares (2005), adaptado.

O fator topográfico (fator LS) foi obtido a partir do modelo digital de elevação (MDE) com resolução de 30 metros adquirido a partir do projeto Topodata SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Processado no software SAGA GIS (*System for Automated Geoscientific Analyses*) utilizando como referência a equação de Moore e Burch (1986), conforme Equação 4.

$$LS = \left(\frac{As}{22.1} \right)^m \times \left(\frac{\text{sen}\theta}{0,896} \right)^{0,6} \quad (4)$$

Onde, **As** é o produto da acumulação de fluxo pelo tamanho da célula (área de contribuição);

θ é o declive em graus; m é o comprimento do ângulo de inclinação.

Os valores de CP foram utilizados em conjunto, sendo o primeiro cobertura e manejo da cultura obtido a partir do mapeamento de uso e cobertura da terra com os valores adotados da literatura de Baptista (2003) conforme Quadro 2. As práticas conservacionistas (fator P) foi adotado valor constante 1, como sendo o pior caso, onde não há práticas conservacionistas, havendo maior suscetibilidade à erosão. (Ferraz et al, 2013).

O mapa de uso e ocupação da região metropolitana de Goiânia foi elaborado a partir de imagens Landsat 8 OLI do ano de 2015 e 2016, referentes às orbitas-ponto 221-72, 222-71 e 222-72. Com o objetivo de realizar um mapeamento em escala superior a 1:100.000, foi realizada uma fusão entre as bandas multiespectrais e a banda pancromática deste sensor, com resolução espacial de 15 metros. Em seguida, tais imagens foram segmentadas no software Spring 5.2.6.1 em polígonos com áreas superiores a 6,25 ha, então se procedeu com a classificação das imagens. Por fim, foi realizada uma inspeção visual na classificação gerada para a eliminação possíveis inconsistências. Os polígonos classificados equivocadamente foram alterados manualmente. As classes consideradas foram agricultura, área urbana, vegetação savânica e pastagem.

Uso e ocupação da terra	Fator CP (adimensional)
Agricultura	0,12
Área urbana	0,0
Vegetação Savânica	0,0007
Pastagem	0,055

Quadro 2. Fator CP em função do uso e ocupação da terra.

Fonte: Baptista (2003)

2.2.1 Cenários previstos para conversão da vegetação remanescente

Os fatores erosividade (fator R), erodibilidade (fator K), topográfico (fator LS), cobertura e manejo da cultura (fator CP) a partir da metodologia aplicada resultaram em rasters com resolução espacial de 30 metros, sendo gerado desta forma o mapeamento de cada um destes fatores separadamente.

De posse destes dados foram multiplicados os fatores para obtenção da susceptibilidade erosiva para a região metropolitana de Goiânia com o cenário atual de uso e ocupação da terra. Bem como foram calculadas as potenciais perdas dos solos para outros dois cenários hipotéticos, o primeiro cenário o uso do solo de áreas remanescentes são simuladas como sendo agricultura e o segundo cenário como pastagem. No Cenário Agricultura as áreas de remanescentes receberam o valor 0,12 (adimensional) e no Cenário Pastagem o valor 0,055 (adimensional).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da EUPS nesse trabalho devem ser analisados de forma qualitativa, por se tratar de uma grande área analisada. Desta forma os valores foram classificados de acordo com Perovic et al. (2013) para camadas de suscetibilidade erosiva com classificações que vão de fraca a muito severa.

A partir do mapeamento de uso da terra realizado e o processamento da EUPS inferiu-se uma área 1702,47 km² de vegetação remanescente possuindo uma perda do solo média de apenas 0,006763 ton.ha⁻¹.ano⁻¹. A agricultura na região abrange uma área de 608,49 km² correspondendo a uma perda de solo de 5,98 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, a pastagem 4.298,17 km² e possui perda do solo média de 5,96 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, como pode ser verificado na Tabela 1. A diferença de área entre pastagem e agricultura é acentuada, porém apresenta susceptibilidade erosiva próxima, isso se deve aos valores do fator CP atribuído a cada uma delas.

Perda de Solos Média	Remanescente	Pastagem	Agricultura
Área (km ²)	1702,47	4.298,17	608,49
Cenário atual (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	0,006763	5,96	5,98
Área (km ²)	1702,47	6000,64	2.310,96
Cenário Hipotético (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	-	9,29	20,28

Tabela1. Valores médios de perda dos solos

Por meio da simulação de cenários baseado na mudança de uso do solo, nota-se (tabela 01) nos valores médios de perda do solo para toda a Região Metropolitana de Goiânia, que se toda a área de remanescente (1702,47 km²) for convertida em pastagem haverá a mudança da classe fraca para a classe moderada. Sendo toda a área de remanescente convertida em agricultura a classe muda de fraca para muito alta. Representando, para área simulada como pastagem, um aumento de perda do solo de 3,33 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ e para agricultura 14,3 ton.ha⁻¹.ano⁻¹.

Segundo Tomazoni et al. (2005) a cobertura vegetal representa uma proteção natural para o solo. As perdas de solo são reguladas de acordo com a capacidade de

proteção que cada cultura oferece. Nesse trabalho isso pode ser confirmado a partir do produto dos fatores da EUPS ($A = R \cdot K \cdot LS \cdot CP$). É possível observar na Figura 2 que a presença de vegetação remanescente representa uma maior proteção ao solo em contrapartida as pastagens e agricultura que diminuem significativamente essa proteção.

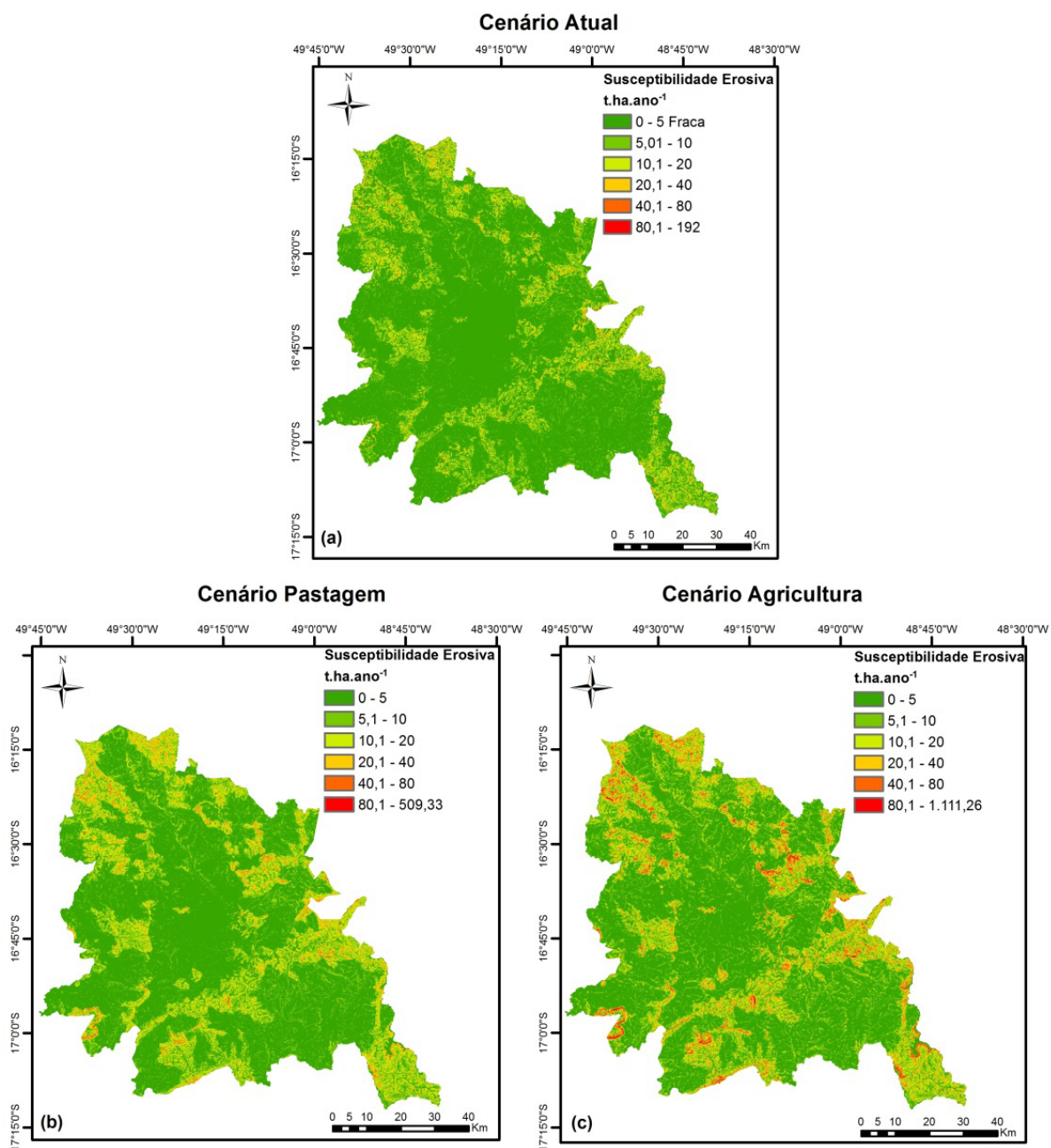


Figura 2. Mapa da distribuição espacial da susceptibilidade erosiva. (a) Situação atual (Cenário Atual); (b) Simulação para pastagem (Cenário Pastagem); (c) Simulação para agricultura (Cenário Agricultura).

Há uma mudança perceptível dos valores de susceptibilidade erosiva (Figura 2). No Cenário Atual pode se observar que a presença de cobertura vegetal savânica possui valores que vão de 0 a 192 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, já no Cenário Pastagem os valores aumentam para 0 a 509 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e o Cenário Agricultura que ofereceu menor proteção ao solo está entre 0 e 1.111 $\text{ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Os resultados apresentados

indicam um controle eficiente da presença de cobertura vegetal savânica para a diminuição da susceptibilidade erosiva, devido a capacidade dessa vegetação em minimizar os efeitos do impacto das gotas de chuva sobre o solo e a melhora no escoamento superficial das águas.

Na Tabela 2 é considerada toda a área da região metropolitana de Goiânia (7.297,45 km²), onde são apresentados os valores de perda do solo para o Cenário Atual, Pastagem e Agricultura. Em todos cenários a maior parte da área (75,23%, 63,62% e 58,47% respectivamente) se encontra classificada como fraca onde a perda do solo é de até 5 ton.ha⁻¹.ano⁻¹ e a menor parte (0,01%, 0,03% e 0,81%) classificada como Muito Severa com perda do solo maior que 80 ton.ha⁻¹.ano⁻¹, na qual a área aumentou o equivalente a quase cinco vezes para o Cenário Pastagem e mais de 130 vezes para o Cenário Agricultura.

Classes	Perda do Solo t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹	Cenário Atual		Cenário Pastagem		Cenário Agricultura	
		Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Fraca	0 a 5	5.490,08	75,23	4.642,33	63,62	4.267,08	58,47
Moderada	6 a 10	909,04	12,46	1234,30	16,91	1240,36	17
Alta	11 a 20	645,27	8,84	935,70	12,82	976,32	13,38
Muito Alta	21 a 40	229,16	3,14	416,56	5,71	523,64	7,18
Severa	40 a 80	23,44	0,32	66,42	0,91	230,98	3,17
Muito severa	>80	0,43	0,01	2,12	0,03	59,04	0,81
Total		7.297,45	100	7.297,45	100	7.297,45	100

Tabela 2. Classificação do grau de erosão por cenários na região metropolitana de Goiânia.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mudança de uso e cobertura da terra representa um importante fator na perda do solo, no qual diferentes usos apresentam distintas capacidades de intensificação na susceptibilidade erosiva. Sendo que a presença de pastagem e agricultura elevam esses níveis consideravelmente, pois altera as condições naturais da cobertura vegetal e das propriedades dos solos que se tornam compactados. Para grandes áreas como a selecionada a metodologia, de estimativa de erosão laminar, adotada oferece bons resultados.

5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPEG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás) pela concessão de bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: Modelo Geotecnológico e aplicação**. Editora Universa. Brasília, DF. 2003, 140p..
- BERTONI, J. E LOMBARDI NETO, F. (1993). **Conservação do Solo**. 3ª edição, Ícone Editora, São Paulo.
- COOK, R. U.; DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in environmental management**. Oxford: Clarendon, 1990.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa do Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro : Embrapa SPI, 1999. 412p.
- FERRAZ, S.F.B DE.; PEREIRA, M.F; PAULA. F.R.DE.; VETTORAZI, C.A.; ALVARES, C.A. **Simulação de perdas de solo em função de cenários de adequação ambiental em microbacias agrícolas**. Sci. For., Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 271-282, jun. 2013
- FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. **Ativos ambientais do bioma cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado Goiás**. Revista Brasileira de Cartografia, v. 1, n. 61, p. 37-50, 2009.
- IBGE. Censo demográfico 2010. **Indicadores municipais: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/>. Acesso em: 23 out. 2016.
- INMET. **Normais Climatológicas** 1961 a 1990. INMET. Brasília, 1992.
- LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP)**. Bragantia, Campinas, 51(2):189-196, 1992.
- MACHADO, R. E.; VETORAZZI, C. A.; XAVIER, A. C. **Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, p.727-733, 2003.
- MOORE, I. D.; BURCH, G. L. **Modeling erosion and depositon: topographic effects**. Transaction of the ASAE. v. 20, n. 6, p. 1624 –1630, 1986.
- PEROVIC, V.; ZIVOTIC. L.; KADOVIC, R.; DORDEVIC, A.; JARAMAZ, D.; MRVIC, V.; MRVIC, V.; TODOROVIC, M. **Spatial modelling of soil erosion potential in aountainous watershed of South-eastern Serbia**. Environ Earth Sci. Environ Earth Sci, n.68, p.115–128, 2013.
- PRUSKI, F. F. Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In:(ed.). **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. 2.ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009a. p. 13-23. (cap.1).
- RANIERI S.B.L. SPAROVEK G. SOUZA M.P DOURADO NETO D. **Aplicação de Índice Comparativo va Avaliação do Risco de degradação das Terras**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Volume 22, n. 4, Viçosa - MG, outubro a dezembro de 1998.
- SILVA, M.A. **Modelagem hidrológica e das perdas de solos: suas relações com a forma do relevo e uso do solo na Bacia do rio Taperoá-PB**, 2015. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- SILVA, A.M.; ALVARES, C.A. **Levantamento de informações e estruturação de um banco dados**

sobre a erodibilidade de classes de solos no estado de São Paulo. Geociências, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2005.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. DE M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 8 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: **Anais** do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 12, Goiânia: INPE, 2005. p. 3911-3918.

TOMAZONI, J.C.; MANTOVANI, L.E.; BITTENCOURT, A.V.L.; ROSA FILHO, E.F. da. **A sistematização dos fatores da Eups em Sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Anta Gorda (PR).** Estudos Geográficos, Rio Claro, v.3, n.1, p.1-21, jan./jun. 2005.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting a rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** Washington: USDA/ARS, 1978. 58 p. (Agricultural Handbook n° 573).

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

Teônia Casado da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Natal - RN

Madson Tavares Silva

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande - PB

Danielle Teixeira Alves da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Natal – RN

Edivaldo Afonso de Oliveira Serrão

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande - PB

Eduardo da Silva Margalho

Universidade Federal de Campina Grande
Campina Grande – PB

RESUMO: O objetivo deste trabalho é analisar as estimativas da evapotranspiração potencial (ETP) resultantes das simulações geradas pelo modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, e comparar os resultados obtidos com os gerados a partir do método de Linacre, utilizando-se para tanto critérios estatísticos para avaliação do desempenho. Foram utilizados dados da Estação Agrometeorológica de Bebedouro, Petrolina-PE, referentes ao período de janeiro de 1993 a dezembro de 2010. Para a avaliação do desempenho dos modelos utilizaram-se

análises de regressão e foram obtidos os coeficientes de determinação (R^2), coeficientes de correlação (r), o erro médio percentual (EMP), o erro médio absoluto (EMA), a raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN). A avaliação do desempenho de um método é fundamental para conhecer o quão próximo do real serão os valores fornecidos por um dado método, possibilitando a sua utilização para fornecimento de dados para a gestão dos recursos hídricos. Atividades como a irrigação, que apresentam alto consumo de água, precisam se adequar à quantidade de água disponível, devendo utilizar-se de modelos adequados e de técnicas de irrigação eficientes. De acordo com os resultados, o R^2 foi em torno de 83,15%, verificando uma tendência de subestimativa dos valores simulados em torno de 18%, o que representa em média cerca de 0,9 mm.dia⁻¹, enquanto o RQMDN foi da ordem de 16,4%. A partir dos critérios estatísticos utilizados neste estudo pode-se concluir que o modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, apresenta-se como alternativa adequada para fornecer dados estimativos de ETP.

PALAVRAS-CHAVE: semiárido, irrigação, gestão, análise estatística.

ABSTRACT: The objective of this paper is to analyze the estimatives of potential

evapotranspiration (ETP) resulting from simulations generated by the SWAT model through Penman-Monteith and compare the results found with the data generated by using the Linacre method, using for that matter statistical criteria for performance evaluation. Were used data from the Agrometeorological Station of Bebedouro, which is located in Petrolina, PE, covering the period from January of 1993 to December of 2010. To evaluate the performance of the models we used regression analysis and were obtained coefficients of determination (R^2) coefficients correlation (r), the mean percentage error (EMP), mean absolute error (EMA), the square root of the mean square normalized error (RQMDN). The evaluation of a method's performance is essential to know how close to the actual values will be the results achieved by a given method, allowing its use in providing data for the management of water resources. Activities such as irrigation, which have high water consumption, must conform to the amount of water available and should use appropriate models and efficient irrigation techniques. According to the results, the R^2 was around 83.15%, verifying a trend of underestimation of the simulated values around 18%, which represents an average of about 0.9 mm.day^{-1} , while the RQMDN was 16.4%. From the statistical criteria used in this study it can be concluded that the model SWAT performed by the method of Penman Monteith, is presented as an appropriate alternative to provide estimated data ETP.

PALAVRAS-CHAVE: semi-arid, irrigation, management, statistical analysis.

1 | INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009). No semiárido brasileiro as altas taxas de evaporação, geralmente superiores à precipitação, reforçam a necessidade de monitoramento dos índices de evapotranspiração.

A estimativa de evapotranspiração potencial (ETP) contribui para desenvolver práticas adequadas para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que torna possível a previsão de períodos de maior déficit hídrico, sendo possível a adoção de medidas preventivas para manutenção do abastecimento e de outras atividades de uso consuntivo da água. A agricultura irrigada se apresenta, atualmente, como grande alternativa econômica para o Brasil, em especial para a região Nordeste, assim, é necessário que os recursos hídricos disponíveis sejam usados de forma racional, através da utilização de técnicas apropriadas de manejo da água, do solo e de cultivos (SILVA et al., 2005; 2015; 2018).

Existem diversos métodos para a estimativa da ETP, podemos citar como exemplo os métodos mais utilizados no Brasil, são eles Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo (com temperatura efetiva), Camargo, Hargreaves e Samani, Tanque Classe A, Priestley-Taylor, Linacre e Penman-Monteith (SENTELHAS; ANGELOCCI, 2009).

O método Penman-Monteith é considerado, internacionalmente, o mais apropriado

para a estimativa da ETP, pois além de procurar representar, de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos observados em estações meteorológicas de superfície (CARVALHO et al., 2011). Porém, quando não tiver disponível todos os dados é necessário utilizar um método mais simplificado, como é o caso do método de Linacre.

A evapotranspiração (ET) é um componente essencial tanto do clima quanto do ciclo hidrológico, e tem significativa agrícola, ecológica e implicações hidrológicas. ET utiliza cerca de três quintos da radiação solar anual disponível globalmente recebido na superfície da Terra (WANG; DICKINSON, 2012).

Os modelos numéricos aplicados na hidrologia apresentam-se como ferramentas de grande importância nos estudos do ciclo hidrológico e científicos relacionados com a gestão hídrica e problemas práticos (SILVA et al., 2014; 2016a; 2016b). Desde meados dos anos 1960, diversos modelos hidrológicos foram estabelecidos; os modelos têm sido desenvolvidos desde bases mais conceituais simples até mais tarde com o desenvolvimento da computação e inserção dos SIG's desenvolvendo assim os modelos distribuídos de base física. Dentre os modelos distribuídos de base física, o *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT desenvolvido no início de 1990, é um modelo aplicado em escala de bacia hidrográfica (ARNOLD et al., 1999).

O objetivo deste trabalho é analisar as estimativas da evapotranspiração potencial (ETP) resultantes das simulações geradas pelo modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith e comparar os resultados obtidos com os gerados a partir do método de Linacre para estação meteorológica de Bebedouro (PE), utilizando-se critérios estatísticos para avaliação do desempenho.

2 | MATERIAL E METODOS

Para cálculo da ETP foram coletados dados do período de janeiro de 1993 a dezembro de 2010, fornecidos pela Estação Agrometeorológica de Bebedouro (09°09'S; 40°22'W), na Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw^h, semi-árido com temperaturas médias anuais elevadas, da ordem de 26,03°C e precipitação média de 347,8 mm (EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, 2013).

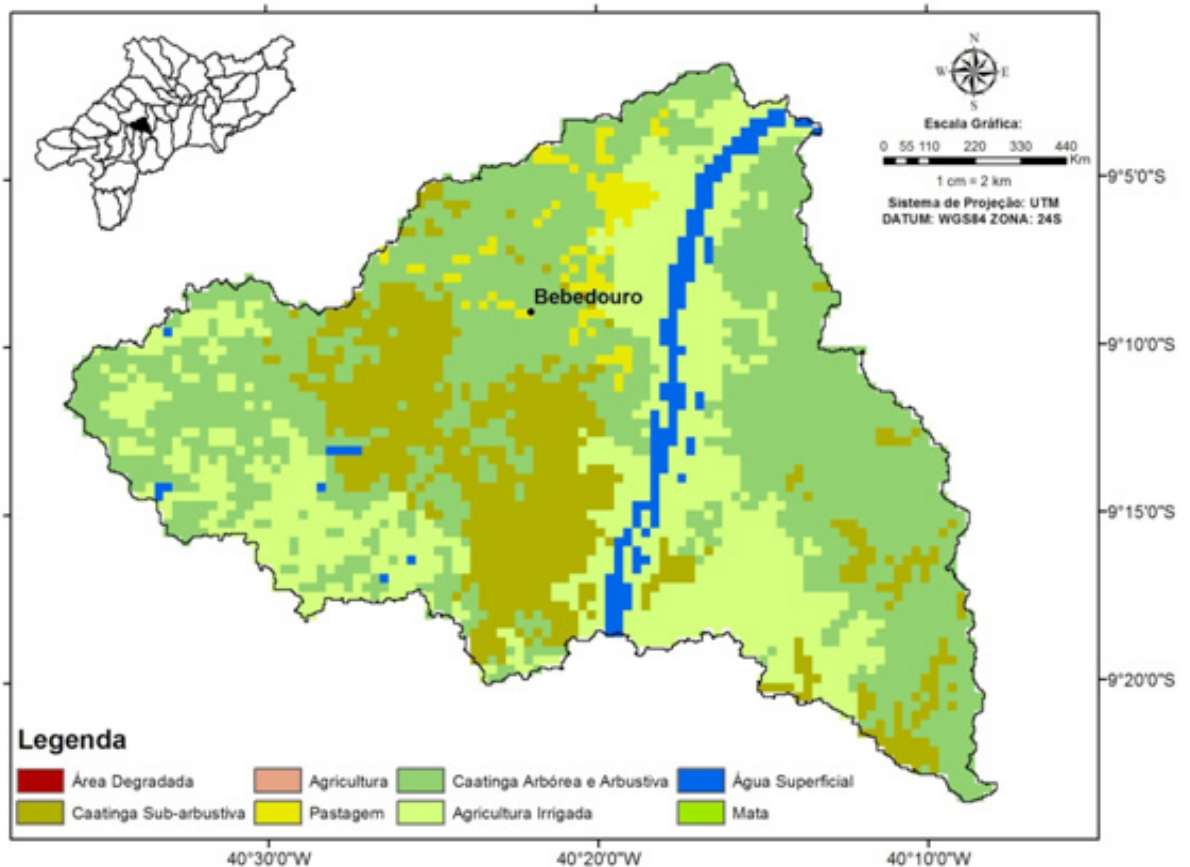


Figura 1. Localização da área de estudo.

Evapotranspiração Potencial (ETP)

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo modelo SWAT através do método de Penman-Monteith de acordo com a Equação (1). Necessitando, portanto, para a sua estimativa de dados médios climáticos das condicionantes termodinâmicas da atmosfera.

$$ETP = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que:

R_n : Saldo de Radiação ($Mj/m^2 \text{ dia}^{-1}$),

G : Fluxo de calor no solo ($Mj \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$),

T_a : Temperatura média do ar ($^{\circ}C$),

U_2 : Velocidade média diária do vento a 2m de altura,

E_s : Pressão de saturação de vapor média diária (kPa),

E_a : Pressão atual de vapor média diária (kPa),

Δ : Declividade da curva de pressão de vapor.

γ : Constante psicrométrica (kPa/ $^{\circ}C$).

A ETP também foi estimada pelo método de Linacre a partir da Equação (2)

para a estação meteorológica de Petrolina como critério de controle dos valores de saída do modelo.

$$ETP = \frac{500 \frac{T_{med} + (0,006 H)}{100 - (L)} + 15 (T_{med} - T_0)}{(80 - T_{med})} \quad (2)$$

em que:

- T_{med} : Temperatura média (°C),
- H: Altitude (m), para a localidade,
- L: Latitude (°S), para a localidade,
- T_0 : Temperatura de Orvalho (°C).

2.1 Análise estatística

Para se obter dados diários foi realizada a média dos dados horários da estação agrometeorológica de Bebedouro. Os dias que não possuíam dados foram descartados para que não afetassem os resultados.

Quando se relacionam, pela regressão, valores estimados com valores observados, podem-se obter informações da precisão e da exatidão, que, conjuntamente, indicam a consistência dos dados estimados com os observados. A precisão, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo coeficiente de determinação, indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos, o erro aleatório, não considerando o sistemático. Os coeficientes de determinação e de correlação foram obtidos por meio do EXCEL a partir da construção direta dos gráficos e das respectivas regressões. Para a avaliação do desempenho dos modelos utilizaram-se análises de regressão e foram obtidos os coeficientes de determinação (R^2), coeficientes de correlação (r), o erro médio percentual (EMP), o erro médio absoluto (EMA), a raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN). Os índices estatísticos são descritos e formulados a seguir:

a) A precisão, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo coeficiente de determinação (R^2), indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos, o erro aleatório, não considerando o sistemático. Obtido a partir da Equação (3) que representa as regressões lineares entre os valores observados e os estimados:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (3)$$

em que:

- E_i - valor estimado
- O_i - valor observado

\bar{O} - média dos valores observados

n - número de observações

b) Raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN) de acordo com a Equação (4):

$$\text{RQMDN} = \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 \right]^{0.5}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \quad (4)$$

A RQMDN varia entre 0 a infinito sendo que, quanto menor, melhor a estimativa, entretanto, este índice não faz distinção quanto aos dados serem subestimados ou superestimados (JACOVIDES; KONTOYIANNIS, 1995).

c) O erro médio absoluto representa o módulo da diferença entre o valor observado e o valor estimado. Considerando que O_i representa o valor observado, E_i representa o valor estimado a partir dos modelos e n representa o número de valores, o EMA foi determinado pela Equação (5):

$$\text{EMA} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (5)$$

Similar ao RQMDN, quanto menor o valor do erro médio absoluto de EMA melhor a estimativa, porém valores positivos indicam a quantidade média de superestimativa dos modelos, e negativa, o contrário.

d) O erro médio percentual EMP(%) diz respeito ao percentual de viés dos valores simulados em relação aos observados. Quanto mais próximo de zero for o valor deste coeficiente melhor o modelo representará a realidade, ou seja, menor a tendência nas estimativas e, além disso, serve também como indicativo se o modelo é pobre em representatividade (MORIASIET al., 2007). LIEW et al. (2007) apresentaram a seguinte classificação: $|EMP| < 10\%$, muito bom; $10\% < |EMP| < 15\%$, bom; $15\% < |EMP| < 25\%$, satisfatório e $|EMP| > 25\%$, o modelo é inadequado.

O erro médio percentual foi obtido pela Equação (6):

$$\text{EMP}(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - E_i}{E_i} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Para verificar se, realmente, os valores de ETP estimados pelos modelos diferiram significativamente entre os valores de ETP medidos, utilizou-se o teste-t derivado a partir do R^2 (STONE, 1993; TOGRUL; TOGRUL, 2002) segundo a Equação (7):

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

em que:

n – número de observações

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sensibilidade do modelo foi abordada em relação à distribuição das componentes que compõem a superfície (relevo, solos e cobertura do solo) como também as variáveis que condicionam o tempo e clima. A partir da análise de sensibilidade foi possível verificar que dentre os principais parâmetros selecionados, a estimativa da ETP com valores coerentes seria de grande importância tendo em vista a demanda natural do ambiente semiárido; tal forçante atua diretamente nos processos de REVAP como também na transferência de água para os canais, fazendo retiradas substanciais do escoamento superficial (Runoff). Como já mencionado, neste estudo foi selecionado no modelo SWAT o método de estimativa da ETP proposto por Penman-Monteith, entretanto na indisponibilidade das variáveis de entrada na validação de tal componente foi também utilizado o método de Linacre.

Para análise do desempenho na estimativa da ETP foi tomado como modelo de referência o método de Linacre (ETP – Calculada) e o método simulado (ETP – SWAT), os resultados obtidos para os 2 métodos foram comparados utilizando critérios estatísticos, aplicados para o período de validação. O período de validação para as estações possui séries históricas (jan-1993 a dez-2010). A Figura 2 exibe a relação entre as estimativas de ETP pelo modelo SWAT e o método de Linacre para localidade de Bebedouro descrevendo uma explicação da ordem de 83% da variabilidade dos dados de ETP foi possível verificar a tendência de subestimativa dos valores simulados em torno de 18%, o que representa em média cerca de 0,9 mm dia⁻¹, enquanto o RQMDN foi da ordem de 16,4%.

ETP – Linacre (mm dia ⁻¹)	ETP – SWAT (mm dia ⁻¹)	EMA (mm dia ⁻¹)	EMP (%)	RQMDN (%)
6,2	5,3	0,9	18,1	16,4

Tabela 1. Análise estatística dos modelos de evapotranspiração potencial (ETP).

Sabendo-se da importância da estimativa da ETP para avaliar os efeitos da mudança do uso da terra sobre o rendimento de água, avaliação ambiental, e desenvolvimento de melhores práticas de gestão para proteger a qualidade das águas sobre a superfície e subterrâneas (IRMAK et al., 2005).

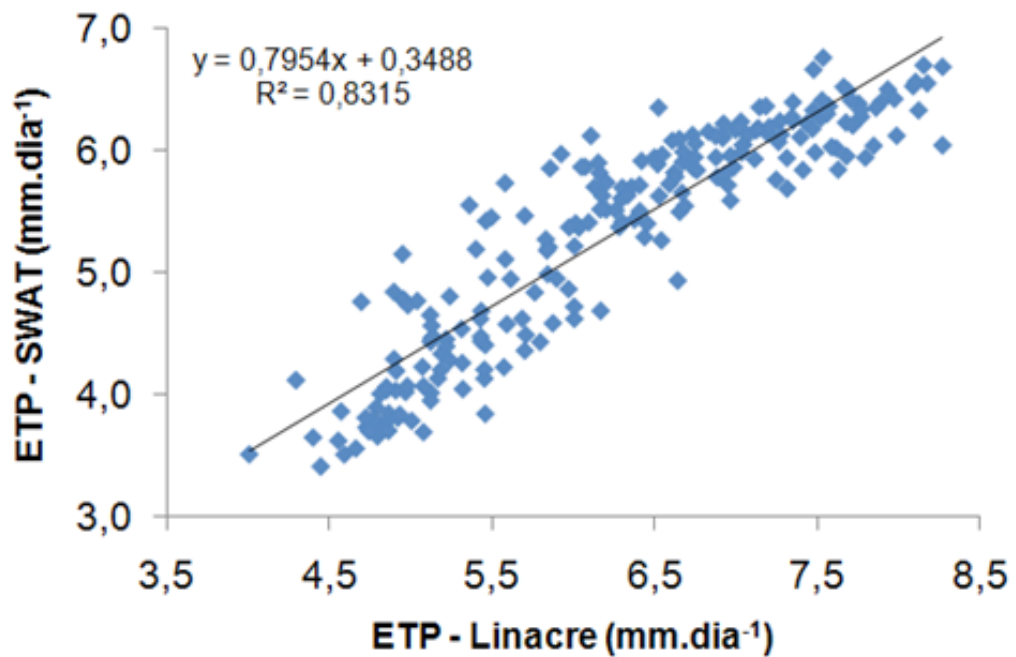


Figura 2. Relação entre as estimativas de ETP pelo modelo SWAT e o método de Linacre para o período (jan-1993 a dez-2010), para localidade de Bebedouro.

4 | CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos foi verificado que as estimativas de ETP gerados a partir das simulações do SWAT representaram em torno de 83% a estimativas da ETP pelo método de Linacre, o qual utilizou apenas dados observados oriundos da estação de Bebedouro (PE). Dessa forma considera-se que os valores possuem desempenho satisfatório. Pode-se concluir que o modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, apresenta-se como alternativa adequado para fornecer dados estimativos de ETP.

REFERÊNCIAS

- ARNOLD, J. G.; ALLEN, P. M. **Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records**. Journal of the American Water Resources Association, Virginia, v. 35, p. 411–424, 1999.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa**. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011. e-ISSN 1983-4063.
- IRMAK, A. **Evapotranspiration** - Remote sensing and modeling. InTech, DOI: 10.5772/725, Croatia. Dez. 2011. Disponível em: <<https://www.intechopen.com/books/evapotranspiration-remote-sensing-and-modeling>>. Acesso em: 05 nov. 2014.
- JACOVIDES C. P. ; KONTOYIANNIS, H. **Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models**. Agricultural Water Management, U.K., vol. 27, p. 365 -371, 1995.
- LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. **Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: A comparison on USDA-ARS watersheds**. Journal of Hydrological Research, v. 12, p. 173-189, 2007.

MORIASI, D. N. ; ARNOLD, J. G. ; LIEW, M. W. VAN; BINGER, R. L. ; HARMEL, R. D. ; VEITH, T. L. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.** Transactions of the ASABE, v. 50, p. 885-900, 2007.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R. **Evapotranspiração – Definições e conceitos.** ESALQ/USP, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula8.pdf>>. Acesso em: 06 out. 2014.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; ARAÚJO, A. L. **SWAT model application to estimate the flow in the basin of lower-middle São Francisco River.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 8, p. 1615-1627, 2015.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; ARAÚJO, A. L.; AZEVEDO, J. V. V. 2016a. Estimativa da Erosividade das Chuvas na Estação Agrometeorológica de Bebedouro (PE). In: SANTOS, C. A. C. DOS; SILVA, M. T.; SILVA, V. M. DE A. (Org.). **Recursos Naturais do Semiárido - Estudos Aplicados.** 1 ed. Campina Grande-PB, v. 1, pp. 325-339.

SILVA, M. T.; SILVA, V. P. R.; SOUZA, E. P.; OLIVEIRA, V. G. **Morphometric analysis of the basin low middle São Francisco River.** Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v. 4, n. 8, p. 168-174, 2014.

SILVA, V. P. R. **On climate variability in Northeast of Brazil.** Journal of Arid Environments, v. 58, p. 575-596, 2004.

SILVA, V. P. R.; FILHO, ADELGÍCIO F. B.; SILVA, B. B.; CAMPOS, J. H. B. C. **Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 4, p. 547-553. ISSN 1807-1929, 2005.

SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SOUZA, E. P. **Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco River basin.** Engenharia Agrícola, v. 36, n. 6, p. 1005-1015, 2016b.

SILVA, V. P. R.; SILVA, M. T.; SINGH V. P.; SOUZA E. P.; BRAGA, C. C.; HOLANDA R. M.; BRAGA, A. C. R. **Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin.** CATENA, v. 162, p. 166-176, 2018.

SOUZA, C. B.; SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, V. P. R. **Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 12, n. 4, p. 400–407, 2008.

STONE, R. J. **Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models.** Solar energy, v. 51, p. 289-291, 1993.

TOGRULI, T. ; TOGRUL, H. **Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and Measured date.** Renewable Energy, v. 25, p. 55-67, 2002.

WANG, K., DICKINSON, R.E. **A review of global terrestrial evapotranspiration: observation, modeling, climatology, and climatic variability.** Rev. Geophys. 50, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2011RG000373>>. Acesso em: 12 out. 2014.

SOBRE O ORGANIZADOR

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

Agência Brasileira do ISBN

ISBN 978-85-85107-48-2



9 788585 107482