



**PANTANAL:  
O ESPAÇO GEOGRÁFICO  
E AS TECNOLOGIAS  
EM ANÁLISE**

---

**Alan Mario Zuffo  
(Organizador)**

---

**Atena**  
Editora  
Ano 2019

**Alan Mario Zuffo**  
(Organizador)

# **Pantanal: O Espaço Geográfico e as Tecnologias em Análise**

Atena Editora  
2019



2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

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  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
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 Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
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  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

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

P197 Pantanal [recurso eletrônico] : o espaço geográfico e as tecnologias em análise / Organizador Alan Mario Zuffo. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-222-7

DOI 10.22533/at.ed.227192903

1. Biodiversidade. 2. Ecossistemas – Brasil. 3. Pantanal. I. Zuffo, Alan Mario.

CDD 577.0981

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

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

2019

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

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

## APRESENTAÇÃO

A obra “Pantanal O Espaço Geográfico e as Tecnologias em Análises” aborda uma série de capítulos de publicação da Atena Editora, apresenta, em seus 16 capítulos, conhecimentos tecnológicos do pantanal e suas especificidades.

As Ciências estão globalizadas, englobam, atualmente, diversos campos em termos de pesquisas tecnológicas, dentre eles, o bioma pantanal. Tal bioma, tem característica peculiares, alimentares, culturais, edafoclimáticas, étnicos, entre outros. O bioma pantanal por ser rico em diversidades biológicas, a preservação é necessária para o equilíbrio do meio ambiente.

Vários são os desafios para a conservação do bioma pantanal, entre eles, destacam-se as queimadas e incêndios florestais, o monitoramento da qualidade das águas, o levantamento da distribuição das espécies arbóreas, dentre outras. Portanto, o conhecimento do espaço geográfico e as tecnologias de análise são importantes para garantir a conservação do bioma pantanal.

Este livro traz artigos alinhados com o bioma pantanal e suas especificidades. As transformações tecnológicas desse bioma são possíveis devido o aprimoramento constante, com base em novos conhecimentos científicos.

Aos autores dos diversos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos, os agradecimentos do Organizador e da Atena Editora.

Por fim, esperamos que este livro possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias para o bioma do pantanal, assim, garantir perspectivas de solução para o desenvolvimento local e regional para as futuras gerações de forma sustentável.

Alan Mario Zuffo



## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE INCÊNDIO NO PANTANAL (2000-2016)	
<i>Wagner Tolone da Silva Ferreira</i> <i>Leticia Larcher de Carvalho</i> <i>Ângelo Paccelli Cipriano Rabelo</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2271929031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO BIOMA PANTANAL	
<i>Nickolas Mendes de Matos</i> <i>Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi</i> <i>Fabrcio Assis Leal</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2271929032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>24</b>
ANÁLISE QUANTI-QUALITATIVA DOS CASOS DE DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL NOS ANOS DE 2015 E 2016	
<i>Adriana Bilar Chaquime dos Santos</i> <i>Orlando Moreira Junior</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2271929033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>35</b>
APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO - GOIÁS	
<i>Victor Tomaz de Oliveira</i> <i>Wellington Nunes de Oliveira</i> <i>Emanoelle Pereira da Silva</i> <i>Elaine Jacob da Silva Carmo</i> <i>Kharen de Araújo Teixeira</i> <i>Hugo José Ribeiro</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2271929034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE VERMELHO – MT AFLUENTE DO RIO PARAGUAI SUPERIOR	
<i>Jéssica Ramos de Oliveira</i> <i>Carine Schmitt Gregolin</i> <i>Martins Toledo de Melo</i> <i>Tadeu Miranda de Queiroz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.2271929035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>59</b>
BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI POR MEIO DE DADOS TRMM E MOD16A2	
<i>Hudson de Azevedo Macedo</i> <i>José Cândido Stevaux</i>	

*Ivan Bergier*

*Aguinaldo Silva*

**DOI 10.22533/at.ed.22712903686**

**CAPÍTULO 7 ..... 71**

CARTA HIPSOMÉTRICA DO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE MACAPÁ-AP  
UTILIZANDO MODELOS DE ELEVAÇÃO DO TOPODATA E O LAF

*Herondino dos Santos Filho*

*Marcelo José de Oliveira*

*Darren Norris*

**DOI 10.22533/at.ed.2271929037**

**CAPÍTULO 8 ..... 83**

DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE NÚMERO DE DEFLÚVIO (CN) PARA O  
PERÍMETRO URBANO DE DOURADOS-MS

*Vinícius Silva Rezende*

*Vinícius de Oliveira Ribeiro*

*Yani Scatolin Mendes*

**DOI 10.22533/at.ed.2271929038**

**CAPÍTULO 9 ..... 94**

DISTRIBUIÇÃO DA PLUVIOMETRIA, NDVI E UMIDADE DO SOLO NOS BIOMAS  
BRASILEIROS

*Hugo José Ribeiro*

*Nilson Clementino Ferreira*

*Wellington Nunes Oliveira*

*Victor Tomaz de Oliveira*

*Kátia Alcione Kopp*

**DOI 10.22533/at.ed.2271929039**

**CAPÍTULO 10 ..... 107**

ESTIMATIVA DA EFICIÊNCIA DO SEQUESTRO DE CARBONO EM VEGETAÇÃO  
NATURAL DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, USANDO DADOS DE IMAGENS  
CBERS-4 EM JARDIM – MS

*Adelsom Soares Filho*

*Maycon Jorge Ulisses Saraiva Farinha*

*Luciana Virginia Mario Bernardo*

*Clandio Favarini Ruviaro*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290310**

**CAPÍTULO 11 ..... 119**

GEOPROCESSAMENTO APLICADO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: O  
CASO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO E DO PANTANAL

*Rafael Wendell Barros Forte da Silva*

*Dálete Maria Lima de Sousa*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290311**

**CAPÍTULO 12 ..... 131**

IMPACTOS CLIMÁTICOS DAS EMISSÕES ASSOCIADAS ÀS QUEIMADAS NO

MUNICÍPIO DE CÁCERES-MT

*Verônica Martinez de Oliveira Raymundi*

*Thales Ernildo de Lima*

*Alfredo Zenen Domínguez González*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290312**

**CAPÍTULO 13 ..... 140**

MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DO PANTANAL  
COM PACOTES CLIMÁTICOS DO QUATERNÁRIO

*Mariele Ramona Torgeski*

*Kelvin Felix Barbosa*

*Alan Sciamarelli*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290313**

**CAPÍTULO 14 ..... 151**

PROPOSTA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO  
CUIABÁ, COM O USO DE PROCESSOS ESTATÍSTICOS E DE GEOTECNOLOGIA,  
PREVENDO POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS À REGIÃO DO PANTANAL

*Claudionor Alves da Santa Rosa*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290314**

**CAPÍTULO 15 ..... 164**

RELAÇÃO SÓLIDOS/TURBIDEZ NO RIO GRANDE VERMELHO - MT: AFLUENTE  
DO RIO PARAGUAI NA CABECEIRA DO PANTANAL

*Jéssica Ramos de Oliveira*

*Tadeu Miranda de Queiroz*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290315**

**CAPÍTULO 16 ..... 176**

USO DE SENSORES REMOTOS PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE AMOSTRAGEM  
EM CAMPO PARA ANÁLISE DA MORFOLOGIA DO RELEVO NO PANTANAL DA  
NHECOLÂNDIA

*Frederico dos Santos Gradella*

*Paola Vicentini Boni*

*Amanda Moreira Braz*

*Hermiliano Felipe Decco*

**DOI 10.22533/at.ed.22719290316**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 187**



## ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS FOCOS DE INCÊNDIO NO PANTANAL (2000-2016)

### Wagner Tolone da Silva Ferreira

Instituto Homem Pantaneiro – Geógrafo  
Corumbá-MS.

### Leticia Larcher de Carvalho

Instituto Homem Pantaneiro – Secretária  
Executiva  
Corumbá-MS.

### Ângelo Paccelli Cipriano Rabelo

Instituto Homem Pantaneiro – Relações  
Institucionais  
Corumbá-MS.

**RESUMO:** Entre os biomas brasileiros, o Pantanal é um dos biomas mais propensos a queimadas pelas características estruturais de suas fitofisionomias, em decorrência de condições climáticas ou provocadas por práticas de manejo inadequadas de queimas em pastagem. O objetivo deste trabalho é apresentar uma análise espaço-temporal das queimadas no Pantanal entre os anos de 2000 a 2016, para identificar a distribuição espacial e temporal desses eventos, utilizando o estimador de densidade de Kernel. Os resultados reforçam a necessidade de preservação do bioma e atenção frente as queimadas, que tem influenciado no regime hídrico e na biodiversidade do Pantanal. As queimadas ocorrem todos os anos e sua intensidade não segue um padrão, entretanto, estão extremamente ligadas ao regime hídrico

da região, sendo menos frequentes no período úmido provocado pelas cheias.

**PALAVRAS-CHAVE:** queimadas, pantanal, densidade, kernel.

**ABSTRACT:** Among the Brazilian biomes, the Pantanal is one of the biomes most likely to be burned due to the structural characteristics of its phytophysionomies, as a result of climatic conditions or caused by inadequate management practices of pasture burnings. The objective of this work is to present a spatiotemporal analysis of the fires in the Pantanal between the years 2000 to 2016, to identify the spatial and temporal distribution of these events using the kernel density estimator. The results reinforce the need for preservation of the biome and attention to the fires, which has influenced the water regime and biodiversity of the Pantanal. Burnings occur every year and their intensity does not follow a pattern, however, they are extremely related to the water regime of the region, being less frequent in the humid period caused by the floods.

**KEYWORDS:** burned, wetland, density, kernel

### 1 | INTRODUÇÃO

Diante do desafio de conservação dos ecossistemas, as queimadas e incêndios

florestais estão entre os principais problemas. O fogo está associado não somente ao lançamento de gases do efeito estufa e ao aquecimento global, mas também a inúmeros prejuízos econômicos, sociais e ambientais, como desertificação e desflorestamento (IBAMA, 2013). Com relação à biodiversidade, o excesso de queimadas pode causar impactos na estrutura e composição da vegetação, bem como impactos diretos e indiretos na fauna local (Matos, 2014).

Entre os biomas brasileiros, o Pantanal é o mais propenso a queimadas pelas características estruturais de suas fitofisionomias, em decorrência de condições climáticas ou provocados por práticas de manejo inadequadas de queimas em pastagem (PCBAP, 1997). Apesar de esta prática ser tradicionalmente empregada no Pantanal por pelo menos 200 anos, por vezes, áreas que possuem gramíneas tenras e umidade de solo para prolongar o crescimento das mesmas (PCBAP, 1997), e, por consequência, não necessitam de manejo, acabam sendo queimadas de forma descontrolada (Rodrigues et al 2002).

Vários são os estudos realizados no pantanal para entender o uso e ocupação da planície pantaneira, nos quais se destacam estudos sobre a cobertura vegetal, fauna e sobre a geomorfologia fluvial (Ponce 1995, Collischonn et al. 2001, Assine et al. 2009, Cordeiro et al. 2010, Silva 2010, Facincani 2011, Zani et al. 2011, Silva et al. 2012). No que refere - se a estudos voltados a análises dos focos de incêndio dá-se destaque ao monitoramento realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o de Gonçalves et al (2006) que em seu trabalho fez a identificação e delimitação das áreas queimadas no Pantanal; o trabalho de Souza Junior et. al. (2006) que utilizou a imagens MODIS para o monitoramento dos focos, e também o trabalho de Mâcedo et. al (2009) que fez uma avaliação das queimadas do Pantanal na região de Corumbá e Ladário no Pantanal do Paraguai. As queimadas são fenômenos comuns no pantanal mato-grossense, que ocorre tanto por ação antrópica como por ação natural.

O histórico de ocupação da planície pantaneira tem alterado de maneira considerável o uso das terras e o estoque de recursos naturais (Swarts, 2000). Na região da BAP, as queimadas são expressivas e causam grandes danos a biodiversidade local. Dada a importância da BAP para a manutenção do bioma Pantanal, é importante compreender a variação sazonal e espacial de queimadas na região, na perspectiva de sinalizar e estabelecer políticas públicas de controle e combate a focos de incêndio (Cardoso et al 2013).

Neste estudo procurou-se analisar os focos de incêndio do bioma pantanal numa série histórica de 17 anos com o uso do sensoriamento remoto e fazer um debate sobre o período de queimadas nesta região (causas e consequências), para identificar a distribuição espacial e temporal desses eventos.

O bioma Pantanal é formado pelo mosaico hídrico de rios que compõem a Bacia do Rio do Prata, a segunda maior planície inundável e uma das maiores áreas úmidas contínuas do planeta (ANA, 2014). A área calculada do Pantanal é de 138.183 km<sup>2</sup>, dos quais 48.865 km<sup>2</sup> (35,36%) estão no Estado do Mato Grosso (MT) e 89.318

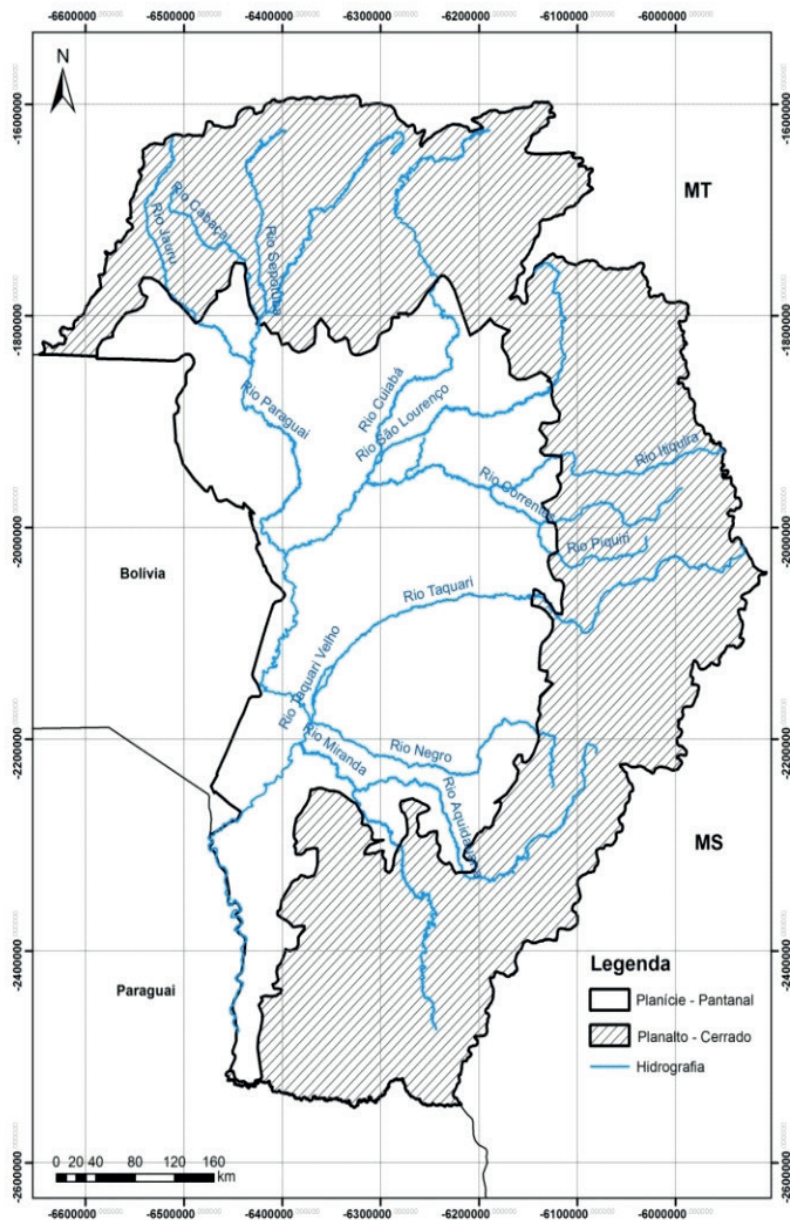
km<sup>2</sup> (64,64%) no Estado do Mato Grosso do Sul (MS). Sua importância ecológica é reconhecida pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) como Reserva da Biosfera e sítio de Patrimônio Nacional, pela Constituição Federal Brasileira. Entretanto, os ecossistemas inseridos neste bioma são frágeis e estão constantemente ameaçados por tendências de desenvolvimento econômico (SFB, 2014).

O rico ecossistema do Pantanal depende do fluxo hidrológico dos cursos d'água que o alimentam. A bacia hidrográfica do rio Paraná é a maior contribuinte do sistema da Bacia do Rio da Prata, seguida pela bacia do rio Paraguai, também conhecida como Bacia do Alto Paraguai (BAP). A BAP tem grande importância, pois se divide em 207.249 km<sup>2</sup> pertencentes ao estado de Mato Grosso do Sul e 188.551 km<sup>2</sup> no Mato Grosso. A BAP constitui um mosaico hidrológico bem definido, com a ocorrência de dois grandes ecossistemas: o Planalto, caracterizado pelo bioma Cerrado, e a Planície, formando o bioma Pantanal (**Figura 1**).

## 2 | OBJETIVO

Analisar os focos de incêndio do bioma pantanal numa série histórica de 17 anos com o uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento, usando o estimador de densidade de Kernel.





**Figura 1.** Bacia do Alto Paraguai (BAP) e os ecossistemas: (Planície - Pantanal / Planalto - Cerrado)

### 3 I MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dados de focos de calor, no formato *shapefile*, da região do pantanal, datadas de 01/01/2000 a 31/12/2016. Foram utilizados dados vetoriais obtidos dos IBGE, ANA e do INPE, para a geração de mapas. O limite do bioma Pantanal usado, foi elaborado o PROBIO (Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira) que é coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Os dados de focos de calor, utilizados nesta pesquisa, foram provenientes de sensores a bordo dos satélites NOAA – AQUA – TERRA – GOES – METEOSAT – NPP – ATRS/ESA, computados e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE) através do Banco de Dados de Queimadas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

A partir da aquisição dos dados, estes foram tratados em ambiente SIG, sendo modelado e gerado os mapas de densidade de Kernel, feito uma correção de função bidimensional realizando uma contagem de todos os pontos dentro de uma área de influência. Possibilitando assim uma visão qualitativa dos focos na região do Pantanal. O *software* utilizado para o processamento dos dados e interpolação dos focos de calor foi o ArcGIS 10.2 em sua extensão *Spatial Analyst*.

Para melhor representação e análise dos resultados da interpolação, definiu-se 5 classes de densidade: 1) muito baixa (verde escuro), 2) baixa (verde claro), 3) média (amarelo), 4) alta (laranja) e 5) muito alta (vermelho).

Para as análises de relação entre número de focos de incêndio e pluviosidade, foram utilizados dados de pluviosidade mensais para os anos de 2000 a 2013, fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET,) através da Estação - Corumbá/MS (83552) e da Estação Nhumirim Nhecolândia/MS (83513) que se encontram no Pantanal. Apesar da estação apresentar-se como operante, não foram fornecidos dados completos para os anos de 2014, 2015 e 2016. Portanto, estes anos não foram utilizados para o cálculo das médias mensais de pluviosidade para o Pantanal.

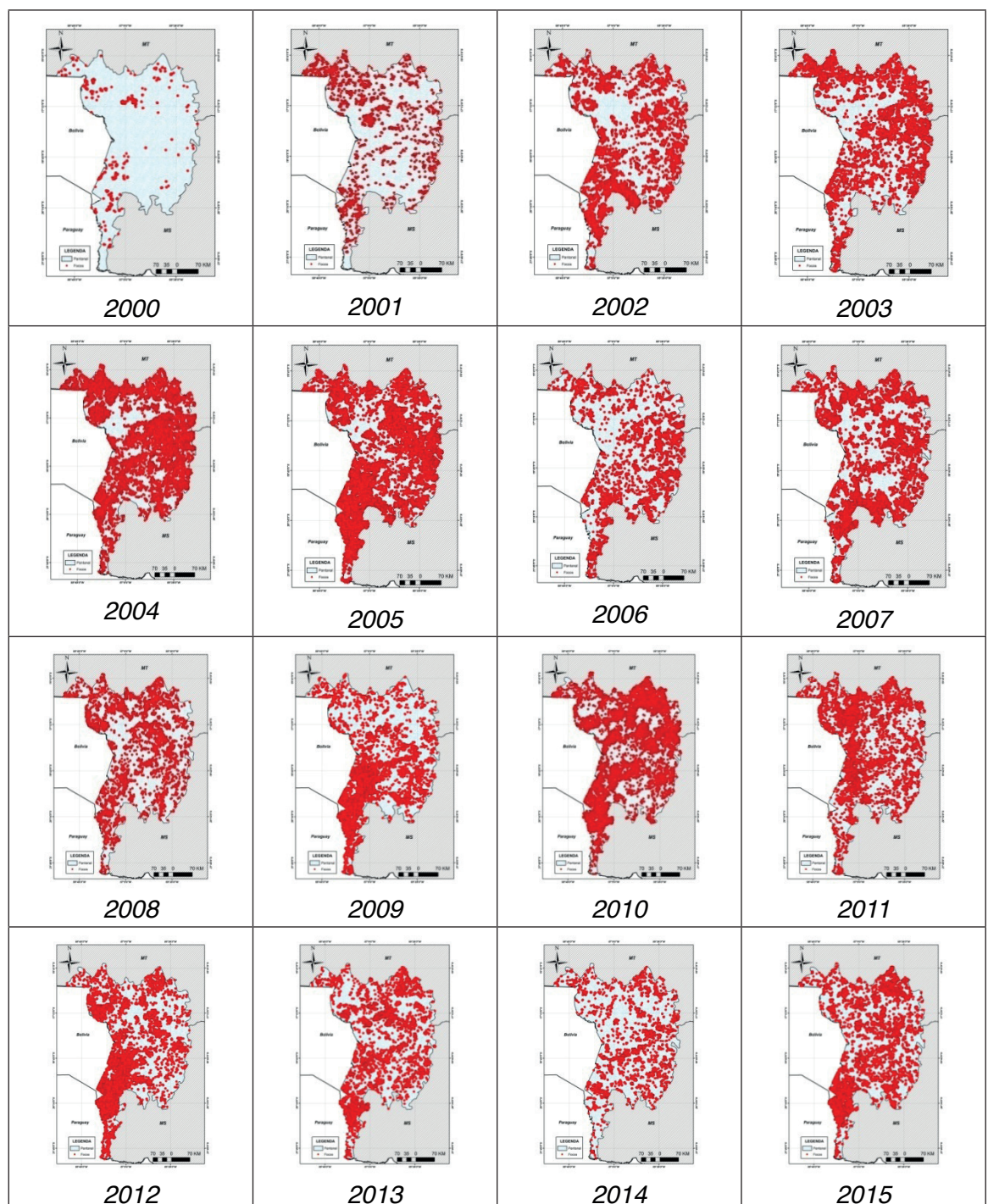
#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fogo sempre foi importante para a formação das primeiras sociedades, ainda mais importante para o pantanal, em que a pecuária é a principal atividade desenvolvida na região e o fogo é usado para ampliar ou formar áreas de pastagem. Mas antes da utilização intencional do fogo para manejo de áreas, já havia queimadas na região da BAP e no Pantanal, causadas naturalmente e/ou pelos índios (PCBAP, 1997). A caracterização do padrão de ocorrência de focos proporciona um panorama espacial e temporal que pode facilitar e priorizar ações de combate aos incêndios, uma vez que, por conta da sua extensão e dificuldades de acesso, torna-se difícil realizar o trabalho in loco.

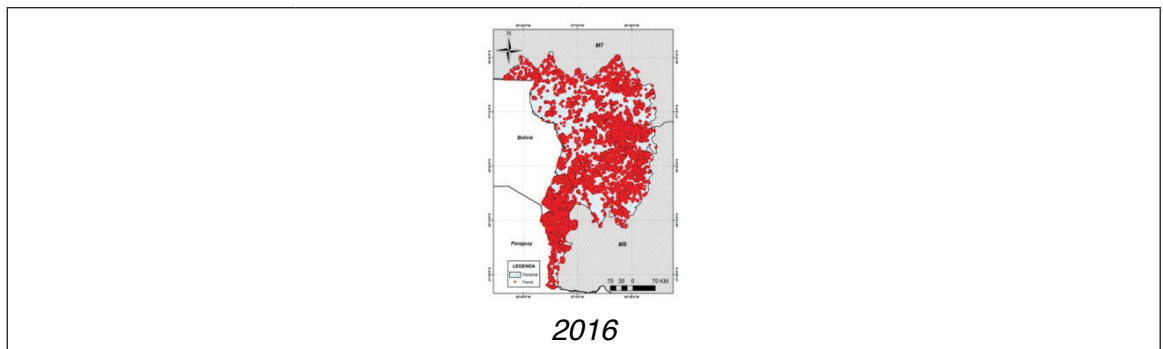
A partir da análise dos dados feito, nos últimos 16 anos, foram quantificados cerca de 460 mil focos de calor neste bioma, detectados pelos diversos sensores que monitoram os focos de queimadas em todo o Brasil (**Figura 2**). Os mapas de distribuição dos focos (**Figura 3**), gerados a partir da disponibilização dos dados pelo INPE, revelam o comportamento espacial destes na área de estudo ao longo da série temporal, analisando assim a recorrência dos eventos de fogo. A distribuição dos focos de incêndio no pantanal, entre os anos analisados seguem o mesmo padrão de distribuição, sendo bem distribuído na área de estudo, mesmo nos anos com menor quantidade.



Figura 2. Quantitativo de focos de incêndio por ano no Pantanal (2000 - 2016).



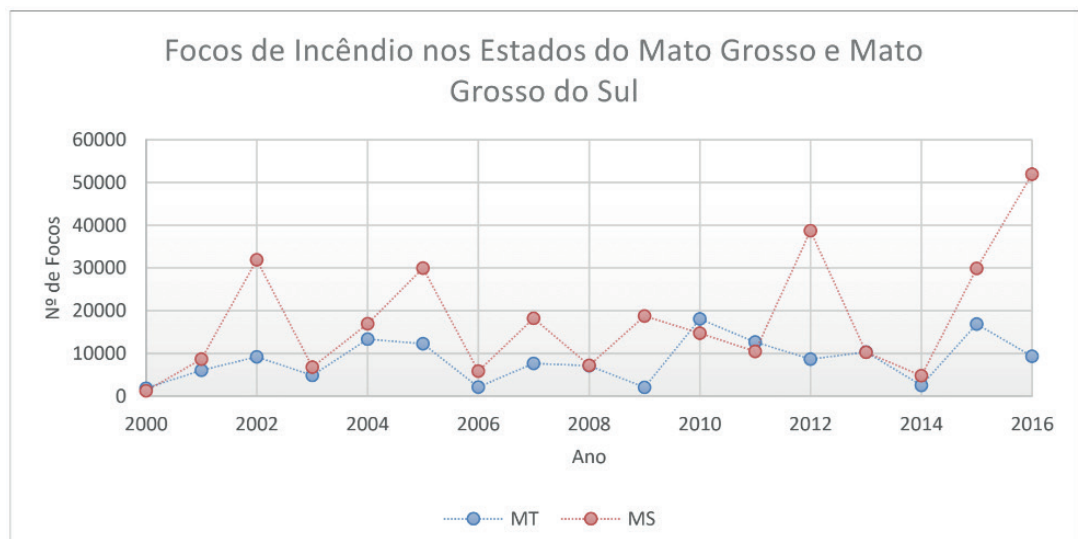




**Figura 3.** Mapas de distribuição dos focos de incêndio no Pantanal (2000-2016).

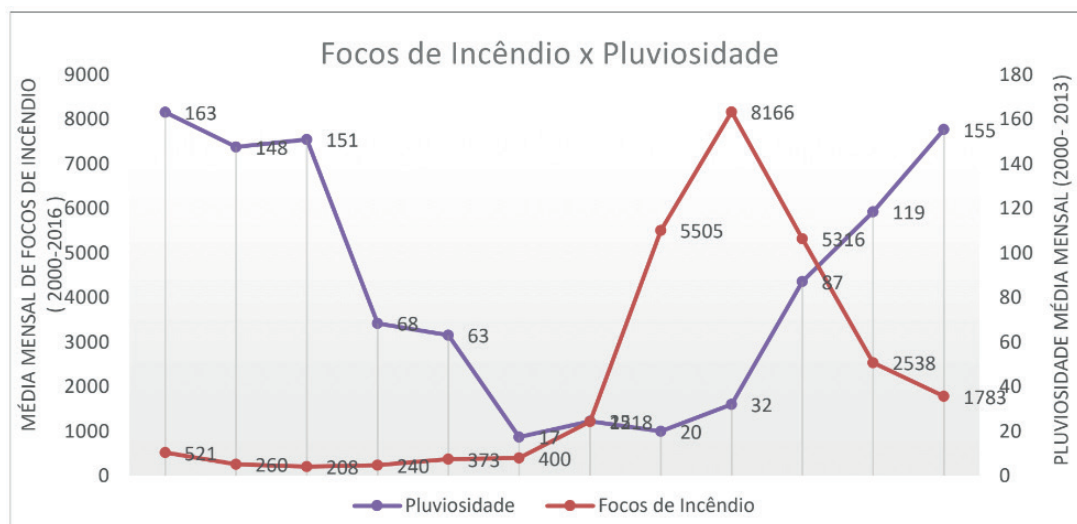
A partir da análise feita dos números de focos de incêndio por estado (**Figura 4**), fica evidente que a maioria dos focos se encontram no estado do Mato do Grosso do Sul (MS), levando em consideração que a área territorial do pantanal é maior que no estado de Mato Grosso (MT). Somente no ano de 2010 que o número de focos de incêndio do MT foi maior que no MS, por conta de uma anomalia nos eventos climáticos na região.

Analisando a distribuição temporal e espacial dos focos de incêndio é possível observar que as áreas com maior densidade populacional são susceptíveis a queimadas que ocorrem anualmente. No Brasil, as estatísticas sobre as ocorrências de incêndios florestais mostram que a maior parte dos focos de incêndio são iniciados a partir de fontes relacionadas direta ou indiretamente às atividades humanas (Matos, 2014). Também é possível observar grande ocorrência de focos na região oeste do Pantanal, na divisa entre Brasil e Bolívia. Muitos focos que se originam no país vizinho não são controlados e se alastram até áreas do pantanal brasileiro, que nesta região, são susceptíveis a grandes queimadas. Aparentemente, a incidência de focos de incêndio é maior nas áreas de pantanal de solo arenoso do que em pantanais de solos argilosos (Matos, 2014), o que parece estar relacionado com a topografia e hidrologia da região. Por exemplo, há maior incidência de focos de incêndio em zonas mais altas e secas (Allem e Valls, 1987).



**Figura 4.** Quantitativo dos focos de incêndios no Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (2000 - 2016)

Os resultados analisados mostram que focos de incêndio ocorrem todos os anos, entretanto, há variação sazonal na ocorrência com maior frequência de focos de incêndio no período de seca do Pantanal e no período onde a média de chuva é menor (**Figura 5**). O mapeamento a partir da densidade e o estudo do levantamento espaço-temporal das queimadas no pantanal é de extrema importância, pois permite fazer a análise de onde o fogo tem ocorrido com maior frequência, qual a intensidade e proporção em que ocorre (**Figura 6**).



**Figura 5.** Relação dos focos de incêndio com a pluviosidade.

Em geral, queimadas extensas ocorrem no período seco, uma vez que no período chuvoso grande parte da região encontra-se inundada (PCBAP 1997), o que resulta em mudanças bem mais significativas na estrutura e composição florística da vegetação do que as queimadas ocorridas na época chuvosa (Miranda e Sato 2005). Entretanto, o regime de chuvas tem variado anualmente, o que pode representar variações no período de maior ocorrência dos focos de incêndio (**Figura 6**). Macedo e colaboradores (2009) registraram a diminuição do nível do rio Paraguai, devido à diminuição das precipitações de chuva em sua bacia, o que pode resultar em um conjunto de fatores favoráveis às queimadas nestas regiões.

Outros fatores podem influenciar na dinâmica de distribuição dos focos de incêndio na BAP, como a quantidade de material orgânico, vivo ou morto, acima do solo, capaz de entrar em combustão e o tipo de cobertura vegetal. Por exemplo, uma floresta aberta, com pouca deposição de material no solo, permite maior penetração dos raios solares e do vento, proporcionando aumento da temperatura do combustível e da taxa de evaporação, conseqüentemente, o potencial de propagação do fogo é maior evaporação (Soares e Batista 2007). Na região da BAP, algumas mudanças no ambiente, em decorrência de ações antrópicas, podem ter influenciado o aumento do número de focos de incêndio. Nas últimas décadas, o processo de ocupação humana e o crescimento das atividades antrópicas na região de Planalto têm alterado de forma drástica o bioma e o fluxo hídrico da Planície pantaneira (PCBAP 1997). A pecuária é a

atividade antrópica mais representativa, seguida pela agricultura que tem se expandido principalmente nas áreas de antigas pastagens, ambas atividades associadas ao uso do fogo para o manejo da vegetação.

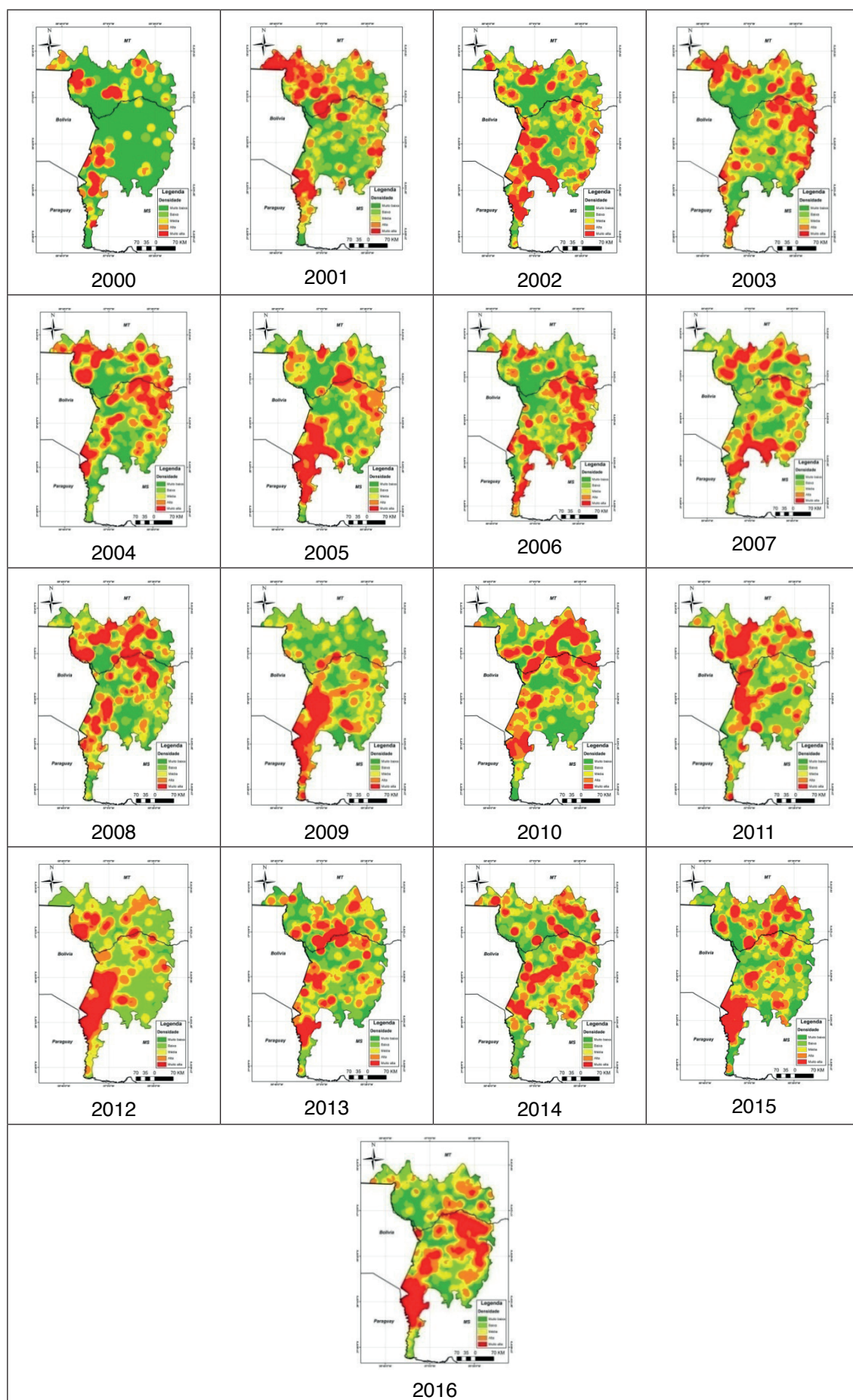
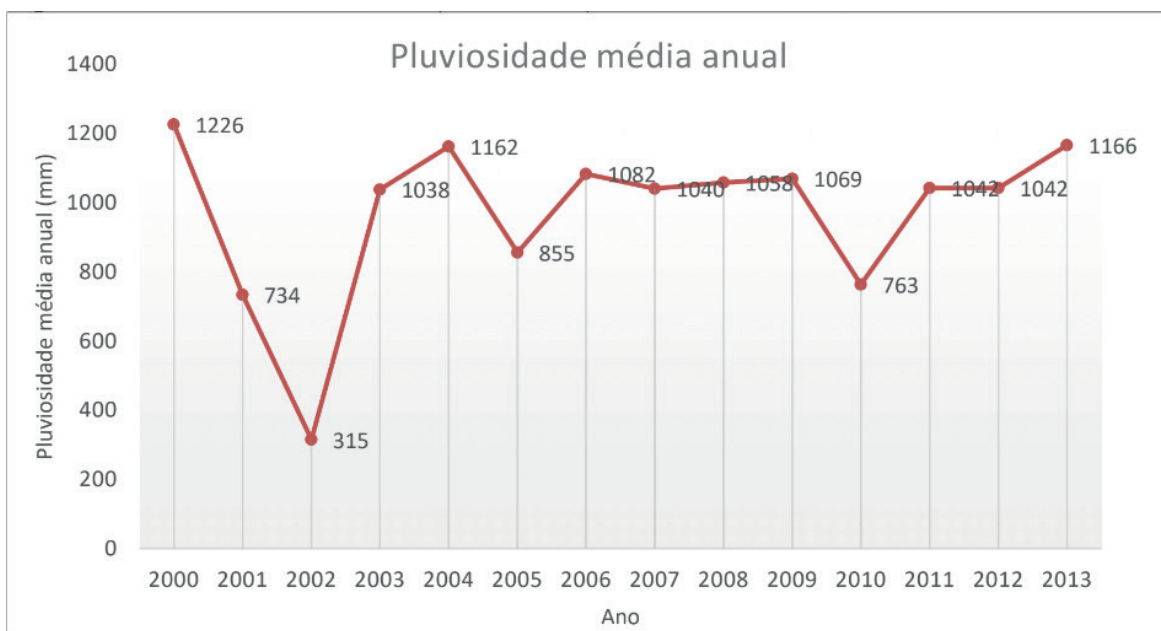


Figura 6. Mapas de densidade dos focos de incêndio do Pantanal (2000-2016).



**Figura 7.** Pluviosidade do Pantanal (2000 - 2013)

Embora os impactos de queimadas recorrentes sobre a biodiversidade não tenham sido suficientemente documentados, a intensificação das queimadas deve ser considerada um fator de susceptibilidade desse ecossistema. Os impactos das queimadas sobre o Pantanal são de longo prazo e por isso as consequências sobre sua fauna e flora são praticamente desconhecidos. A análise da frequência e distribuição dos focos de incêndio demonstram a necessidade de novas investigações sobre seus padrões de ocorrência.

## 5 | CONCLUSÃO

Os resultados obtidos reforçam a necessidade de preservação do bioma e atenção frente às queimadas, até mesmo pelo ritmo acelerado de crescimento de desenvolvimento da BAP que, direta ou indiretamente, tem influenciado no regime hídrico e na biodiversidade do Pantanal. As queimadas ocorrem todos os anos e sua intensidade não segue um padrão, entretanto, estão extremamente ligadas ao regime hídrico da região, sendo menos frequentes no período úmido provocado pelas cheias e a aplicação do estimador de densidade Kernel, possibilitou a análise do espacial e distribuição dos focos de incêndio, gerando informações qualitativas acerca do pantanal, no período estudado. O uso de geotecnologias, técnicas e aplicações de sensoriamento e remoto e geoprocessamento tem se tornado um grande aliado no auxílio e quantificação no monitoramento dos focos, sendo importante para análise das áreas onde ocorrem as queimadas, principalmente nas áreas de difícil acesso como o pantanal.



## REFERÊNCIAS

- ALLEM, A. C.; VALLS, J. F. M. Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-Grossense. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN. 339 p. 1987.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Rede hidrometeorológico** básica. Brasília, 2004. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>. ARTIGO 19. Campanha global pela liberdade de expressão. Acesso à informação ambiental. (s/l). (s/d). Disponível em: <http://artigo19.org/doc/CARTILHAAMBIENTALARTIGO19.pdf>
- ASSINE, M. L.; SILVA, A. Contrasting fluvial styles of the Paraguay River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brasil, **Geomorphology**. p. 189-199, 2009.
- CARDOSO, V. C.; SOUSA, S. A.; BIURDES, M. S.; MACHADO, N. G. **Focos de calor na região centro-oeste no período de 2006 até 2012**. IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Salvador/BA. Anais. 2013
- COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E.; CLARKE, R. T. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change? **Journal of Hydrology**, 245(1-4): 218-238. 2001.
- CORDEIRO, M. B.; FACINCANI, E. M.; PARANHOS FILHO, A. C.; BACANI, M. V.; ASSINE, M. L. Compartimentação geomorfológica do leque fluvial do Rio Negro, borda sudeste da bacia do Pantanal (MS). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, volume 40 (2), 175-183, 2010
- FACINCANI, E. M.; BACANI, V. M.; PARANHOS FILHO, A. C.; CORDEIRO, M. B.; SANTOS, R. M. Aplicação de geotecnologias na identificação geomorfológica do leque fluvial do rio Negro, borda sudeste da bacia do Pantanal, MS. In: XV **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**, Anais. 2011: 3499-3505
- GONÇALVES, D. A.; JÚNIOR, W. C. S.; MORELLI, F. **Identificação e delimitação de áreas queimadas no Pantanal**. Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.622-627.
- IBAMA – **Instituto Brasileiro do Meio ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis**. 2013 Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/prevfogo>> Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.
- MACEDO, H. A.; SILVA, A.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. **Avaliação das queimadas no Pantanal do Paraguai na região de Corumbá e Ladário, MS no período de maio de 2009**. Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.452-459.
- MATOS, N. M. 2015. **Incêndios florestais no bioma pantanal: dinâmica espacial e temporal entre 2003 e 2013**. Universidade de Brasília, Brasília.
- PCBAP. Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – Pantanal. Brasília: **Diagnóstico do Meio Físico e Biótico**. Ministério dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1349 pp., 1997.
- PONCE, M. V. et al. **Impacto Hidrológico e Ambiental da Hidrovia Paraná-Paraguai no Pantanal Matogrossense: Um estudo de referencia**. San Diego State University, Califórnia, 1995.
- RODRIGUES, C. A. G.; CRISPIM, S. M. A.; FILHO, J. A. C. **Queimada controlada no Pantanal**. (Documento 35). Corumbá: Embrapa Pantanal, 2002.
- SFB. **Serviço Florestal Brasileiro**. 2014. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>> Acesso em: 09 de fevereiro de 2017.



SILVA, E. S. F.; SOUZA, C. A.; LEANDRO, G. R. S.; GALBIATI, C. Evolução das feições morfológicas do rio Paraguai no Pantanal de Cáceres – Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 13, n. 4, p. 435-442, 2012.

SILVA, A. **Geomorfologia do Megaleque do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de doutorado (Programa de Pós – Graduação em Geociências e Meio Ambiente – UNESP) Rio Claro – SP, 2010.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. **Incêndios Florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: UFPR, 2007.

SOUSA JUNIOR, M. A.; Pardi Lacruz, M. S. **Monitoramento de desastres naturais utilizando imagens MODIS - estudo de caso: Pantanal**. In: I Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2006, Campo Grande. Anais 1 Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. Campinas; São José dos Campos: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 739-748, 2006.

SWARTS, F. A. **The Pantanal: understanding and preserving the world's largest wetland**. (ed.) 2000.

ZANI, H.; ASSINE, M.L. Paleocanais no megaleque do rio Taquari: mapeamento e significado geomorfológico. **Revista Brasileira de Geociências**, volume 41 (1), p.37-43, 2011

## ANÁLISE ESPACIALMENTE EXPLÍCITA DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO BIOMA PANTANAL

### **Nickolas Mendes de Matos**

Universidade de Brasília – UnB

Campus Darcy Ribeiro, Departamento de  
Engenharia Florestal

CEP 70910-900 – Brasília – DF, Brasil

nickolas.matos@gmail.com

### **Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi**

Universidade de Brasília – UnB

Campus Darcy Ribeiro, Departamento de  
Engenharia Florestal

CEP 70910-900 – Brasília – DF, Brasil

ematricardi@gmail.com

### **Fabrcio Assis Leal**

Universidade de Brasília – UnB

Campus Darcy Ribeiro, Departamento de  
Engenharia Florestal

CEP 70910-900 – Brasília – DF, Brasil

fabrcioassisleall@gmail.com

**RESUMO:** O objetivo do presente estudo foi analisar a dinâmica espacial e temporal das áreas queimadas ocorridas no bioma Pantanal no período de 2003 a 2013. Para isso foram utilizados dados do satélite MODIS, produto MCD45A1, os quais contém informações mensais sobre áreas queimadas em escala global. Para a análise dos principais fatores ambientais e socioeconômicos que influenciam a ocorrência dos incêndios florestais, utilizou-se o modelo probabilístico Probit. Segundo o modelo Probit, as variáveis

que afetaram significativamente a ocorrência dos incêndios na área de estudo, à 95% de probabilidade, foram: precipitação, proximidade de áreas antrópicas, proximidade de rodovias, altitude, latitude, longitude e latitude versus longitude. A ocorrência de incêndios florestais foi significativamente superior dentro de Unidades de Conservação, em áreas de cerrado sensu stricto, savana-estépica e áreas de transição. Os incêndios também ocorreram de forma significativa em 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 e 2012, comparados com os incêndios ocorridos em 2003. Com base nos resultados deste estudo, é possível definir prioridades de ações de prevenção e combate aos incêndios florestais, com o objetivo de mitigar os impactos causados pela ocorrência do fogo no bioma Pantanal.

**PALAVRAS-CHAVE:** sensoriamento remoto, Incêndios florestais, MODIS MCD45A1, Probit model, Pantanal.

**ABSTRACT:** Abstract. The general objective of the present study was to analyze the spatial and temporal dynamics of the burned areas occurred in the Pantanal biome from 2003 to 2013. For this purpose, data were used from the MODIS satellite product, MCD45A1, which contains monthly information on areas burned on a global scale. For the analysis of the main environmental and socioeconomic factors

that influence the occurrence of forest fires, we used the probabilistic model Probit. According to the Probit model, precipitation, proximity of anthropic areas, proximity to highways, altitude, latitude, longitude and latitude versus longitude were the variables that significantly affected the occurrence of fires in the study area. The occurrence of forest fires was significantly higher inside Conservation Units, in areas of cerrado sensu stricto, savana-steep and areas of transition. Fires also occurred significantly in 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 and 2012 compared to fires in 2003. Based on the results of this study, it's possible to define priorities for actions to prevent and combat forest fires, with the objective of mitigating the impacts caused by the occurrence of fire in the Pantanal biome.

**KEYWORDS:** remote sensing, forest fires, MODIS MCD45A1, Probit model, Pantanal.

## 1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, a ocorrência de incêndios florestais é uma realidade, o que tem causado sérios danos ambientais e econômicos. Neste sentido, é necessário que se estabeleçam políticas de prevenção e combate aos incêndios florestais. No entanto, para se chegar a esse estágio é preciso saber onde, quando e porque ocorrem os incêndios, pois a falta de informações sobre incêndios pode levar a gastos muito altos em proteção ou gastos muito pequenos (Soares e Batista, 2007).

O calor liberado pelo fogo causa danos significativos ao solo, incluindo a diminuição dos nutrientes e da matéria orgânica, em decorrência do aumento da temperatura do solo (Coutinho, 1980), o aumento da erosão e mudança das características físicas e químicas (Soares e Batista, 2007). A queima da biomassa vegetal é uma das principais fontes responsáveis pelo lançamento de gases e partículas aerossóis, com influência significativa na química da atmosfera, nas propriedades das nuvens e no saldo da radiação (Kaufman et al., 1998; Grégorie et al., 2003). Além do mais, o excesso de queimadas pode causar impactos na estrutura e composição da vegetação, bem como impactos direto e indiretos na fauna local.

Além disso, o fogo sempre foi bastante utilizado na agricultura para limpeza de áreas, remoção de espécies indesejadas e renovação de pastagens. Entretanto, o fogo, quando não manejado adequadamente, pode causar grandes incêndios em áreas de vegetação nativa. Desta forma, aliado ao padrão de ocupação territorial desordenado, na busca de novas fronteiras agrícolas, o uso indiscriminado do fogo tem contribuído para a ocorrência de grandes incêndios, provocando danos irreparáveis ao meio ambiente, à propriedade e à vida humana (Nunes, 2005).

Existem diversos métodos de detecção de incêndio, como por exemplo, sistemas de vigilância móvel, sistemas de vigilância fixa, entre outros. Nas últimas décadas, o sensoriamento remoto vem ganhando espaço como técnica que auxilia na detecção mais eficiente de incêndios e de focos de calor, permitindo, desta forma, ações mais

rápidas e auxiliando na tomada de decisão (Oliveira, 2006).

As causas, ou fontes de ignição dos incêndios florestais são muito variáveis e podem ser divididas em dois grupos: naturais (incêndios gerados direta ou indiretamente por raios – única causa natural considerada) ou antrópicas (queimadas para limpeza de terreno, fumantes, incendiários, etc.). De acordo com Nunes (2005), o risco da ocorrência de incêndios está relacionado a agentes causadores, enquanto o perigo está relacionado as causas que aumentam ou diminuem a probabilidade de ocorrência. Segundo o autor, é importante explorar os fatores que determinam o risco e o perigo de incêndios florestais.

Além de se conhecer os riscos e perigos associados aos incêndios florestais, é importante conhecer a vulnerabilidade da região em função do histórico de incêndios, das características socioeconômicas e dos principais fatores que possam gerar e afetar o comportamento do fogo (clima, condições do combustível, relevo, ignição, etc.). Diversos trabalhos têm aplicado modelos estatísticos para simular e entender a influência de fatores ambientais e socioeconômicos na ocorrência de incêndios florestais (Arima et al., 2007; Chomitz e Gray, 1996; Matricardi, 2013; Matricardi, 2007; Tatagiba, 2010). Esses modelos também permitem realizar simulações espaciais para prever o potencial de impacto de mudanças de políticas públicas e uso da terra sobre a ocorrência de incêndios e desmatamento.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a significância dos fatores que exercem influência na ocorrência e propagação do fogo no bioma Pantanal (Matos e Leal, 2014) utilizando dados do satélite MODIS (produto MCD45A1) e o modelo probabilístico Probit numa análise espacialmente explícita.

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde ao bioma Pantanal que cobre aproximadamente 150.355 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2004) e está localizado entre os paralelos 15° e 22° de longitude sul e entre os meridianos 55° e 59° de longitude oeste. Considerada a maior planície inundável do mundo e contém uma importante riqueza de diversidade biológica terrestre e aquática. Os ecossistemas que o bioma abriga são extremamente frágeis e estão sob a ameaça das novas tendências de desenvolvimento econômico e de construção de infraestrutura (SFB, 2014).

O modelo linear probabilístico, chamado *Probit*, descreve o comportamento da variável dependente dicotômica em termos de uma regressão linear sobre variáveis explicativas não-aleatórias contidas em um vetor (Baumann e Carneiro, 2002), através



de uma função de distribuição acumulada normal (Gujarati e Porter, 2011). Em muitos casos, a informação relevante pode ser capturada pela definição de uma variável binária (chamadas de variáveis *dummy*), isto é, uma variável que possa ser representada por zero ou um (Wooldridge, 2010).

Para a construção do modelo probabilístico, assumiu-se que três principais fatores podem aumentar a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, a saber: condições ambientais (topográficas e climáticas), fontes de ignição e tipo de cobertura vegetal.

As variáveis quantitativas incluídas no modelo para representar as condições topográficas da área de estudo foram a declividade do terreno, a altitude e o azimute de orientação das encostas. Uma vez que, a topografia exerce grande influência sobre o clima, a vegetação e, conseqüentemente, sobre o material combustível.

O mapeamento de áreas queimadas no bioma Pantanal utilizado no presente trabalho foi adquirido por meio do produto MODIS MCD45A1, entre 2003 e 2013, o qual foi devidamente validado (Matos e Leal, 2014). A Figura 1 ilustra as cenas (h12v10 e h12v11) do satélite MODIS utilizadas para o mapeamento das áreas queimadas.



Figura 1: Cenas do sensor MODIS utilizadas no estudo dos incêndios no bioma Pantanal entre 2003 e 2013.

Assumindo que a maior parte das ocorrências do fogo no bioma Pantanal ocorrem no período de seco do ano (maio a setembro), utilizou-se a precipitação média (mm) do referido período como variável quantitativa para representar as condições climáticas

na modelagem. Nesta análise foi considerado a distribuição estacional das chuvas e não apenas a quantidade de chuva que cai em um determinado local (Batista, 2000).

Foram incluídas no modelo as variáveis quantitativas: distância euclidiana de atividades agropecuárias (Km), segundo o mapeamento do PROBIO, e distância euclidiana de rodovias (Km) derivadas de dados do DNIT (2015).

Para averiguar se a ocorrência das áreas queimadas no Pantanal sofre alguma influência espacial em relação aos sentidos latitudes, longitudes e diagonal (latitude x longitude), foram criadas também variáveis quantitativas referentes as coordenadas UTM em metros.

Diversos aspectos relacionados ao comportamento do fogo variam em função do tipo de cobertura vegetal (Batista, 2000). Neste sentido, para representar os diferentes graus de vulnerabilidade da vegetação (Arima et al., 2007), incluiu-se no modelo as variáveis *dummy* correspondentes ao tipo de vegetação: (1) Cerrado, (2) Chaco, (3) Floresta, (4) Formação pioneira e (5) Área de tensão ecológica ou Contatos florísticos.

Foi criada uma variável *dummy* para representar a situação das unidades de conservação, pois espera-se que ocorram menos incêndios dentro de suas fronteiras territoriais (Matricardi, 2007). Criou-se também uma variável *dummy* para representar as possíveis variações das políticas de prevenção e combate aos incêndios a nível estadual. Segundo Arima et al. (2007), as diferenças nas políticas de Estados, destinadas a fiscalização ambiental, prevenção e combate ao fogo, podem afetar a probabilidade de ocorrência em uma dada região. Assim, considerou-se no modelo os estados do Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, que englobam o bioma Pantanal.

Para coletar os dados de cada ponto amostral, foi realizada uma amostragem sistemática-aleatória, a qual contribui para reduzir os efeitos da coincidência entre os padrões espaciais da paisagem e dos pontos amostrais (Burrough, 1998). O procedimento de sistematização foi utilizado para reduzir os efeitos de autocorrelação espacial na base de dados (Anselin, 2002; Arima et al., 2007).

Primeiramente, criou-se uma grade regular de 5 x 5 Km sobre a área de estudo. Em seguida, foram gerados pontos aleatórios dentro de cada grade ( $n = 6.431$ ), porém, como a análise foi repetida também para cada ano, no total foram 70.752 pontos amostrais. Assim, o valor de cada pixel foi utilizado como unidade de observação e os valores da base de dados (variáveis independentes) foram coletados para cada ponto amostral alocado.

Para o desenvolvimento do modelo proposto deste trabalho, foi utilizado o software estatístico *Stata* 13. Para a construção do modelo, considerou-se o valor um (1), variável dependente, para representar a coincidência entre área queimada e o ponto amostral; e zero (0) caso contrário.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

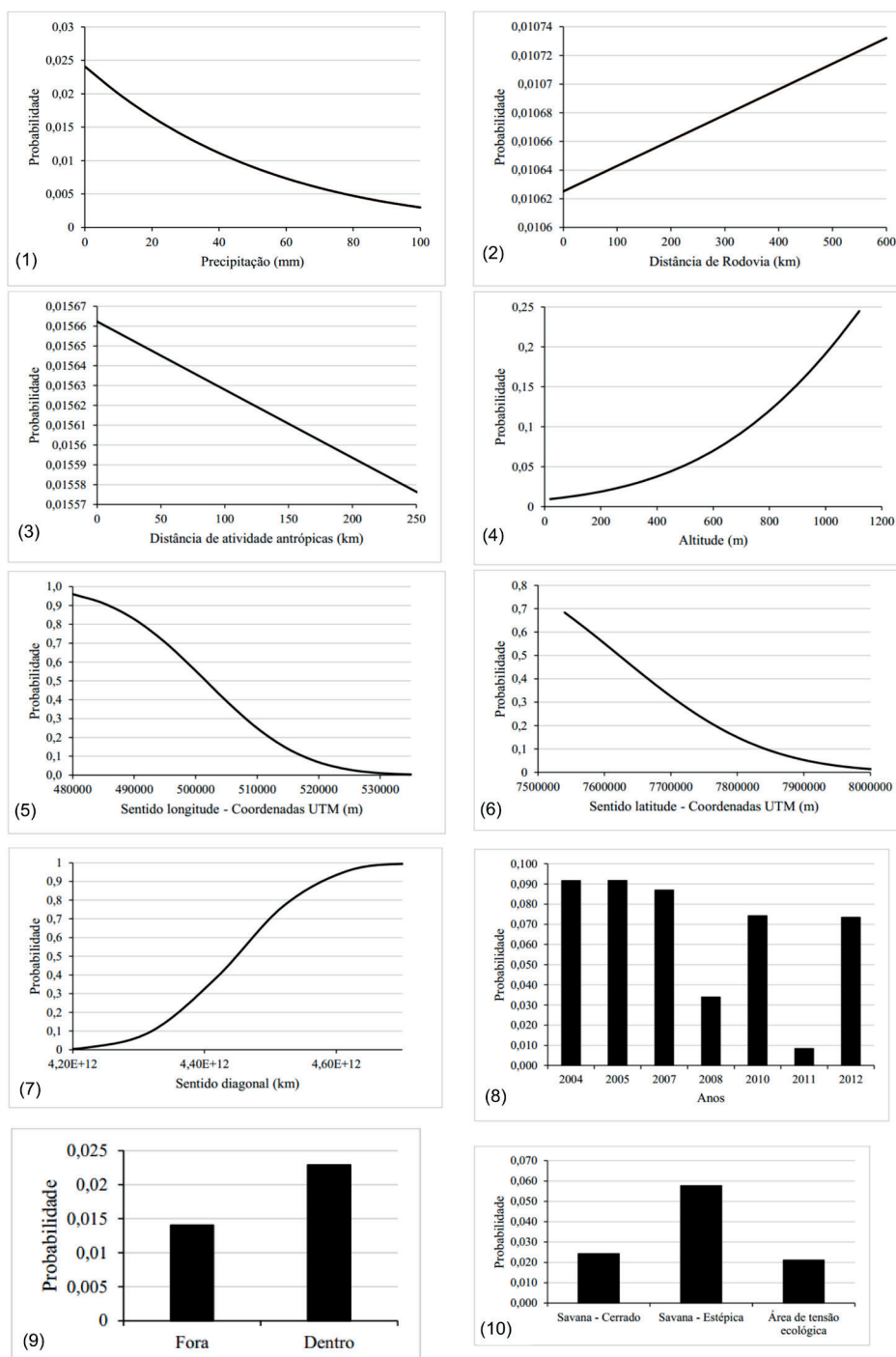
Os resultados das estatísticas dos fatores considerados na análise que afetam a ocorrência de incêndios florestais na área de estudo, estimados pelo modelo *Probit*, estão contidos na Tabela 1.

Variáveis	Coefficiente	Erro Padrão	z	P> z	Intervalo de Confiança [95%]	
Precipitação	-0,0077512	0,0015192	-5,1	0,000	-0,0107287	-0,0047736
Prox. rodovias (Km)	0,00000632	7,57E-07	8,35	0,000	0,00000483	0,0000078
Prox. atividade antrópica (Km)	-0,00000876	0,00000277	-3,16	0,002	-0,0000142	-3,23E-06
Declividade	-0,0005498	0,006773	-0,08	0,935	-0,0138245	0,012725
Orientação das encostas	-0,0002145	0,00014	-1,53	0,125	-0,0004889	0,0000599
Altitude	0,0015109	0,0002742	5,51	0,000	0,0009735	0,0020482
Unidade de Conservação	0,1985407	0,0684148	2,90	0,004	0,0644501	0,3326312
Latitude	-0,00000583	0,00000478	-12,2	0,000	-0,00000677	-0,00000490
Longitude	-0,0000811	0,00000742	-10,92	0,000	-0,0000956	-0,0000665
Lat x Long	1,01E-11	9,20E-13	10,97	0,000	8,29E-12	1,19E-11
<b>Estados (omitido Mato Grosso do Sul):</b>						
Mato Grosso	0,0057945	0,0424992	0,14	0,892	-0,0775024	0,0890913
<b>Vegetação:</b>						
Savana (Cerrado)	0,4435095	0,0448713	9,88	0,000	0,3555634	0,5314557
Savana (Estépica)	0,6693067	0,0575447	11,63	0,000	0,5565212	0,782092
Floresta	0,0745718	0,0709011	1,05	0,293	-0,0643918	0,2135355
Formação pioneira	-0,043374	0,0791522	-0,55	0,584	-0,1985095	0,1117614
Área de tensão ecológica	0,2011553	0,0519837	3,87	0,000	0,0992691	0,3030416
<b>Ano (omitido 2013):</b>						
2003	0,0301547	0,0873181	0,35	0,730	-0,1409856	0,2012951
2004	0,9446499	0,0702946	13,44	0,000	0,806875	1,082425
2005	0,9452041	0,0707335	13,36	0,000	0,8065691	1,08384
2006	0,0865497	0,0855148	1,01	0,311	-0,0810563	0,2541556
2007	0,9128038	0,0730859	12,49	0,000	0,7695581	1,05605
2008	0,4006711	0,0769062	5,21	0,000	0,2499377	0,5514046
2009	-0,0964258	0,1005632	-0,96	0,338	-0,2935261	0,1006745
2010	0,8196793	0,0710102	11,54	0,000	0,6805018	0,9588568
2011	-0,2205642	0,099311	-2,22	0,026	-0,4152103	-0,0259182
2012	0,8137297	0,0736516	11,05	0,000	0,6693752	0,9580842
Constante	43,81814	3,852683	11,37	0,000	36,26702	51,369260

n = 70.752; Pseudo R<sup>2</sup> = 0,1206; Log likelihood = -6.933,4454

Tabela 1: Resultados da regressão Probit.

Os gráficos a seguir ilustram as probabilidades de ocorrência de incêndios em relação as variáveis que apresentaram significância estatística, ou seja, p-valor menor que o nível de significância 0,05.



**Figura 2:** Probabilidade da ocorrência de incêndios em relação: (1) precipitação (mm); (2) distância de rodovia (km); (3) distância de atividade antrópica (km); (4) altitude (m); (5) sentido longitudinal – coordenadas UTM (m); (6) sentido latitude – coordenadas UTM (m); (7) sentido diagonal (km); (8) anos; (9) dentro de fora de unidades de conservação; (10) vegetação.

O efeito da precipitação na ocorrência do fogo apresentou significância estatística, neste caso rejeita-se a hipótese nula e conclui-se que o coeficiente da regressão



para a variável foi estatisticamente diferente de zero. A variável está negativamente relacionada, isto é, quanto menor os valores da precipitação maior será a probabilidade da ocorrência do fogo. Por exemplo, a probabilidade de ocorrência aumenta em 2,1% quando se diminui a precipitação em 100 mm. A precipitação influencia a umidade e a quantidade do material combustível em uma área (Cheney e Sullivan, 2008), desta forma, a precipitação é importante porque dificulta ou mesmo tornando impossível o início e a propagação do fogo (Batista, 2000).

A distância de rodovias, considerado como um importante fator de origem de incêndios, apresentou-se positivamente relacionada. O fato da probabilidade de ocorrência de áreas queimadas aumentar com o incremento da distância das estradas não era esperado, pois, as estradas permitem o acesso de pessoas e veículos, causando maiores riscos de incêndios por vários fatores: incêndios criminosos, cultos religiosos, incêndios iniciados por cigarros, pequenas fogueiras, entre outros (Ferraz e Vettorazzi, 1998). Entretanto, não é possível afirmar que as estradas não sejam prováveis fontes de ignição de incêndios na área de estudo, talvez o fogo inicia próximo às estradas, mas, devido as características de propagação do fogo em vegetação contínua, este acaba se distanciando das estradas.

No Pantanal, o fogo é bastante utilizado como elemento de produção e manejo das pastagens para limpeza e remoção de espécies indesejadas. Este tipo de prática, quando não bem manejada, pode gerar ocorrência de incêndios fora de controle em vegetação natural. Os resultados estimados pelo modelo *Probit*, indicam que houve significância estatística, positivamente relacionada entre a distância de atividades agropecuárias e ocorrência do fogo, ou seja, áreas mais próximas das atividades antrópicas têm maior probabilidade de ocorrência.

A variável altitude apresentou relação significativa na ocorrência do fogo, porém, positivamente relacionada, isto é, áreas mais altas têm maior probabilidade de ocorrência das queimadas. A probabilidade de incêndios no ponto médio de altitude (128 m) é de 1,35%. Segundo Ribeiro et al. (2008), a variação da altitude influencia o risco de incêndio devido à relação com a umidade do ar, ou seja, a altitude representa indiretamente a umidade do material combustível e a consequente redução do risco a ocorrência de fogo. De acordo com Allem e Valls (1987), as áreas afetadas por queimadas encontram-se em zonas mais altas e secas, uma vez que as áreas mais baixas da região tendem a ser alagadas, confirmado este fato.

De acordo com o modelo, as variações espaciais em longitude, latitude e diagonal (latitude x longitude) apresentaram significância estatística a 95% de probabilidade. A probabilidade de incêndios aumenta no sentido leste a oeste, de norte a sul e de noroeste a sudeste na área de estudo. Este fato demonstra que existe tendência de agrupamento de áreas queimadas em regiões específicas do Bioma.

O ano de 2005, 2007 e 2004 foram os anos mais atingidos por áreas queimadas, na ordem de 8.559 Km<sup>2</sup>, 8.241 Km<sup>2</sup> e 7.603 Km<sup>2</sup>, respectivamente. Entretanto, 2004 e 2005 apresentaram maior probabilidade de ocorrência, possivelmente, devido à

distribuição espacial mais homogênea dos incêndios, se comparado com 2007.

Com base no modelo, foi observado que há probabilidade ligeiramente maior de ocorrência de incêndios dentro das Unidades de Conservação localizados no Pantanal. Apesar da pequena diferença, os resultados mostram que as unidades não têm sido razoavelmente eficazes em impedir ou mesmo diminuir a ocorrência de incêndios dentro de seus limites, devido a uma série de fatores. Provavelmente, os incêndios que ocorrem no interior das unidades, iniciam fora destas. Entretanto, este fato precisa ser investigado com mais detalhes em estudos futuros, incluindo na análise a distância euclidiana das áreas protegidas.

Os tipos de vegetação que apresentaram significância estatística, a probabilidade de 95%, foram as mais atingidas por áreas queimadas, de acordo com o mapeamento de 2003 a 2013. Por exemplo, em 2007 aproximadamente 60% e 15% dos incêndios ocorreram em Savana-Cerrado e Savana-Estépica, respectivamente. Em 2005, cerca de 51% e 20% dos incêndios também ocorreram em Savana-Cerrado e Savana-Estépica, respectivamente. As probabilidades observadas para Savana-Estépica (5,7%) e Savana-Cerrado (2,4%), estão relacionadas, sobretudo, as características do material combustível da vegetação, favoráveis a ocorrência e propagação do fogo. Tais características variam em função do tipo de vegetação, que por sua vez controlam o comportamento do fogo.

## 5 | CONCLUSÃO

Os fatores que apresentaram influência estatisticamente significativa sobre a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais na área de estudo foram a precipitação, proximidade de áreas antrópicas, proximidade de rodovias, altitude, latitude, longitude e latitude *versus* longitude. Em relação as variáveis locais, os incêndios ocorreram de forma significativamente superior dentro de Unidade de Conservação, em áreas de cerrado sensu stricto, savana-estépica e áreas de transição. Do mesmo modo, os incêndios florestais ocorreram em quantidades significativamente maiores em 2004, 2005, 2007, 2008, 2010, 2011 e 2012, comparados com os incêndios de 2003.

As características topográficas da área não apresentaram influência significativa na ocorrência do fogo na área de estudo, a 95% de probabilidade. Este resultado pode ter sido influenciado pelas condições de relevo predominantemente plano na região pantaneira, a aleatoriedade da ocorrência do fenômeno estudado, o número de amostras utilizadas no modelo ou mesmo a qualidade dos dados de entrada no modelo Probit utilizados no presente estudo. Entretanto, isto não implica dizer que estas variáveis não têm influência na ocorrência do fogo na região de estudo, apenas não tiveram influência significativa segundo o modelo estatístico e período estudado. Assim, recomenda-se que todas as variáveis consideradas no presente estudo sejam

devidamente consideradas nas ações de prevenção e combate aos incêndios florestais na região de estudo.

## REFERÊNCIAS

Allem, A. C.; Valls, J. F. M. **Recursos forrageiros nativos do Pantanal Matogrossense**. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1987. 339 p.

Anselin, L. Under the hood: Issues in the specification and interpretation of spatial regression models. **Agricultural Economics**, v. 27, n. 3, p. 247-267. 2002.

Arima, E.; Simmons, C.; Walker, R.; Cochrane, M. Fire in the Brazilian Amazon: A spatially explicit model for policy impact analysis. **Journal of Regional Science**. v. 47, n. 3, p. 541- 567. 2007.

Batista, A. C. **Mapas de risco: uma alternativa para o planejamento de controle de incêndios florestais**. Floresta 30 (1/2): 45- 54. 2000.

Boschetti, L.; Roy, D. P.; Justice, C. O.; Giglio, L. Global assessment of the temporal reporting accuracy and precision of the MODIS burned area product. **Int. J. of Wildland Fire**, v. 19, p. 705-709, 2010.

Braumann, R.; Carneiro, F. G. **Os agentes econômicos em processo de integração regional – Inferências para avaliar os efeitos da ALCA**. Universidade de Brasília. Brasília, DF. 33p. 2002.

Burrough, P. A.; McDonnell, R. A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press. 1998.

Cheney, N. P.; Sullivan, A. **Grassfires: fuel, weather and fire behaviour**. CSIRO Publishing, Melbourne, Victoria. 2ª ed. 2008. 161 p.

Chomitz, K. Gray, D. Roads, land use, and deforestation: a spatial model applied to Belize. **The World Bank Economic Review**, v. 10, n.3, p. 487- 512. 1996.

Coutinho, L. M. **As queimadas e seu papel ecológico**. Brasil Florestal, v.10, n. 44, p. 7-23. 1980.

Ferraz, S. F. B.; Vettorazzi, C. A. Mapeamento de risco de incêndios florestais por meio de sistema de informações geográficas (SIG). IPEF–ESALQ. Universidade de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 53, p. 39- 48. 1998.

Gujarati, D. N.; Porter, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924 p. IBGE. **Mapa de Biomas do Brasil; primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE. 2004.

Kaufman, Y. J.; Kleidman, R.; King, M. D.; Ward, D. E. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS. **Journal of Geophysical Research**. v. 103, n. D24, 1998.

Grégoire, J. M.; Tansey, K.; Silva, J. M. N. The GBA2000 initiative: developing a global burnt area database from SPOT-VEGETATION imagery. **International Journal Remote Sensing**, v. 24, n. 6, p. 1369 – 1376, 2003.

Matos, N. M.; Leal, F. A. Mapeamento temporal e validação de áreas queimadas por meio do Produto MODIS MCD45A1. In: 5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, **Anais...** 2014 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 476-484. Disponível na biblioteca digital URLib: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p76.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Matricardi, E. A. T.; 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.

Matricardi, E. A. T. **Spatiotemporal dynamics of forest degradation by selective logging and forest fire in the Brazilian Amazon**. A dissertation. Michigan State University, Department of Geography. 2007.

Nunes, J. R. S. **FMA+ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná – Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2005.

Oliveira, A. L. S. **Avaliação dos sensores EOS/MODIS e NOAA/AVHRR na detecção e registro de incêndios e queimadas**. Dissertação de mestrado. Viçosa: UFV, 2006.

Ribeiro, L.; Koproski, L. P.; Stolle, L.; Lingnau, C.; Soares, R. V.; Batista, A. C. Zoneamento de riscos de incêndios florestais para a fazenda experimental do Canguiri, Pinhais (PR). **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, p. 561- 572. 2008.

SFB. Serviço Florestal Brasileiro. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/os-biomas-e-suas-florestas>> Acesso em: 21 de outubro de 2014.

Tatagiba, M. M. A. **Estudo da Dinâmica Espacial e Temporal dos Incêndios Florestais no Parque Nacional da Chapada dos Veadeiros**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 92p. 2010.

Wooldridge, J.M. **Introdução à Econometria – uma abordagem moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 4 ed. 2010. 701p.



## ANÁLISE QUANTI-QUALITATIVA DOS CASOS DE DOENÇAS TRANSMITIDAS POR VETORES NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL NOS ANOS DE 2015 E 2016

### **Adriana Bilar Chaquime dos Santos**

Discente do curso de Geografia Bacharelado da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Unidade Campo Grande  
Av. Dom Antônio Barbosa (MS-080), 4.155, Conjunto José Abrão, CEP: 79.115-898, Campo Grande – MS  
adrianabilar@hotmail.com

### **Orlando Moreira Junior**

Professor Adjunto nível IV do curso de Geografia da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul - Unidade Campo Grande  
Av. Dom Antônio Barbosa (MS-080), 4.155, Conjunto José Abrão, CEP: 79.115-898, Campo Grande – MS  
orlandomoreirajr@uems.br

**RESUMO:** O objetivo desta pesquisa é quantificar e analisar os casos de doenças transmitidas por vetores (Malária, Leishmaniose, doença de Chagas, Febre Amarela e Dengue) nos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, nos anos de 2015 e 2016. Quantificar o número de óbito, por município, decorrentes de doenças transmitidas por vetores; quantificar o número de internações, por município, decorrentes de doenças transmitidas por vetores; agrupar e analisar o número de ocorrências segundo as microrregiões geográficas nas quais se localizam os municípios; compreender os

principais fatores que explicam a propagação das doenças nos diferentes períodos do ano. A metodologia é o levantamento bibliográfico sobre a geográfica da saúde, coleta de dados no banco de dados DATASUS, TABNET, SIDRA, elaboração e confecção de tabelas, gráficos e mapas, análise e sistematização dos dados, elaboração de relatórios parciais e finais. Ao término da pesquisa, identificou-se as principais regiões do estado em que doenças provocadas por vetores tem maior incidência.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geografia, vetores, saúde.

**ABSTRACT:** The goal of this research is to quantify and to analyze cases of vector-borne diseases (Malaria, Leishmaniasis, Chagas' disease, Yellow Fever and Dengue) in the cities from Mato Grosso do Sul State, between 2015 and 2016 years. To quantify the number of deaths in each city, due to vector-borne diseases; to quantify the number of hospitalizations in each city, due to vector-borne diseases; to group and to analyze the number of occurrences according to the geographical microregions which the cities have been located; to understand the main factors that explain the spread of diseases in different periods of the year. The methodology used to this research is the bibliographical survey on the geographical health and the collection of data in the database

DATASUS, TABNET, SIDRA and, elaboration and preparation of tables, charts and maps and, analysis and systematization of the data, the development of the partial and final reports. At the end of this research, we had identified the main regions of Mato Grosso do Sul State which diseases caused by vectors have a higher incidence.

**KEYWORDS:** Geography, vectors, cheers.

## 1 | INTRODUÇÃO

A Geografia é a ciência que estuda todos os aspectos do espaço geográfico, tanto o aspecto físico quanto o humano, fazendo articulações com outras ciências para compreender a complexidade do seu objeto de estudo.

No âmbito da ciência geográfica, um ramo que vem ganhando destaque é a Geografia da Saúde. Esta subárea tem por objetivo analisar as questões relacionadas a vida socialmente distribuída em determinadas localizações e doenças específicas envolvendo o ambiente de sua proliferação. Assim, busca evidências para correlacionar os mesmos e apontar indicadores que possam dar o suporte para a solução ou atribuições para essas questões.

(...) a Geografia da Saúde é um tema de interesse não só de geógrafos, mas de profissionais de saúde que identificam essa subdisciplina como alternativa para enriquecer a abordagem social e ambiental dos problemas de saúde. (GUIMARÃES, 2015, p. 11).

Para Guimarães (2015), a Geografia da Saúde é importante por apresentar uma preocupação com a qualidade de vida das pessoas. Para tanto as categorias do espaço (forma, estrutura, extensão, conexão) e tempo (duração, ciclo, ritmo) são fundamentais para a compreensão da relação entre o sujeito e o contexto social e ambiental no qual está inserido.

Nessa questão de articulação entre o espaço geográfico e o sujeito, Lemos e Lima (2002, p.85) destacam que é importante “compreender o processo de organização espacial pela sociedade em diferentes tempo e lugares, pois é uma forma para entender as doenças relacionadas nessa dinâmica”.

Neste contexto, o Sistema de Informações Geográficas (SIG), é um importante instrumento tecnológico de apoio as pesquisas, onde podem estar relacionadas a proliferação das doenças e o ambiente social, conforme relata Guimarães (2015), agrupando um conjunto variado de dados. Para Barcellos e Bastos (1996), as ferramentas tecnológicas embasavam diversas variáveis, para o estudo da saúde, englobam as características socioeconômicas, a localização geográfica e o tempo.

A Geografia da Saúde, portanto, apresenta perspectivas interessantes na atualidade. A aproximação com a Epidemiologia inserindo a preocupação com o processo saúde-doença trouxe reflexões acerca das relações socioespaciais e aos

aspectos da saúde em populações humanas.

Desse modo, o presente trabalho realiza um levantamento, no estado, do número de internações e óbitos decorrentes das seguintes doenças: malária, leishmaniose, febre amarela e dengue. Doenças transmitidas por vetores são aquelas que não são transmitidas diretamente de um indivíduo para outro, requer a participação de um vetor (principalmente insetos). Entende-las do ponto geográfico e ambiental é importante, uma vez que o ciclo de vida dos vetores está diretamente relacionado à dinâmica ambiental dos ecossistemas onde vivem. Portanto, dependem das variáveis naturais, bem como das ambientais (temperatura, precipitação, umidade, uso e cobertura do solo, vegetação, saneamento, entre outros).

## **2 | OBJETIVO**

No Brasil, ainda hoje, a questão do ambiente merece destaque, uma vez que muitas doenças são transmitidas por vetores, como o caso da malária, leishmaniose, febre amarela e dengue. É sob esta perspectiva que o presente artigo tem por objetivo quantificar e analisar os casos de doenças transmitidas por vetores nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul, nos anos de 2015 e 2016.

## **3 | MATERIAL E MÉTODOS**

A metodologia compreende procedimentos práticos, uso de técnicas e instrumentos, a partir dos quais é possível observar, relacionar e sistematizar a realidade, a fim de fundamentar uma pesquisa qualitativa que sustente a elaboração de sínteses e contribua com as teorias e pesquisas com a temática. O Geoprocessamento é o conjunto de tecnologias aplicadas a coleta, armazenamento, manipulação e resultado de dados georreferenciados, onde pode-se obter a informação precisa do seu objeto de estudo. Referente a este artigo, a importância do geoprocessamento foi a demonstração da especialização da ocorrência de doenças por vetores no estado de Mato Grosso do Sul, destacando as regiões do estado.

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), hoje, é muito utilizado pela Geografia e Epidemiologia para análise espacial de dados de saúde. É muito utilizada e pode ser considerada uma ferramenta fundamental para localizar as áreas onde as doenças se propagam, bem como saber como tem evoluído e avaliar o risco que representam.

Portanto, para viabilizar a leitura da realidade foi imprescindível o uso de técnicas como o levantamento bibliográfico a respeito da temática proposta, a caracterização das doenças para entendimento de suas causas, bem como a coleta e levantamento de informações do número de internações e óbitos no banco de dados Tabnet-DATASUS.

Para uma análise sem distorcer os dados, multiplicou-se o número de casos por 100.000 e dividiu-se pela população de cada município, o que resulta na incidência das doenças ou óbitos em cada município.

Para viabilização da pesquisa foi importante também o uso de instrumentos, como *softwares* (para representação cartográfica), ferramenta fundamental não apenas para estudos científicos, mas também para a elaboração de planos e projetos integrados as políticas públicas. A elaboração do mapeamento foi realizada no software QGIS 2.18, com o número gerado pela tabulação classificação simples por classes para não haver discrepâncias entre os resultados, ou seja, de duas a cinco classes.

Para compreender a manifestação dos vetores, é necessário entender que o próprio ambiente é propício para o seu desenvolvimento, contudo, os processos antrópicos têm impulsionado para que haja mais habitat para a produção dos mosquitos. Nos mapas que serão apresentados na sequência do trabalho, pode-se observar a ocorrência das morbidades entre os anos de 2015 e 2016.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### *Caracterização das doenças causadas por vetores*

Para Lemos e Lima (2002) a Leishmaniose é decorrente da modificação do ambiente, assim como a febre amarela, a malária, a doença de Chagas e a dengue.

Segundo informações da FIOCRUZ (2014), as doenças por transmissão vetorial são responsáveis por alta carga de morbidade e mortalidade principalmente nos países mais pobres. Segundo o autor, as doenças apresentam as seguintes características:

- Malária: é uma doença infecciosa, febril, causada pelo parasita do gênero *Plasmodium*, transmitido ao homem, na maioria das vezes, por mosquitos infectos.
- Leishmaniose: são um conjunto de doenças por protozoários do gênero *Leshmania* e é transmitida ao homem por insetos vetores ou transmissores, os Flebotomíneos, mosquito palha.
- Febre Amarela: é provocada por um Arbovírus do gênero Flavivírus. A doença é transmitida por diferentes espécies de mosquitos *Aedes* e *Haemogogus*, que carregam o vírus de um hospedeiro para outro.
- Dengue: são transmitidos pela fêmea do mosquito *Aedes Aegypti* e podem causar tanto a manifestação clássica da doença quanto a forma considerada hemorrágica. O *Aedes aegypti* tem se caracterizado com um inseto de comportamento estritamente urbano

Assim, o enfoque da Geografia da Saúde é entender o comportamento desses vetores, como se proliferam, em quais ambientes e as condições sociais que a população infectada está inserida. De tal modo é possível produzir estudos que

possam ser relevantes para identificar as populações mais vulneráveis, o controle das infecções e até mesmo pensar meios de mitigar a proliferação dessas enfermidades.

### *Espacialização das doenças nos anos de 2015 e 2016*

Para compreendermos a proliferação dos vetores, é necessário observar a sua circulação pelo território, pois como as regiões de Mato Grosso do Sul não são homogêneas, as especificidades locais são fundamentais para cada morbidade. Embora um fator inquestionável seja o clima, que fomenta a reprodução dos vetores, outras características ambientais também devem ser consideradas.

Na Geografia, a cartografia adquire grande importância para as análises na Geografia da Saúde. O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a valorização das técnicas estatísticas e matemáticas favoreceram uma análise geográfica, tanto no que diz respeito a localização e distribuição das doenças em diferentes escalas, quanto na sua propagação no tempo e no espaço. Flauzino et al. (2009), Barcellos (2003), Curto (2003), dentre outros, representam esforços teórico-metodológicos na análise e correlação entre geoprocessamento e indicadores de saúde pública.

A Figura 1 apresenta a espacialização da Leishmaniose nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul nos anos de 2015 e 2016.

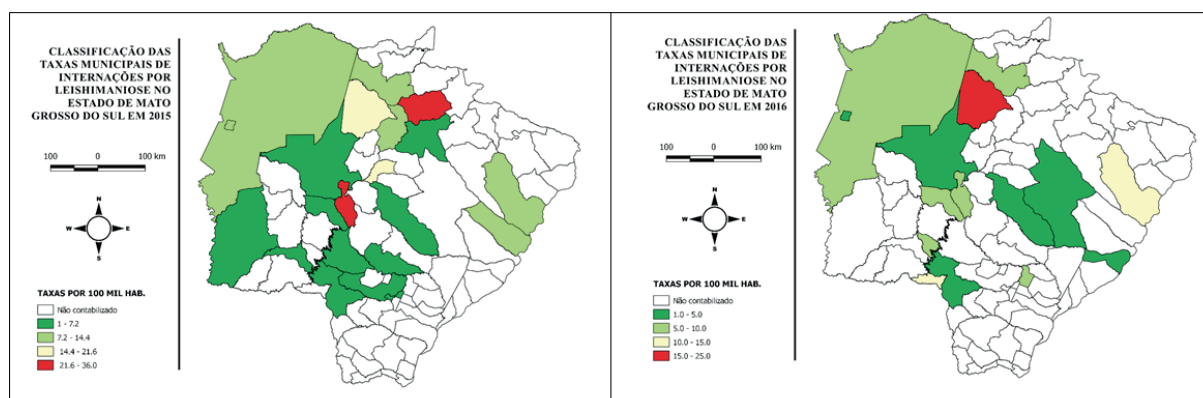


Figura 1: Incidência de internações de Leishmaniose em Mato Grosso do Sul em 2015 e 2016.

Fonte: IBGE (2010); DATASUS.

Elaboração: Adriana Bilar Chaquime dos Santos, 2018.

Em 2015, as cidades que teve o maior número de incidência nos casos de internações, foram Dois Irmãos do Buriti com 36 casos e Figueirão com 33 casos, por cem mil habitantes. Em 2016, a cidade que obteve maior número incidência nos casos de internações foi Rio Verde, com 25 casos por cem mil habitantes.

Os casos de óbitos estão registrados nas **Tabelas 1** e **2**, apresentando a incidências por município mês a mês e o total no ano.



Município	Jan	Mar	Ago	Set	Total
Corumbá	0,92	0,92	0	0	1,84
Jardim	0	0	3,92	0	3,92
Rio Verde do Mato Grosso	0	0	0	5,13	5,13
Total - MS	0,92	0,92	3,92	5,13	10,89

**Tabela 1:** Óbitos, por grupos de cem mil habitantes, decorrentes de Leishmaniose nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul em 2015.

Fonte: DATASUS, TABNET/ SIDRA

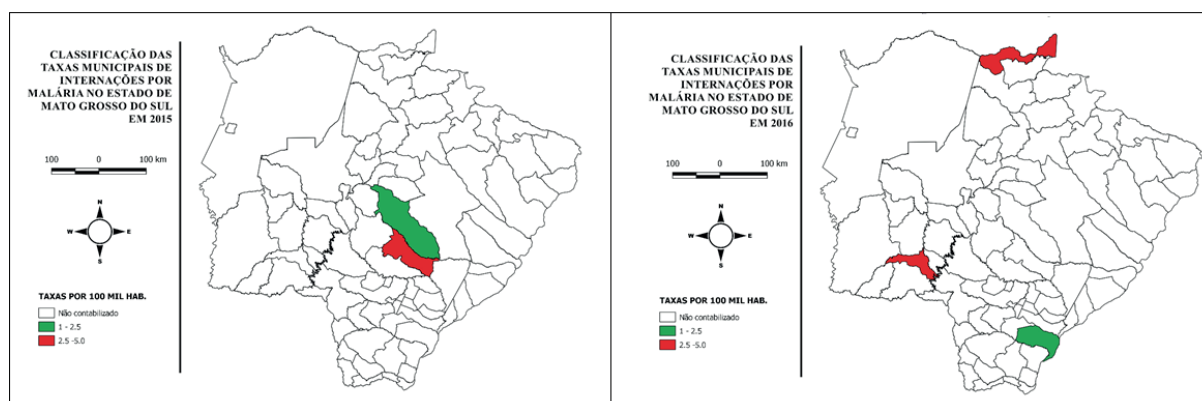
Município	Fev	Abr	Set	Out	Total
Campo Grande	0	0,115	0	0	0,115
Coxim	0	0	3	0	3
Rio Verde de Mato Grosso	0	0	0	5,12	5,12
Três Lagoas	0,86	0	0	0	0,86
Total - MS	0,86	0,115	3	5,12	9,095

**Tabela 2:** Óbitos, por grupos de cem mil habitantes, decorrentes de Leishmaniose nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul em 2016.

Fonte: DATASUS, TABNET/ SIDRA

Evidencia-se que na região Norte, Sudoeste e Pantanal predominam os casos de óbitos, bem como também pode ser verificado na espacialização das internações provocadas pelas doenças nos municípios do estado.

Na **Figura 2** é apresentado o mapeamento dos casos de malária nos anos analisados.



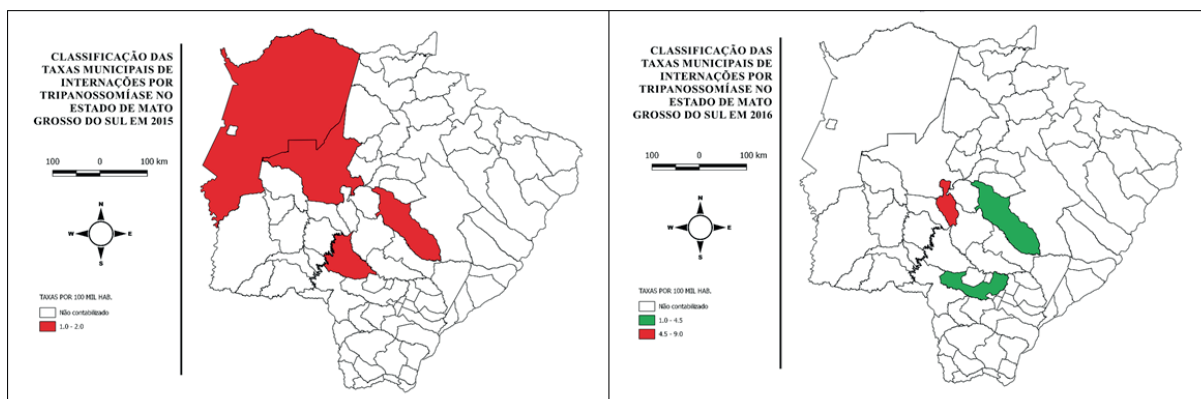
**Figura 2:** Incidência de internações de Malária em Mato Grosso do Sul em 2015 e 2016.

Fonte: IBGE (2010); DATASUS.

Elaboração: Adriana Bilar Chaquime dos Santos, 2018.

Em 2015, a cidade que teve a maior incidência de internações, foi Nova Alvorada do Sul com cinco casos para cada grupo de cem mil habitantes. Em 2016, as cidades que obtiveram maior incidência foram Sonora com cinco e Jardim com três casos, por cem mil habitantes.

Os casos de tripanossomíase estão especializados na **Figura3**.



**Figura 3:** Incidência de internações de Tripanossomíase em Mato Grosso do Sul em 2015 e 2016.

Fonte: IBGE (2010); DATASUS.

Elaboração: Adriana Bilar Chaquime dos Santos, 2018.

Em 2015, Campo Grande, Aquidauana, Corumbá e Maracaju tiveram maior incidência nos casos de internações, no estado. Em 2016, a cidade de Dois Irmãos do Buriti com nove casos por cem mil habitantes.

No caso dos óbitos, houve registro no ano de 2015, nos municípios de Aquidauana e Campo Grande (**Tabela 3**).

Município	Mai	Jun	Jul	Nov	Total
Aquidauana	0	0	0	2,12	2,12
Campo Grande	0,117	0,117	0,117	0	0,351
Total	0,117	0,117	0,117	2,12	2,471

Tabela 3: Óbitos, por grupos de cem mil habitantes, decorrentes de Tripanossomíase nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul em 2015.

Fonte: DATASUS, TABNET/ SIDRA

Comparando os dados dos óbitos, com a espacialização realizada na figura 3, pode-se observar que os óbitos ocorreram, justamente, nos municípios que mantiveram casos de internações entre os anos de 2015 e 2016. Isto pode representar uma preocupação em relação à doença em dois municípios de importância regional para o estado. A capital, principal cidade do estado e Aquidauana que possui centralidade entre os municípios de sua *hinterland*.

Por fim, a **Figura 4** representa a incidência da dengue nos municípios sul-mato-grossenses, nos anos de 2015 e 2016.

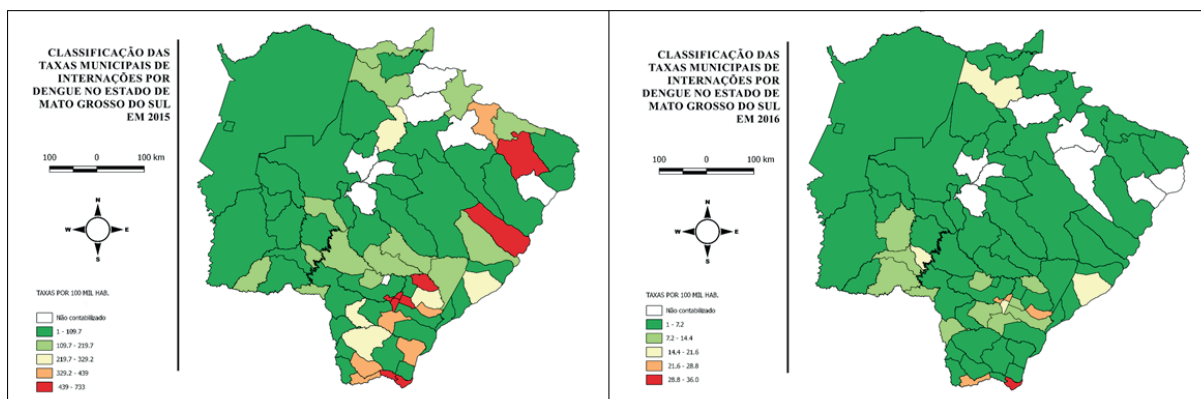


Figura 4: Incidência de interações de dengue em Mato Grosso do Sul em 2015 e 2016.

Fonte: IBGE (2010); DATASUS.

Elaboração: Adriana Bilar Chaquime dos Santos, 2018.

Em 2015, dentre as cidades que tiveram o maior índice de interações, Fátima do Sul teve 733 casos, por cem mil habitantes. Em 2016, a cidade que obteve maior índice de interações foi Sete Quedas com 540 casos, por cem mil habitantes.

As Tabelas 4 e 5 registram os casos de óbitos, nos dois anos analisados.

Município	Abr	Mai	Total
Caracol	17,1	0	17,1
Juti	0	15,6	15,6
Total	17,1	15,6	32,7

Tabela 4: Óbitos, por grupos de cem mil habitantes, decorrentes de dengue nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul em 2015.

Fonte: DATASUS, TABNET/ SIDRA

Município	Jan	Mar	Set	Total
Campo Grande	0,1	0	0	0,1
Ponta Porã	1,1	0	0	1,1
Ribas do Rio Pardo	0	4,2	0	4,2
Vicentina	0	0	16,5	16,5
Total	1,2	4,2	16,5	21,9

Tabela 5: Óbitos, por grupos de cem mil habitantes, decorrentes de dengue nos municípios do estado de Mato Grosso do Sul em 2016.

Fonte: DATASUS, TABNET/ SIDRA

Os casos de óbitos decorrentes da dengue, nos dois anos analisados, evidenciam que os casos os óbitos tendem a ocorrer em maior proporção em municípios do interior do estado.

A relação entre “doenças tropicais” com aspectos socioeconômicos, enfatizando os aspectos de saneamento ambiental, pobreza, onde os aspectos ambientais têm a

influência para a proliferação de doenças que são transmitidas por vetores, como a malária, a febre amarela, a leishmaniose e a dengue. Assim, os elementos do meio favorecem a proliferação desses vetores e, por conseguinte, das doenças, o que ajuda a explicar a diferenciação geográfica de suas ocorrências.

## 5 | ANÁLISE DOS DADOS NA REGIÃO DO PANTANAL

A região do Pantanal é composta por cinco municípios: Anastácio, Aquidauana, Corumbá, Ladário e Miranda. A estrutura produtiva é a pecuária, o turismo e a indústria. Apresenta uma população de 218.509 habitantes, entretanto a densidade demográfica é baixa, por se tratar de uma grande extensão territorial. Segundo dados de Mato Grosso do Sul (2015), isto torna a integração regional entre os municípios complexa resultando em um custo de vida elevado pela baixa oferta de emprego, tanto na zona urbana quanto na zona rural.

Quanto as doenças transmitidas por vetores, na região do Pantanal, há registro de leishmaniose em Corumbá, Ladário, Aquidauana e Anastácio, nos dois anos analisados. No caso da Tripanossomíase, em 2015, Corumbá e Aquidauana estavam entre os quatro municípios que apresentaram casos no estado, sendo que em Aquidauana houve registro de óbito. A dengue, por sua vez, registrou casos nos dois anos consecutivos em todos os municípios da região. De modo geral, as características ambientais, as áreas úmidas, o clima com períodos de seca e chuvoso, o fator sócio ambiental em conjunto com os fatores físicos da região são propícios a propagação de vetores, tornando a população vulnerável a este tipo de doenças.

## 6 | CONCLUSÕES

Nesse contexto, entre características do ambiente e a questão social é que se faz relação entre as doenças transmitidas por vetores e a Geografia da Saúde. São doenças que afetam a saúde coletiva e, por conta disto, são alvos de campanhas de vigilância e vacinação. Os casos de notificações e internações decorrentes dessas doenças representam, ainda, custos elevados no sistema de saúde. Esta tipologia de doenças representa importante causa de morbidade e mortalidade, especialmente em países de clima tropical, simbolizando um problema grave de saúde pública.

Para compreendermos a proliferação desses vetores, é necessário observar a sua circulação pelo território, como as regiões de Mato Grosso do Sul não são homogêneas, as especificidades locais são fundamentais para cada morbidade. Embora um fator inquestionável seja o clima, que fomenta a reprodução dos vetores, outras características ambientais também devem ser consideradas.

A dengue é um caso em particular, dentre as cinco doenças, foi a que ocorreu em quase todos os municípios, por ser relacionada ao clima, observa-se que, não é

necessário a correlação com outros fatores, por se tratar de uma doença intitulada tropical, o estado possui ambiente favorável, com estações definidas de chuva, calor e umidade.

Embora a urbanização acelere esse processo, causando a manifestação de outros vetores, como o da Leishmaniose, que depois da dengue, causa preocupação por estar ocorrendo em vários municípios do estado, principalmente na região norte. Mesmo com a diminuição de casos entre 2015 e 2016, a Leishmaniose causou óbitos, isso é preocupante para a saúde pública.

É fato que essas morbidades têm um ponto em comum, o mosquito vetor, as características podem diferenciar se, mas o ambiente para a sua reprodução é igual, ou seja, mesmo na cidade ou no campo, há sempre um conjunto de fatores que propiciam que esses vetores se espalhem, produzam e reproduzam constantemente, independente da época do ano.

A Geografia da saúde tem proporcionado pesquisas relevantes para a sociedade, porque as relações humanas com o meio é a base para a discussão e o seu foco. Para isso, buscou se enfatizar nessa pesquisa doenças que são transmitidas por vetores características e a ocorrência das mesmas no estado.

Sabendo que a maior causa dessas doenças ocorre pela grande urbanização, problemas relacionados com o saneamento básico e a conduta indevida para o manejo dos resíduos sólidos, o uso e ocupação de áreas inapropriadas para moradias, porque o clima do estado é favorável para a proliferação dos mosquitos.

A característica geográfica do estado é propicia ao desenvolvimento dos vetores, aliada ao ordenamento urbano, faz com que ocorra a incidência das morbidades nos municípios, com picos isolados, mas controlados pelas ações de saúde pública do estado.

Portanto, as ações voltadas para a prevenção das doenças por vetores têm consequências positivas, mas os problemas de saneamento básico e resíduos sólidos ainda é a grande causa do aparecimento dos vetores, assim como sua proliferação. Por mais que o ambiente seja favorável, a ação antrópica tem impulsionado o aparecimento desses mosquitos ocasionando um problema de saúde pública. Com isso, pode-se concluir, que quanto maior o descuido da população, mais difícil será para combater esse problema sócio-ambiental.

## **7 | AGRADECIMENTOS**

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de iniciação científica



## REFERÊNCIAS

- BARCELLOS, C. A saúde nos sistemas de informação geográfica: apenas uma camada a mais? **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, 2003, n. 25, p. 29-43.
- BARCELLOS, C. e BASTOS, F. I. Geoprocessamento, ambiente e saúde: uma união possível? **Caderno de Saúde Pública** [online]. 1996, vol. 12, n.3.
- CURTO, S. I. Mapas em geografia Médica. **Caderno Prudentino de Geografia** . Associação dos Geógrafos Brasileiros. 2003, v. 1, n° 25, p. 111-129.
- FIOCRUZ. OMS alerta para doenças transmitidas por vetores e Ensp lista as mais comuns no Brasil. 2014. Disponível em < <https://portal.fiocruz.br/noticia/oms-alerta-para-doencas-transmitidas-por-vetores-e-ensp-lista-mais-comuns-no-brasil> > Acesso em: 16 de abril de 2018.
- FLAUZINO, R. F.; SOUZA-SANTOS, R.; OLIVEIRA, R. M. Dengue, geoprocessamento e indicadores socioeconômicos e ambientais: um estudo de revisão. **Revista Panamericana de Salud Publica** [online]. 2009, vol.25, n.5, p.456-461. Disponível em < [http://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S1020-49892009000500012&script=sci\\_abstract&tlng=es](http://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S1020-49892009000500012&script=sci_abstract&tlng=es) > Acesso em 01 de novembro de 2016.
- GUIMARÃES, R.B. **Saúde**: fundamentos de geografia humana [online]. São Paulo: Editora Unesp, 2015.
- LEMOS, J. C. e LIMA, S. C. A Geografia médica e as doenças infecto parasitárias. **Caminhos da Geografia**. [online] 2002, v.3, n.6, p. 74-86.
- MATO GROSSO DO SUL-Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento e de Ciência e Tecnologia- SEMAC/MS. **Estudo de Dimensão Territorial do Estado de Mato Grosso do Sul: Regiões de Planejamento**. Campo Grande- MS, 2015.

## APLICAÇÃO DO GEOPROCESSAMENTO NA CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO - GOIÁS

### **Victor Tomaz de Oliveira**

Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí.  
Urutaí-Goiás

### **Wellington Nunes de Oliveira**

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental.  
Goiânia-Goiás

### **Emanoelle Pereira da Silva**

Universidade Federal de Goiás, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.  
Goiânia-Goiás

### **Elaine Jacob da Silva Carmo**

Universidade Federal de Goiás,  
Goiânia-Goiás

### **Kharen de Araújo Teixeira**

Universidade Federal de Goiás,  
Goiânia-Goiás

### **Hugo José Ribeiro**

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental.  
Goiânia-Goiás

**RESUMO:** Este trabalho teve como objetivo caracterizar morfometricamente a Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, a qual abrange onze municípios do Estado de Goiás. A análise morfométrica envolveu a caracterização de parâmetros geométricos do relevo e da rede de drenagem. Os dados demonstraram que a bacia ocupa uma área de 11.001,5 Km<sup>2</sup> com

comprimento do canal principal de 262,2 Km. A rede de drenagem da bacia do Rio Vermelho apresenta uma hierarquia de sétima ordem. O coeficiente de compactidade (Kc) encontrado (1,61) em conjunto com o fator forma (0,44) indicam que, em condições normais de precipitação, a bacia é pouco suscetível a enchentes. Há, ainda, uma indicação de que a bacia apresenta uma tendência à forma alongada e, portanto, uma menor concentração de deflúvio, como evidencia o índice de alongamento (0,57). A densidade de drenagem (0,75) evidencia uma drenagem regular no que diz respeito à capacidade de infiltração. O tempo de concentração é de 77,5 horas, indicando que uma chuva precipitada na nascente pode demorar cerca de três dias para chegar no exutório.

**PALAVRAS-CHAVE:** Recursos hídricos, geotecnologias, caracterização geométrica.

**ABSTRACT:** The objective of this paper was to characterize morphometrically the Rio Vermelho hydrographic basin, that have eleven cities of Goiás. The morphometric analysis involved the characterization of geometric parameter of ground and drainage network. The data showed that the basin have 11.001,5 km<sup>2</sup> of area and 262,2 km of channel length. The drainage network of Rio Vermelho hydrographic basin has a hierarchy of seventh order. The compactness

coefficient found was 1,61 and the form factor was 0,44. This indicates that, on normal condition of precipitation, the basin is somewhat susceptible to flooding. There is also an indication that the basin has a tendency to elongated shape, thus, a lower concentration of defluvium, as evidenced by stretching index (0,57). The drainage density (0,75) evidence a regular drainage for capacity of infiltration. The concentration time is 77,5 hours. This means that, if had a rainfall at the source of water, would to delay proximity 3 days to arrive in the exudation.

**KEYWORDS:** Water resources, geotechnology, geometric characterization.

## 1 | INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas, ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (BARRELLA, 2001 apud TEODORO et. al., 2007).

Em se tratando do comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica essa se dá pela função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, dentre outros) e do tipo da cobertura vegetal (LIMA, 1986 apud TEODORO et. al., 2007).

Já o estudo morfométrico de bacias hidrográficas pode ser definido como a análise quantitativa das relações entre a fisiografia da bacia e a sua dinâmica hidrológica. Assim, a análise desses parâmetros tem grande importância nesses estudos, pois por meio da abordagem quantitativa, pode-se ter uma melhor noção do comportamento hidrológico, uma vez que os mesmos são bons indicadores da capacidade de escoamento superficial (NUNES et al., 2006 apud SANTOS, 2012).

Nesse contexto, a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica é um procedimento que embasa as análises hidrológicas e ambientais e ajuda no conhecimento das dinâmicas local e regional, bem como subsidia as ações de planejamento para conservação e gerenciamento dos recursos hídricos (FIOREZE et al., 2010; ROCHA et al., 2014). Nesse sentido, o geoprocessamento pode figurar como uma poderosa ferramenta no estudo geométrico da bacia hidrográfica, considerando a capacidade de realizar análises automatizadas com uso de *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e dados espaciais.

Assim, o presente trabalho objetivou analisar a morfometria da bacia hidrográfica do Rio Vermelho a partir de sua caracterização geométrica, características do relevo, e características da rede de drenagem, com uso de dados geográficos e ferramentas de SIG.

## 2 | OBJETIVO

Analisar a morfometria da bacia hidrográfica do Rio Vermelho a partir de sua caracterização geométrica, com base na utilização de dados geográficos e *softwares* de Sistemas de Informação Geográficas.

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização da área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho está inserida na Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia, na porção Centro-Oeste do Estado de Goiás. Suas nascentes localizam-se a 17 km do município Cidade de Goiás, e sua área de drenagem é de aproximadamente 11.000 Km<sup>2</sup>, o que representa aproximadamente 3,23% da área total do Estado. Os principais afluentes do Rio Vermelho são, pela margem esquerda, Rio Uvã e Rio Água Limpa, e pela margem direita recebe o Rio Ferreira. Fazem parte da bacia os municípios de Cidade de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã (Figura 1).

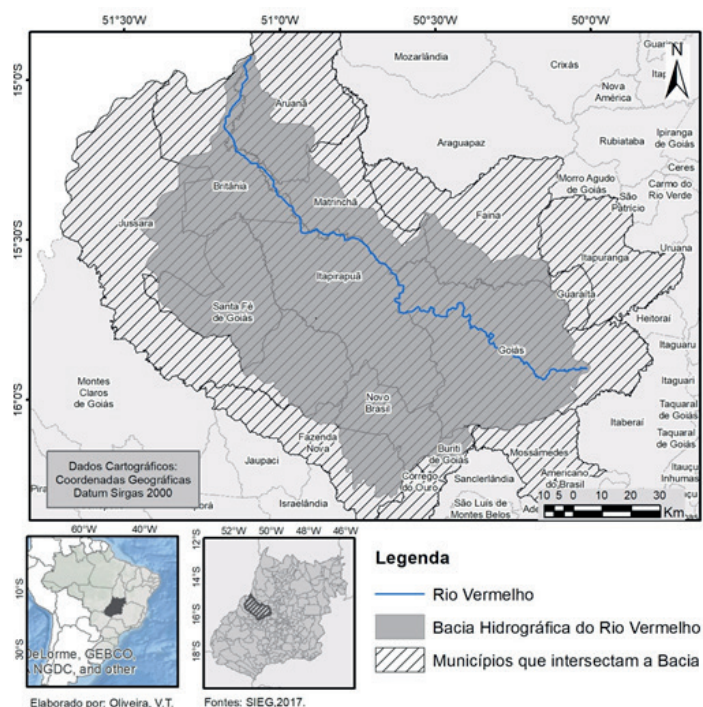


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Estado de Goiás.

Em relação às classes de solos, conforme Machado & Lima (2001), a Bacia do Rio Vermelho contempla um complexo mosaico pedológico com o predomínio de Latossolos Vermelho-Amarelo e Latossolos Vermelhos laterizados na porção noroeste (região da Formação Araguaia), Cambissolos e Latossolos Vermelho-Amarelos no centro-leste da bacia; Neossolos Litólicos nas áreas acidentadas das serras Dourada,

Geral e São Francisco e Gleissolos ocorrem nas planícies de inundação do Rio Vermelho, Ribeirão Água Limpa e Ribeirão Samambaia (**Figura 2**).

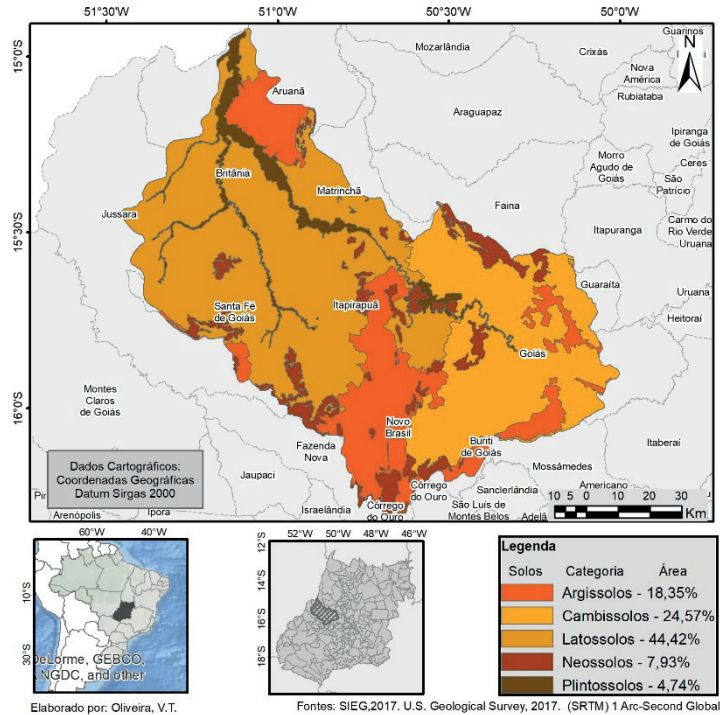


Figura 2 - Mapa de caracterização dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Estado de Goiás.

Já quanto ao uso do solo na bacia, Cavalcanti et al. (2008) demonstraram que 25% da área é antropizada, 38% é coberta por vegetação natural, e 37% representa afloramentos rochosos. Eles alertam que quando é realizada uma observação superficial, tem-se a suposição de que a cobertura vegetal é bem preservada (**Figura 3**).

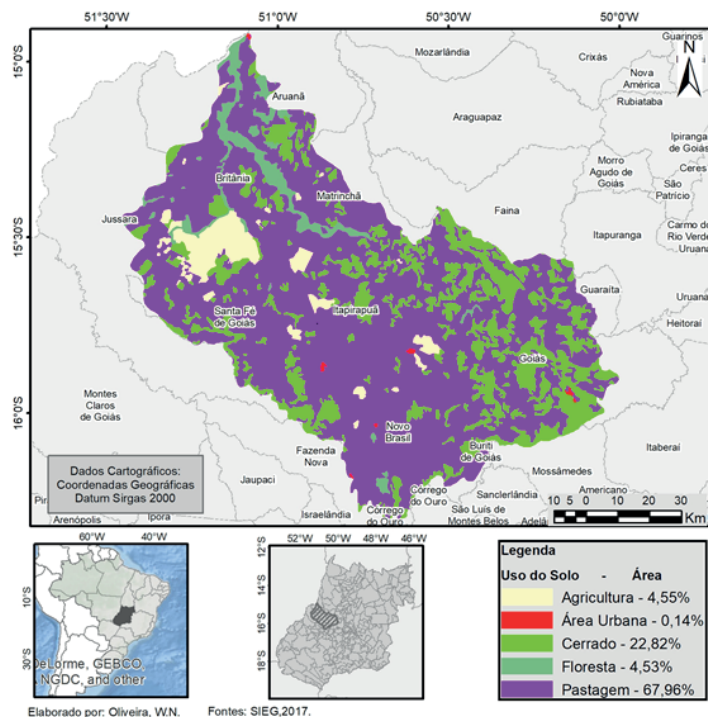


Figura 3 - Mapa de uso dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.



## 4 | METODOLOGIA

O levantamento cartográfico e a delimitação da bacia hidrográfica do Rio Vermelho foram efetuados com base no mapa topográfico em escala 1:10.000 SIEG (2017). Para a caracterização morfométrica utilizou-se dados de atributos básicos como áreas, perímetros e comprimentos do canal principal e da bacia. A partir destes atributos foram calculados os índices de forma das bacias, traduzidos nos valores de Coeficiente de compacidade (Kc), Fator de forma (Kf). Além destes valores, foram calculados também os índices de declividade, altitude, densidade de drenagem (Dd), índice de alongamento, tempo de concentração e ordem dos cursos d'água. As fórmulas para obtenção dos parâmetros morfométricos são as mesmas utilizadas por Teodoro et. al. (2007) e a hierarquização da drenagem foi realizada por meio dos métodos propostos por Strahler (1952) e magnitude de drenagem, seguindo os parâmetros estabelecidos por Shreve (1966).

Utilizou-se o *software* ArcGIS 9.3 e o ordenamento dos cursos d'água foi realizado de forma automática pela ferramenta *hydrology – stream order*. Para a criação da curva hipsométrica utilizou-se o *software* Excel.

Os dados espaciais que subsidiaram os cálculos dos parâmetros estudados foram obtidos utilizando-se um Modelo Digital de Elevação – MDE, Imagens de Satélite e Dados Vetoriais. Segue detalhamento:

Em relação ao Modelo Digital de Elevação – MDE, para realização desse estudo foram utilizados diferentes dados espaciais. A análise hidromorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho foi realizada por meio de MDE oriundo do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission / Missão Topográfica do *Radar Shuttle*). A extração dos dados necessários para o estudo hidromorfológico do MDE foi realizada utilizando técnicas de geoprocessamento por meio do *software* ArcGIS. As características fundamentais estudadas na análise morfométrica foram: - Declividade; - Área; - Extração e cálculo do Comprimento da drenagem.

Os dados do SRTM foram adquiridos na resolução espacial de 1 arco de segundo. (aproximadamente 30 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS84, por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. Para cobrir a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, localiza-se na região oeste do Estado de Goiás, nos quadrantes SD-22-Z-A, SD-22-Z-C, SD-22-Y-B, SD-22-Y-D, SD-22-X-A, SD-22-V-B.

Ainda com o SRTM foi possível realizar o ordenamento dos rios pelo método de Strahler, para isso foi utilizada a função *Hydrology/ Spatial Analyst* do *software* ArcGIS.

Sobre as Imagens de Satélite, para a geração do mapa de uso e cobertura da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, foram utilizadas como base imagens do satélite americano Landsat-8 com resolução espacial de 30 metros no modo multiespectral e 15 metros no modo pancromático, cuja fusão de imagens via PDI (Processamento Digital de Imagens) gerou uma imagem colorida com resolução espacial de 15 metros. Essas imagens correspondem a órbita/ponto 223/71, também disponibilizadas pelo

INPE. Foi realizada uma classificação dessas imagens, gerando assim o mapa de uso e cobertura do solo da bacia.

Quanto aos Dados Vetoriais, foram adquiridas junto ao Sistema de Geoinformação de Goiás – SIEG, dados vetoriais como a delimitação da Bacia hidrográfica do Rio Vermelho, Limites Municipais, Solos e Vulnerabilidade Ambiental da bacia.

Todos os dados citados acima, MDE, Imagens de Satélite e Dados Vetoriais, serviram como subsídios para a análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

## 5 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho possui área de drenagem de 11.001,5 km<sup>2</sup> e perímetro de 604,3 km, podendo ser considerada uma bacia de médio porte para estudos de drenagem. Os resultados da caracterização física da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho estão apresentados na **Tabela 1**.

Parâmetro	Valor e Unidade
Área da bacia	11.001,5 Km <sup>2</sup>
Perímetro	604,3 Km
Comprimento do canal principal	262,2 Km
Comprimento da bacia	158,9 Km
Comprimento total dos cursos d'água	8,247,3 Km
Declividade baseada nos extremos	0,0021 m/m
Diferença de nível	554 m
Altitude mediana	365 m
Altitude máxima (nascente)	803 m
Altitude mínima (foz)	249 m
Fator forma	0,44
Densidade de drenagem	0,75 km/km <sup>2</sup>
Índice de alongamento	0,57
Índice de compacidade	1,61
Tempo de concentração	77,5 h

**Tabela 1** - Caracterização física da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

De acordo com os resultados, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do Rio Vermelho, mostra-se pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitação, isso pode ser verificado pelo fato de índice de compacidade apresentar o valor afastado da unidade (1,61), e seu fator forma exibir um valor baixo (0,44). Assim, há uma indicação de que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência a forma alongada, como evidencia o índice de alongamento (0,57). Esta forma alongada permite que a água escoe em menor velocidade e de maneira mais distribuída até o exutório.

O Índice de compacidade –  $K_c$ , relaciona a forma da bacia a de um círculo. Este índice mede a relação do perímetro da bacia e o perímetro que a bacia teria se fosse circular. É dado pela equação:  $K_c = 0,28P / A^{0,5}$ . Este parâmetro é um número adimensional que varia com a forma da bacia, onde quanto maior o coeficiente de compacidade, a bacia tem menor tendência a grandes enchentes. O coeficiente de compacidade apresentado pela Bacia em estudo é de  $K_c = 6,5$ .

O Fator de forma relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo à razão da largura média e o comprimento axial da bacia. O Fator forma ou índice de conformação ( $I$ ) é usado de maneira conceitual na hidrologia, e é um parâmetro que pode indicar a tendência da bacia a enchentes e inundações, de modo que quanto menor os valores de  $I$  menor a tendência a cheias (HORTON (1932) apud SANTOS (2012)). No caso da bacia do Rio Vermelho verificou-se que o fator forma é de 0,44, evidenciando uma baixa tendência da bacia a enchentes.

Na declividade, a princípio foram determinadas cinco classes de representação do relevo de acordo com o sistema brasileiro de classificação do solo da Embrapa (1999), apresentando mais da metade da bacia em uma única classe (plana – 0 a 3%). Todavia, essa metodologia foi substituída por uma determinação das classes de relevo tendo como referência os valores adaptados de Lepsch (1983). Essa alteração se justifica pelo fatiamento mais detalhado da bacia.

Tal fatiamento possibilitou evidenciar que a Bacia do Rio Vermelho possui 16,1% da superfície entre 0 a 2% de declividade, significando um relevo plano, principalmente a medida que se aproxima da foz. Ainda, de acordo com a Lei Federal 12.651/2012 (BRASIL, 2012), a bacia apresenta 0,6% de áreas que são de uso restrito ou de preservação permanente, representando 66 km<sup>2</sup> de área.

Assim, utilizou-se da ferramenta *slope* do *software* ArcGis para fatiamento do Modelo Digital de Terreno - MDT nas faixas pré-determinadas, e a conversão do arquivo matricial em vetorial possibilitou determinar a área ocupada por cada faixa de declividade. Essa caracterização pela declividade da bacia se faz importante na medida em que quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, o que pode implicar em menor tempo de concentração estando relacionado ainda com os picos de enchentes. Na **Figura 4** está representado um mapa de declividade da referida bacia.

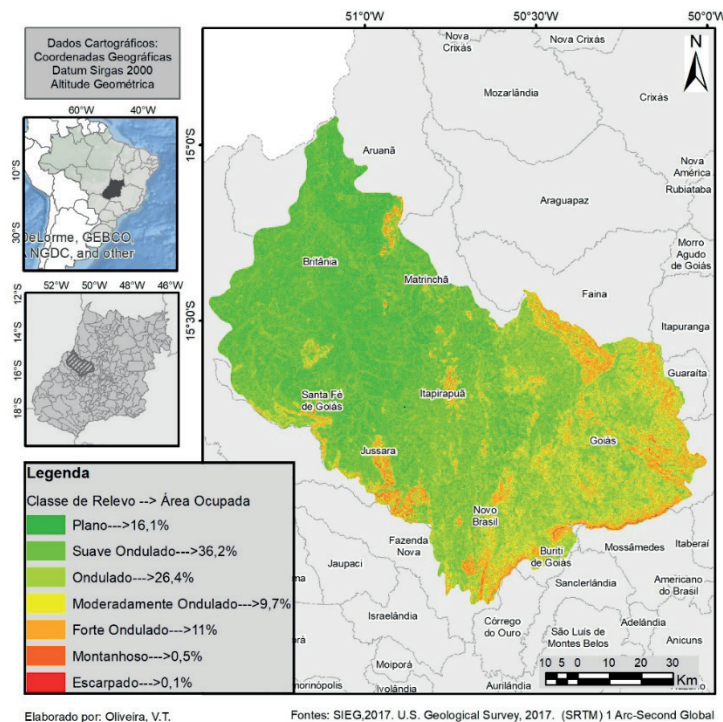


Figura 4 - Mapa de declividade da Bacia hidrográfica do Rio Vermelho.

No que se refere a altitude, a curva hipsométrica representa graficamente o relevo médio de uma bacia, além do estudo da variação da elevação de vários terrenos da bacia com referência ao nível médio do mar, ou a um determinado referencial vertical ou datum. Para a obtenção da curva hipsométrica fez-se necessário primeiramente classificar o MDT a fim de obter uma representação das elevações do terreno como pode ser visto na **Figura 5**.

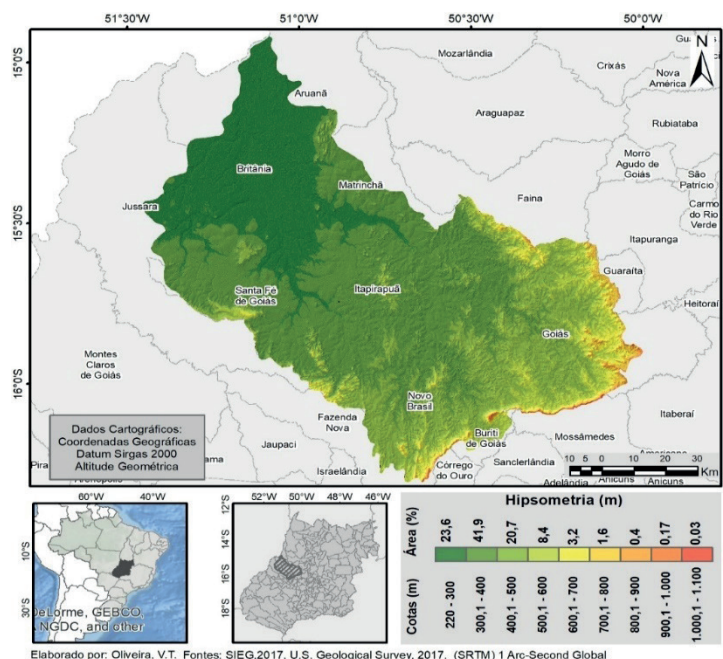
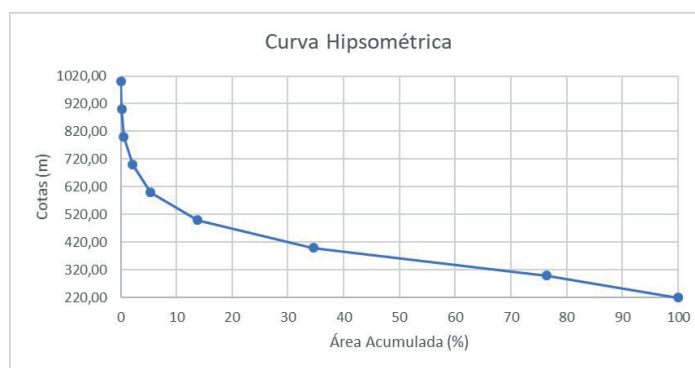


Figura 5 - Mapa de altitude da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

A partir de então, fez-se possível gerar a curva hipsométrica utilizando o *software*

Excel, relacionando o fatiamento em cotas e a porcentagem da área de cada faixa de forma acumulada. A curva hipsométrica está representada na **Figura 6**.



**Figura 6** - Curva hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.

Assim, nota-se que 65,5% do total da bacia possui amplitude altimétrica de 180 metros (cotas de 220 a 400), o que significa dizer que existe pouca diferenciação de altitude na maior parte da superfície da bacia.

A densidade de drenagem é um fator importante na indicação do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia. Este parâmetro varia de acordo com a precipitação, a geomorfologia e o relevo, fornecendo uma indicação da eficiência da drenagem da bacia, sendo expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede, sejam eles perenes, intermitentes ou temporários, e a área total da bacia (ANTONELI & THOMAZ, 2007 apud TEODORO, 2007). A densidade de drenagem é de 0,75 km/km<sup>2</sup>, mostrando que a bacia possui uma drenagem regular no que diz respeito a capacidade de infiltração e resistência a erosão conforme indicado na **Tabela 2**. Neste caso, em precipitações normais a Bacia do Rio Vermelho tende a ter escoamentos com velocidades moderadas.

Dd (Km/Km <sup>2</sup> )	Denominação
< 0,50	Baixa
0,50 – 2,00	Mediana
2,01- 3,50	Alta
> 3,50	Muito alta

Tabela 2 - Classificação da densidade de drenagem (Dd)

Fonte: SANTOS, *et al.*, 2012 *apud* BETRAME (1994).

O Índice de alongamento está relacionado com o fator forma, quanto mais alongada for a bacia, maior será o tempo de escoamento e conseqüentemente menor a tendência da bacia a grandes cheias. É a razão do diâmetro da bacia se ela fosse um círculo, com maior comprimento. A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho apresentou Índice de alongamento igual a 0,57.

O Tempo de concentração (Tc) é um importante parâmetro para planejamento nas bacias hidrográficas. Segundo DNIT (2005), ele é definido como o tempo de percurso



em que o deflúvio leva para atingir o curso principal desde o ponto mais distante até a seção de interesse. Na caracterização da Bacia do Rio Vermelho, optou-se por utilizar a fórmula de Kirpich modificada (DNIT, 2005), pois ela se mostrou apta para estudos em bacias de médio e grande porte. Encontrou-se um tempo de concentração de 77,5 horas. Isso indica que uma chuva precipitada na nascente pode demorar cerca de três dias para chegar no exutório. Isso quer dizer que em chuvas de curta duração (inferiores ao tempo de concentração), somente parte da bacia estará contribuindo para formar efetiva para o somatório do hidrograma de enchente. A Ordem dos cursos d'água é realizada a partir da hierarquização da drenagem foi possível a análise de índices morfométricos para a bacia hidrográfica em questão. Esse ordenamento possibilita a elaboração de um mapa que configura a espacialização dos cursos d'água da bacia de acordo com sua ordem (Figura 7). No caso específico dessa classificação ordenada de forma automática da Bacia do Rio Vermelho, os corpos d'água variam de ordem 1 até a ordem 7. Na **Tabela 3** estão quantificados todos os cursos d'água de acordo com o ordenamento de Strahler (1952) e suas bifurcações.

Hierarquia (Strahler)	n ° de bifurcações
1	3213
2	1424
3	887
4	443
5	189
6	175
7	34

Tabela 3 - Ordenamento dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Estado de Goiás

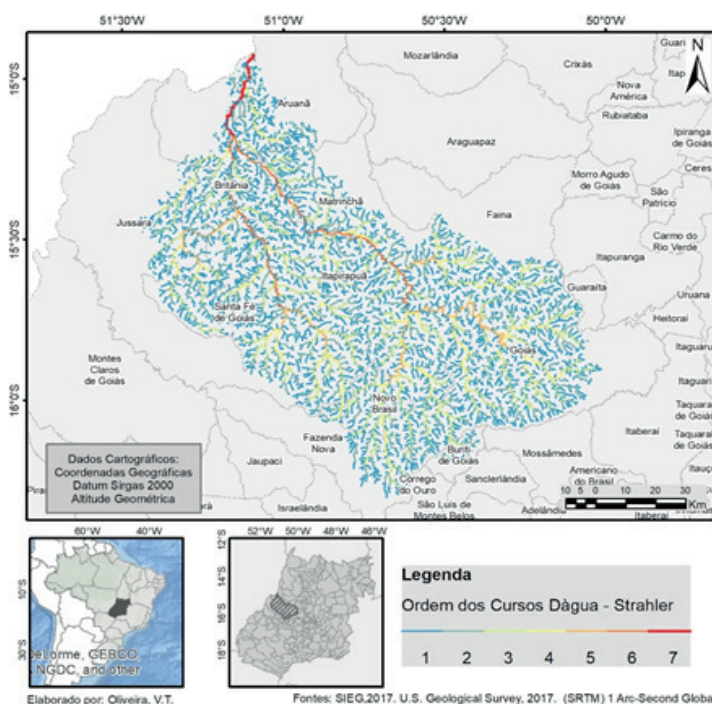


Figura 7 - Ordem dos cursos d'água da bacia hidrográfica do Rio Vermelho, Estado de Goiás

## 6 | CONCLUSÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho representa 3,23 % da área total do Estado de Goiás, intersectando onze municípios desde sua nascente até sua foz, quando desemboca no Rio Araguaia – Tocantins. Sua área de drenagem é de sétima ordem.

A bacia tem uma tendência à forma alongada, o que permite que a água escoe em menor velocidade e de maneira mais distribuída até o exutório. Em condições normais de precipitação, a bacia tende a ter escoamentos com velocidades moderadas, visto que possui uma drenagem regular no que diz respeito à capacidade de infiltração e resistência à erosão, mostrando-se, nesse caso, pouco suscetível a enchentes.

## REFERÊNCIAS

Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Código Florestal Brasileiro**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 2012.

Cavalcanti, M. A.; Lopes, L.M.; Pontes, M.N.C. **Contribuição ao entendimento do fenômeno das enchentes do Rio Vermelho na cidade de Goiás, GO**. Boletim Goiano de Geografia, 28 (1): p. 167-186, jan./jun, 2008.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. 2005**. Disponível em: < [http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual\\_de\\_hidrologia\\_basica.pdf](http://ipr.dnit.gov.br/manuais/manual_de_hidrologia_basica.pdf)>. Acessado em: 05 de outubro de 2017.

Embrapa. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA-SPI, 1999.

Fioreze, A.P.; Oliveira, L.F.C.; Franco, A.P.B. **Caracterização morfológica da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás**. Pesq. Agropec. Trop., 40 (2): p. 167-173, abr./jun. 2010.

Lepsch, I.F.; Bellinazzi, R.; Bertolini, D.; Espíndola, C. R. 1983. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. SBCS, 175p.

Machado, L. E. G; Lima, C. V. **Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO) utilizando imagens ASTER**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2001, p.8231 - 8239.

Rocha, R.M.; Lucas, A.A.T.; Almeida, C.A.P.; Neto, E.L.M.; Netto, A.O.A. **Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Poxim-Açu**. Revista Ambiente e Água, 9 (2): p. 276 – 287, 2014.

Santos, M.A.; Targa, M.S.; Batista, G.T.; Dias, N. W. **Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão**. Revista Ambiente e Água, 7 (3). 2012.

Shreve, R. L. **Statistical law of stream numbers**. The Journal of Geology, 74 (1): p. 17-37, 1966.

Strahler, A. N. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography**. Geological Society of America Bulletin, 63 (11), p. 1117-1142, 1952.

Teodoro, V. L. L., Teixeira, D., Costa, D. J. L., Fuller, B.B. **O Conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista UniAra, 20, 2007.

## ASPECTOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE VERMELHO – MT AFLUENTE DO RIO PARAGUAI SUPERIOR

### **Jéssica Ramos de Oliveira**

Universidade do Estado de Mato Grosso,  
Programa de Pós-Graduação em Ambiente e  
Sistemas de Produção Agrícola  
Tangará da Serra – Mato Grosso

### **Carine Schmitt Gregolin**

Universidade do Estado de Mato Grosso,  
Programa de Pós-Graduação em Ambiente e  
Sistemas de Produção Agrícola  
Tangará da Serra – Mato Grosso

### **Martins Toledo de Melo**

Fundação Nacional do Índio – FUNAI  
Tangará da Serra – Mato Grosso

### **Tadeu Miranda de Queiroz**

Universidade do Estado de Mato Grosso,  
Faculdade de Arquitetura e Engenharia  
Barra do Bugres – Mato Grosso

**RESUMO:** As características morfométricas de uma bacia permitem conhecer os aspectos do seu comportamento hidrológico, sua dinâmica ambiental local e regional. O objetivo do presente estudo foi determinar as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho, a partir da estimativa de algumas variáveis físicas. Foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) para o cálculo de variáveis associadas às características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Grande Vermelho, localizado no município de Barra do Bugres - Mato Grosso, afluente do

Rio Paraguai, um dos principais contribuintes do Pantanal mato-grossense, afim de obter o conhecimento quantitativo das variáveis e contribuir para o planejamento e gerenciamento deste recurso hídrico. A análise morfométrica da bacia consistiu na caracterização de algumas variáveis físicas, as quais compõem as características geométricas, da rede de drenagem e as características do relevo. A bacia do Rio Grande Vermelho possui uma área de 867,76 km<sup>2</sup>, com perímetro de 242,98 km, com um curso d'água principal de 60 km de comprimento, sendo uma bacia de extensão mediana, o que destaca sua relevância à contribuição hídrica do pantanal mato-grossense. Quanto às características de declividade da bacia, observa-se que o relevo é condizente com o da região na qual está situada e possui uma forma alongada, sendo seu sistema de drenagem caracterizado como regular. Os resultados encontrados podem ser utilizados para subsidiar a análise da adequação do uso e ocupação da terra em conformidade com sua capacidade e também das ações para das entidades gerenciadoras dos recursos hídricos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Morfometria, sensoriamento remoto, processamento de imagens, áreas úmidas, Pantanal.

**ABSTRACT:** The morphometric characteristics

of a basin allow to know the aspects of its hydrological behavior, its local and regional environmental dynamics. The objective of this study was to determine the morphometric characteristics of the Rio Vermelho Grande Basin, as from estimates of some physical variables. The Digital Elevation Model (DEM) was used to calculate the variables associated with the morphometric characteristics of the Rio Grande Vermelho Basin, located in Barra do Bugres – Mato Grosso, affluent of Rio Paraguai, one of the main contributors to Pantanal mato-Grosense, in order to obtain the quantitative knowledge of the variables and contribute to the planning and management of this water resource. The morphometric analysis of the basin consisted in the characterization of some physical variables, which make up the geometric characteristics of the drainage network and the characteristics of the relief. The Rio Grande Vermelho basin has an area of 867.76 km<sup>2</sup>, with a perimeter of 242.98 km, with a main water course of 60 km of length, being a basin of medium extension, which highlights its relevance to the water contribution of the pantanal mato-grossense. As for the characteristics of slope of the basin, it is observed that the relief is consistent with that of the region in which it is situated and has an elongated shape, its drainage system being characterized as regular. The results obtained can be used to support the analysis of the adequacy of land use and occupation in accordance with its capacity and of the actions for the entities managing the water resources.

**KEYWORDS:** Morphometry, remote sensing, image processing, wetlands, Pantanal.

## 1 | INTRODUÇÃO

O conceito de bacia hidrográfica sofre diversas variações dentro da literatura científica. No entanto, a Lei Federal brasileira de nº 9.433/97 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), traz em seu inciso V, que bacia hidrográfica é “a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos”.

Um dos mais comuns e primeiros procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais é a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica, possuindo como objetivo esclarecer as diversas questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (Teodoro et al., 2007). De acordo com Antonelli e Thomaz (2007), o cruzamento dos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas, e possibilitam, conforme Santos (2017) estimar quantitativamente e qualitativamente as características da bacia por meio de vários parâmetros.

Para Tonello (2005), as características morfométricas podem ser divididas em: características geométricas, características do relevo e características da rede de drenagem. Vilella e Mattos (1975) ressaltaram que as propriedades físicas de uma bacia hidrográfica permitem uma avaliação do seu comportamento hidrológico, e conforme relações e comparações dos resultados são estabelecidos é possível determinar de

forma indireta diversos parâmetros.

O estudo destas características permite conhecer o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, e assim compreender como este comportamento está sendo afetado por ações antrópicas, uma vez que, ao intervir no meio natural, o homem acaba interferindo nos processos do ciclo hidrológico (Tonello, 2005).

O uso do geoprocessamento permite o cálculo de diversas variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão, e com o crescimento da capacidade de processamento e armazenamento de dados dos computadores, juntamente com a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) torna possível se trabalhar com extensas áreas com alta resolução espacial, sem perda significativa do tempo de processamento envolvido e são ferramentas eficientes para estudos morfométricos (Grohmann et al., 2008; Ataíde et al., 2017).

Deste modo, o presente estudo é relevante para geração de conhecimentos sobre características do ciclo hidrológico da bacia do Rio Grande Vermelho, afluente do Rio Paraguai, e em como os impactos das alterações no comportamento hidrológico deste afluente pode estar afetando um dos principais contribuintes da bacia pantaneira, além gerar informações e servir de base para o planejamento, implementação e regulamentação das ações realizadas pelas entidades e órgãos que integram o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, principalmente as dos afluentes do Pantanal Mato-grossense.

Sendo assim, objetivou-se determinar as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho, a partir da estimativa de algumas variáveis físicas, sendo elas: área e perímetro da bacia, comprimento do curso d'água principal, fator de forma, coeficiente de compactidade, índice de circularidade, densidade de drenagem, ordem dos cursos d'água, coeficiente de manutenção, altitude máxima e mínima, declividade média e índice de sinuosidade.

## **2 | MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho, a qual está localizada no município de Barra do Bugres no estado de Mato Grosso, entre as coordenadas UTM 432.090 e 475.299 ao leste, e, 8.323.458 e 8.348.912 ao oeste, conforme apresentado na Figura 1. A bacia em estudo é composta por três unidades hidrográficas, sendo elas o córrego Grande, rio Vermelhinho e rio Grande Vermelho, sendo considerada um importante afluente da margem direita da bacia hidrográfica do rio Paraguai, um dos principais contribuintes do pantanal mato-grossense.



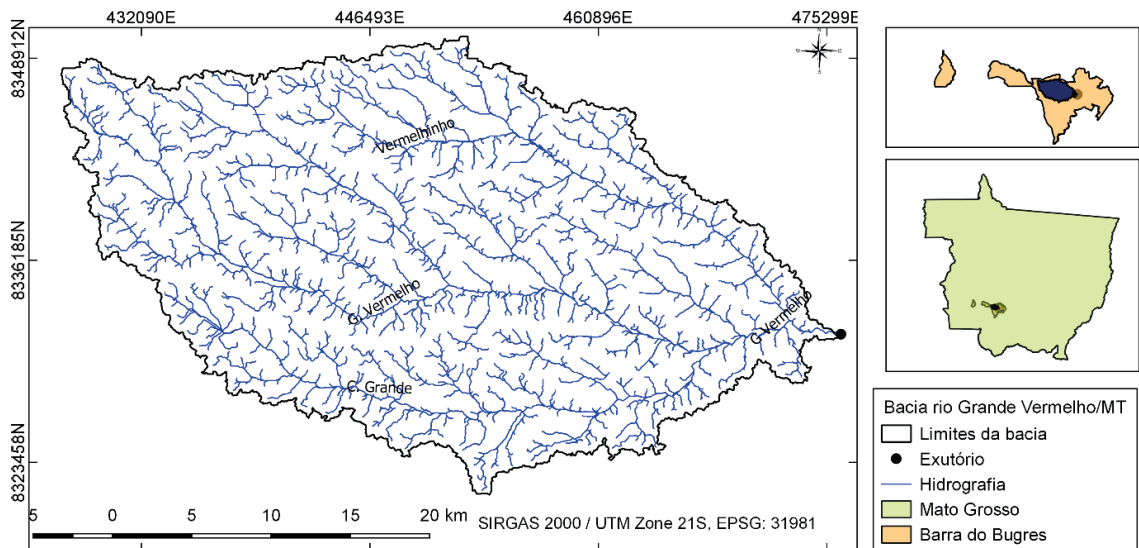


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho

O clima da região é classificado (Classificação de Köppen) como tropical úmido megatérmico (AW), também chamado de clima quente semiúmido. A região é caracterizada por conter duas estações bem definidas, uma seca, compreendendo os meses de maio a setembro, e outra chuvosa, entre os meses de outubro a abril, com um regime hídrico anual de 1800 mm e temperatura média anual de 24,4°C (Dallacort et al., 2011).

O relevo da região é caracterizado por predominância de planícies, com algumas áreas levemente onduladas, contendo solo predominantemente de areias quartzosas, além de, latossolos e cambissolos, de baixa fertilidade, teor razoável de alumínio trocável e acidez moderada (Pessoa et al., 2014).

## 2.2 Morfometria da bacia hidrográfica

Utilizou-se dados topográficos disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS) no Modelo Digital de Elevação (MDE) no formato raster do tipo SRTM 30 (Shuttle Radar Topography Mission, com resolução de 30 m) para a delimitação da bacia no software livre QGIS 2.18.0. Para tanto, o MDE foi retroprojetado para o sistema de coordenadas planas, e através da extensão TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) a área da bacia foi delimitada automaticamente. Seguiu-se a metodologia utilizada por Silva *et al.* (2017).

## 2.3 Análise morfométrica

A análise morfométrica consistiu na caracterização de algumas variáveis físicas, as quais compõem as características geométricas, da rede de drenagem e as características do relevo, conforme apresentado no Quadro 1.

Variáveis	Unidades
<b>Características geométricas</b>	
Área	km <sup>2</sup>
Perímetro	km
Fator de forma (F)	adimensional
Coefficiente de compacidade (Kc)	adimensional
Índice de circularidade (IC)	adimensional
<b>Características da rede de drenagem</b>	
Comprimento do curso d'água principal	km
Densidade de drenagem (Dd)	km.km <sup>-2</sup>
Ordem dos cursos d'água	adimensional
Coefficiente de manutenção (Cm)	km <sup>2</sup> .km <sup>-1</sup>
<b>Características do relevo</b>	
Altitude máxima	m
Altitude mínima	m
Declividade média da bacia	%
Índice de sinuosidade	%

Quadro 1: Características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Grande Vermelho, MT.

O fator de forma (F) indica a propensão de enchentes em bacias hidrográficas, relacionando o formato da bacia com de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (Eq. 1). Bacias com fator de forma baixo possuem menos chances de ocorrerem enchentes do que bacias do mesmo tamanho, mas, com fator de forma alto (Vilela; Matos, 1975).

$$F = \frac{A}{L^2} \quad \text{Equação (1)}$$

Sendo, F o fator de forma, A a área da bacia (km<sup>2</sup>), L o comprimento axial da bacia (km).

O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona o formato da bacia com a de um círculo, utilizando a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual da bacia (Eq. 2). Valores próximos de uma unidade indicam uma bacia hidrográfica com formato aproximado de um círculo (Tonello et al., 2006).

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad \text{Equação (2)}$$

Sendo, Kc o coeficiente de compacidade, P o perímetro da bacia (km), A a área da bacia (km<sup>2</sup>).

O índice de circularidade (IC) corresponde ao grau de alongamento da bacia, o seu valor aproxima-se de uma unidade em bacias com formato circular, e diminui em bacias com formato alongado. Para isto utilizou-se a Equação 3.

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad \text{Equação (3)}$$

Sendo, IC o índice de circularidade, A a área da bacia (km<sup>2</sup>), P o perímetro da bacia (km).

A densidade de drenagem (Dd) indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, fornecendo a eficiência de drenagem da bacia (Cardoso et al., 2006), através da relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais, perenes, intermitentes ou temporários, e a área da bacia (Eq. 4).

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo, Dd a densidade de drenagem (km.km<sup>-2</sup>), Lt o comprimento total dos canais (km), A a área da bacia (km<sup>2</sup>).

A ordem dos cursos d'água foi obtida automaticamente, conforme a hierarquia proposta por Strahler (1957), em que todos canais sem tributários são considerados de primeira ordem, a confluência de dois canais de primeira ordem gera um canal de segunda ordem, a união de dois canais de segunda ordem forma um canal de terceira ordem, e assim sucessivamente. A união de um canal de determinada ordem a um canal de ordem superior não altera a sua ordem.

O coeficiente de manutenção (Cm) representa a área mínima necessária para manutenção de um metro de escoamento permanente, é expresso como o inverso da densidade de drenagem (Eq. 5).

$$Cm = \frac{1}{Dd} \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo, Cm o coeficiente de manutenção (km<sup>-2</sup>.km), Dd a densidade de drenagem (km.km<sup>-2</sup>).

A altitude e declividade média foram obtidas diretamente no software livre QGIS 2.18.0 através do processamento do MDE, por meio do comando Plugin Elevation para as altitudes e o comando GRASS:r.slope.aspect para a declividade média. Posteriormente, a declividade foi classificada de acordo com as classes propostas pela Embrapa (1979), conforme apresentado no Quadro 2.

Declividade (%)	Discriminação
0 – 3	Relevo plano
3 – 8	Relevo suavemente ondulado
8 – 20	Relevo ondulado
20 – 45	Relevo fortemente ondulado
45 – 75	Relevo montanhoso
> 75	Relevo escarpado

Quadro 2: Classes de declividade e discriminação das classes de relevo

O índice de sinuosidade ( $I_s$ ) indica o grau de sinuosidade da bacia, expresso pela relação entre o comprimento do canal principal com a distância vetorial deste (Eq. 6), relaciona-se diretamente com a velocidade de escoamento, portanto, em canais muito sinuosos a velocidade de escoamento reduz-se (Villela e Mattos, 1975).

$$I_s = \frac{100 \times (L - Ev)}{L} \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo,  $I_s$  o índice de sinuosidade (%),  $L$  o comprimento do canal principal (km),  $Ev$  o equivalente vetorial medido em linha reta (km).

Em seguida, foi determinada a classe de sinuosidade conforme a classificação sugeria por Christofolletti (1981), dividida em cinco classes, conforme apresentado no Quadro 3.

Classe de Sinuosidade	Discriminação
I = <20%	Muito reto
II = 20 – 29,9%	Reto
III = 30 – 39,9%	Divagante
IV = 40 – 49,9%	Sinuoso
V = <50%	Muito Sinuoso

Quadro 3: Classes de sinuosidade e discriminação grau de sinuosidade

### 3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho possui área de 867,76 km<sup>2</sup>, com perímetro de 242,98 km, com um curso d'água principal de 60 km de comprimento, demonstrando ser uma bacia de extensão mediana, evidenciando sua importância para a contribuição hídrica do pantanal mato-grossense. As características morfométricas da bacia do rio Grande Vermelho estão apresentadas na Tabela 1.

Características morfométricas	Resultados
Área (km <sup>2</sup> )	867,76
Perímetro (km)	242,98
Fator de forma	0,35
Coeficiente de compacidade	2,30
Índice de circularidade	0,18
Comprimento do curso d'água principal (km)	60,00
Densidade de drenagem (km.km <sup>-2</sup> )	1,45
Ordem dos cursos d'água	6
Coeficiente de manutenção (km <sup>2</sup> /km)	0,69
Altitude máxima (m)	264
Altitude mínima (m)	150
Declividade média da bacia (%)	3,11
Índice de sinuosidade (%)	16,43

Tabela 1: Características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Grande Vermelho, MT.

O fator de forma apresentou um valor muito baixo (0,35), enquanto o coeficiente

de compacidade demonstrou-se distante de uma unidade (2,30), valores estes que indicam formato alongado da bacia. Conforme Cardoso et al. (2006) bacias com formato alongado são menos propensas a enchentes do que bacias circulares, haja vista que nestas bacias a precipitação possa ocorrer em toda a extensão simultaneamente, gerando maior concentração de água.

O índice de circularidade comprova o formato alongado da bacia, tendo em vista apresentar valor muito distante de uma unidade (0,18). Sendo assim, conforme as características morfométricas, pode-se inferir que, quanto a sua forma, a bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho não tem propensão a enchentes em condições normais de precipitação. Em estudos semelhantes, Silva et al. (2016) observaram para a bacia hidrográfica do rio das Pitãs, e Bruno (2017) para a bacia hidrográfica do rio Ariranha, ambas em Mato Grosso, morfometria similar ao rio Grande Vermelho, com formato alongado e pouca possibilidade de ocorrência de enchentes. Desta forma, o formato da bacia proporciona a possibilidade de realizar um correto planejamento do uso e ocupação nos arredores bacia, de forma a não gerar prejuízos futuros relacionados a eventos de enchentes e inundações.

A densidade de drenagem está fortemente relacionada com a velocidade de escoamento superficial da bacia e a eficiência no desenvolvimento do sistema de drenagem (Cardoso et al., 2006). A densidade de drenagem na bacia do rio Grande Vermelho foi 1,45 km km<sup>-2</sup>, segundo Villela e Mattos (1975), caracteriza-se de drenagem regular, pois enquadra-se na classe de 0,5 a 1,5 km.km<sup>-2</sup>, sendo assim, a bacia possui baixa eficiência em seu sistema de drenagem. Conforme Tonello et al. (2006) bacias hidrográficas que apresentam valores baixos de densidade de drenagem geralmente associam-se com regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico de baixa intensidade ou pouca concentração. A região em estudo possui baixa intensidade de chuvas, concentrada em apenas alguns meses do ano (Dallacort et al., 2011), confirmando a relação apresentada por Tonello et al. (2006). Silva et al. (2016) ainda destacam a relação entre a densidade de drenagem e a declividade, em declives menores obtém-se velocidade de escoamento superficial baixa, gerando menor densidade de drenagem. Desta forma, a densidade de drenagem apresentou-se coerente com o padrão observado em bacias pantaneiras, caracterizadas por terrenos planos e rios com correntezas leves.

A ordem dos cursos d'água determina o grau de ramificação do sistema de drenagem da bacia hidrográfica (Tonello et al., 2006). A bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho é uma bacia de 6ª ordem, possuindo maiores ramificações do sistema de drenagem. O coeficiente de manutenção evidencia áreas de recarga, podendo ser associada ao índice de impermeabilização do solo e ao tipo de substrato rochoso, permitindo avaliar o risco de disponibilidade hídrica (Ataíde *et al.*, 2017). Os resultados obtidos indicam que são necessários 0,69 km<sup>2</sup> de área para manter cada quilômetro de escoamento permanente da Bacia hidrográfica do Rio Grande Vermelho.

A bacia do rio Grande Vermelho possui altitude máxima de 264m e mínima



de 150m (Figura 2), corroborando para as características predominantes do relevo da região e temperaturas médias assinaladas. Segundo Castro Junior (2001), em áreas de altitudes baixas, quase toda a energia absorvida é usada na evaporação da água, propiciando a ocorrência de maior evaporação, sendo que o inverso ocorre para altitudes altas. A altitude está diretamente relacionada com radiação recebida na bacia, influenciando a temperatura, evapotranspiração e precipitação (Pinto, 2015). Conforme Santos et al. (2007) para o correto uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas é necessário observar as áreas elevadas e declivosas, tornando possível o planejamento e manejo da área, de forma a obter a melhor utilização da aptidão das terras.

A declividade representa o comportamento de escoamento superficial, em que por ação da gravidade a água escoar até as cotas mais baixas, influenciando na velocidade do escoamento e no tempo de concentração da água (Villela e Mattos, 1975).

Analisando a bacia do rio Grande Vermelho, declividade média apresentada é de 3,11%, caracterizada com relevo suavemente ondulado, condizente com o relevo predominante plano da região (Figura 3). De acordo com Christofletti (1981), o aumento da declividade de um terreno provoca um aumento nos valores de textura topográfica e densidade de drenagem, no entanto, os resultados confirmam a relação demonstrada por Silva et al. (2016), no qual declives menores geram menor densidade de drenagem.

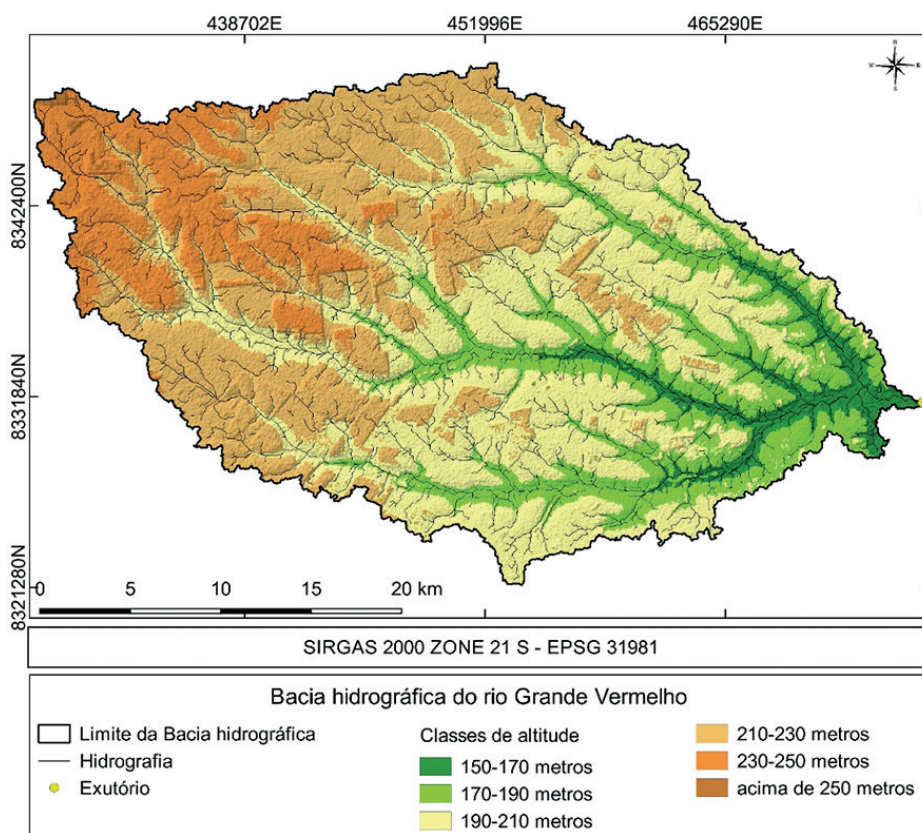


Figura 2: Mapa de altitude da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho

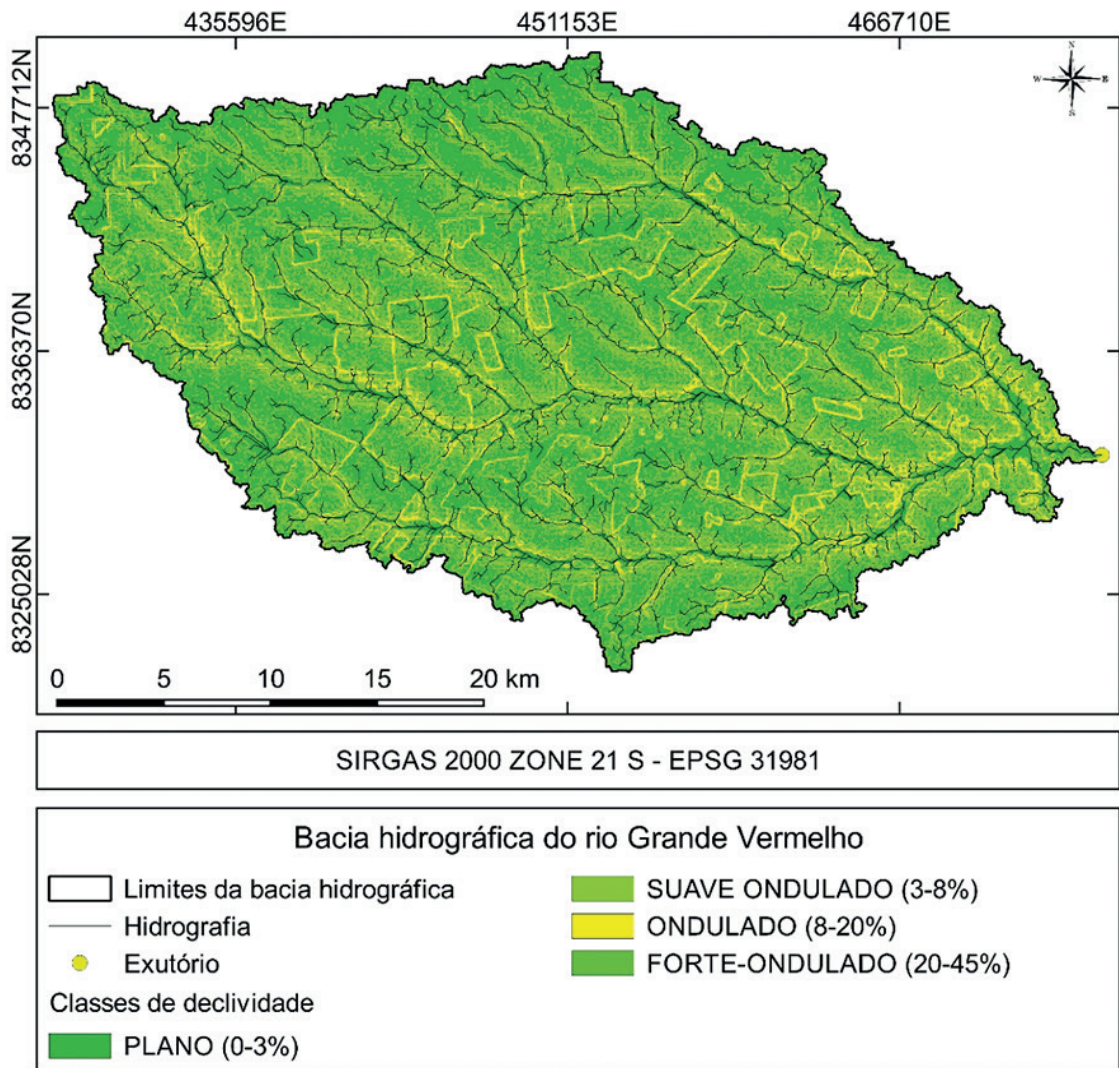


Figura 3: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho

O índice de sinuosidade da bacia do rio Grande Vermelho é de classe I, muito reto. Este resultado relaciona-se diretamente com a velocidade de escoamento, portanto, a velocidade de escoamento nesta bacia é maior devido sua tendência retilínea (Villela e Mattos, 1975). Essa característica favorece um maior transporte de sedimentos, corroborando com os estudos os quais demonstram que, a planície alagável do Paraguai está sendo assoreada pelos sedimentos destes leques, que sobre ela progradam (Assine, 2003).

As análises realizadas no presente estudo demonstram a importância das características morfométricas para a gestão de bacias hidrográficas, indicando um padrão de seu comportamento, fornecendo subsídios para melhor direcionamento das ações de planejamento urbano e para a adequação do uso e ocupação da terra em conformidade com a sua capacidade, amenizando situações de riscos, favorecimento de infiltração de água no solo e a redução do escoamento superficial (Almeida et al., 2017; Santos et al., 2012)

O estudo também demonstrou que a utilização do software livre QGIS, com

auxílio de seus complementos, apresentou-se como uma alternativa simples e gratuita para a realização da caracterização de bacias hidrográficas, demonstrando-se uma ferramenta útil para o gerenciamento de recursos naturais baseado no desenvolvimento sustentável, fornecendo subsídios para auxiliar os planejadores e tomadores de decisão quanto a bacias hidrográficas.

#### 4 | CONCLUSÕES

A bacia do rio Grande Vermelho possui extensão mediana, com um formato alongado, de baixa susceptibilidade a enchentes, o que proporciona possíveis usos e ocupações em seus arredores, de forma a não gerar prejuízos futuros decorrentes de enchentes e inundações. A densidade de drenagem é caracterizada como um sistema de drenagem regular, propiciando baixa velocidade de escoamento, em coerência com as bacias pantaneiras.

Características, como a tendência retília da bacia do rio Grande Vermelho, que favorecem o transporte de sedimentos ao longo de seu curso, e um relevo com tendência plana, aliado a ações antrópicas degradantes, como uso e cobertura da terra inadequado, seja por pastagens, degradação de matas ciliares, entre outros, podem contribuir para o assoreamento dos rios desta bacia e daqueles em que deságua.

Este trabalho permite a avaliação dos componentes morfométricos de forma integrada, e sempre que estes dados são considerados, viabiliza o estabelecimento de relações com o uso e ocupação do solo ao longo de seu curso, auxiliando a aplicação de estratégias de gestão e planejamento ambiental, possibilitando o manejo adequado e a sustentabilidade ambiental.

#### 5 | AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT (Edital 041/2016).

#### REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. T.; ABREU, M. C.; FRAGA, M. S.; SILVA, D. D.; CECÍLIO, R. A. Aspectos morfométricos relacionados ao estudo de enchentes na Bacia do Rio Sapucaí, Minas Gerais. **Revista Nativa**, v. 5, n. 3, p.169-174, 2017.

ANTONELI, V.; THOMAZ, E. L.; Caracterização do meio físico da bacia do arroio Boa Vista - Guaramiranga (PR). **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 21, jun. 2007.

ASSINE, M. L.; Sedimentação na bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil. 2003.

x, 106 f. **Tese** (livre-docência) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2003.

ATAÍDE, L. C. P.; RODRIGUES, R. S. S.; PESSOA, F. C. L.; Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste paraense. **Rev. Brasileira de Gestão Ambiental**. V. 11, n.1, p. 130-138, 2017.

BRUNO, L. O. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ariranha, em Mato Grosso. In: Congresso Nacional de Meio Ambiente, 14., 2017, Poços de Caldas. **Anais...** Minas Gerais: 2017.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006.

CASTRO JR., E. O papel da fauna endopedônica na estruturação física dos solos e o seu significado para a hidrologia de superfície. 2001. 150 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia Fluvial. São Paulo: **Edgard Blücher**, 1981, 297 p.

DALLACORT, R.; MARTINS, J. A.; INOUE, M. H.; FREITAS, P. S. L.; COLETTI, A. J. Distribuição das chuvas no município de Tangará da Serra, médio norte do Estado de Mato Grosso, Brasil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, n. 2, p. 193-200, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Revista Geografia Acadêmica**. v. 2 n. 2, p. 73-83, 2008.

PESSOA, S. P. M.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Mapeamento do uso e ocupação da floresta aluvial no rio Paraguai - Barra do Bugres/Mato Grosso. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 66, v. 6, p. 1295-1303, 2014.

PINTO, V. R. Caracterização morfométrica e capacidade de uso da terra da Bacia Hidrográfica do rio Sararé, sudoeste do Estado do Mato Grosso. 2015. 87p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2015.

SANTOS, D. B.; VIDOTTO, M. L.; BERTINATTO, R.; MARCON, G. R. S.; FRIGO, E. P. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São José, Cascavel, PR. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 5, n. 2, p. 7-12, 2012.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do Córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. **Revista Árvore**, v.31, n.5, p.931-940, 2007.

SANTOS, S. O.; CARNEIRO, A. S.; LOBÃO, J. S. B. Análise de parâmetros morfométricos aplicados para a caracterização de uma bacia hidrográfica. Em Simpósio regional de geoprocessamento e sensoriamento remoto, 8, 3-6 Out., Salvador. **Anais**, UFBA, 2017. p. 1-5.

SILVA, C. V. T.; RIBEIRO FILHO, J. C.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; BRASIL, J. B. Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.25, n.5, p. 436-444, 2017.

SILVA, R. M.; COSTA, A. L. R.; SILVA, G. M. S.; SOUZA, C.; TEIXEIRA, N. C.; SILVA, A. R. C. B. Análise das características morfométricas da bacia hidrográfica rio das Pitas. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 6., 2016, Cuiabá. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária: INPE, p.

307-315. 2016.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. Transactions, **American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B.; O Conceito de Bacia Hidrográfica e a Importância da Caracterização Morfométrica para o Entendimento da Dinâmica Ambiental Local. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 137-156, jan. 2007. ISSN 2527-2675..

TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A. S.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975, 245 p.



## BALANÇO HÍDRICO DA BACIA DO ALTO PARAGUAI POR MEIO DE DADOS TRMM E MOD16A2

### **Hudson de Azevedo Macedo**

Universidade Estadual de Maringá–UEM.  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de  
Ambientes Aquáticos Continentais – PEA.  
Maringá-PR.

### **José Cândido Stevaux**

Universidade Estadual de Maringá–UEM.  
Programa de Pós-Graduação em Ecologia de  
Ambientes Aquáticos Continentais – PEA.  
Maringá-PR.  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –  
UFMS.  
Campus Três Lagoas – Geografia.  
Três Lagoas-MS.

### **Ivan Bergier**

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária –  
EMBRAPA.  
EMBRAPA Pantanal.  
Corumbá-MS.

### **Aguinaldo Silva**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul –  
UFMS.  
Campus do Pantanal – Geografia.  
Corumbá-MS.

**RESUMO:** O armazenamento de água de uma bacia de drenagem determina sua segurança hídrica. A quantidade de água retida na bacia pode ser medida por meio do cálculo do balanço hídrico, definido pela entrada de água

subtraída das saídas. As medidas de entrada e saída hídrica em uma bacia de drenagem são onerosas, o que torna o uso de dados de sensoriamento remoto uma ferramenta de grande impacto socioeconômico para este fim. Somado a isto, tem-se que estudos de disponibilidade hídrica com sensores orbitais são relativamente escassos para a Bacia do Alto Paraguai (BAP). Dessa forma, a partir do processamento de dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) e de evapotranspiração do *MODIS Global Evapotranspiration Project* (MOD16), o presente trabalho traz uma estimativa do balanço hídrico da BAP com sensores orbitais. Para tanto, foi criada no ArcGIS 10 uma ferramenta no *ModelBuilder*. Os resultados indicam que a BAP possui um superávit hídrico anual entre 2000 e 2014, muito embora os parâmetros hídricos anuais sejam pouco correlacionados. No entanto, pode haver fenômenos atmosféricos-climáticos que maximizam a correlação entre os parâmetros hidrológicos e a anomalia de temperatura com atrasos de 2 a 5 anos, teleconexões defasadas com QBO e ENSO.

**PALAVRAS-CHAVE:** hidrologia, Pantanal, processamento de imagens, QBO, ENSO.

**ABSTRACT:** Water storage in a drainage basin determines its hydric security. The quantity of water retained in the watershed can be measured

by means of the water balance calculation. This balance can be defined by the input of water subtracted from the outputs. However, for the Pantanal, the measurements of water inlet and outlet are expensive, which makes the use of remote sensing data a high impact tool with sharp socioeconomic advantages. Studies of water availability with orbital sensors are relatively scarce in the Upper Paraguay Basin (BAP). Thus, this work is an attempt to estimate the BAP water balance using rainfall and evapotranspiration remote sensing data from the Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) and the MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16), respectively. For that purpose, a ModelBuilder tool was developed in ArcGIS 10. The results indicate that BAP has an annual surplus of water between 2000 and 2014, but water parameters seem weakly correlated at annual basis. However, there may be atmospheric-climatic phenomena that maximize the correlation between the hydrological parameters and the temperature anomaly with delays of 2 to 5 years, suggesting lagged teleconnections with QBO and ENSO.

**KEYWORDS:** image processing, hydrology, Pantanal, QBO, ENSO.

## 1 | INTRODUÇÃO

Mudanças espaço-temporais do balanço hídrico em larga escala determinam a segurança hídrica de bacias hidrográficas. O balanço hídrico é definido pela relação entre influxos de água subtraídos pela água que deixa o sistema. O saldo líquido é expresso por  $\Delta S = P - ET - Q_s$  [Eq.1], em que  $\Delta S$  é a mudança líquida do volume de água armazenado;  $P$  é a precipitação ( $V_{input}$ );  $ET$  é a evapotranspiração ( $V_{output}$ ); e  $Q_s$  é a descarga na saída da bacia (exutório/ $H_{output}$ ).

A medição de variáveis de observação terrestre de larga escala é onerosa em bacias hidrográficas devido a dificuldades de acesso e na manutenção de equipamentos. Como resultado, os dados de sensoriamento remoto, via satélite, tornaram-se muito úteis e uma fonte confiável de dados hidrológicos da superfície terrestre. Além disso, várias bacias de drenagem no Brasil têm limitações de dados hidrológicos *in situ* e a maioria dos estudos é realizada apenas em áreas pequenas ou baseadas em abordagens simplificadas (Galdino; Clarke, 1997; Nunes et al., 2016); exceto em recente trabalho, em que todas as estações pluviométricas disponíveis foram usadas para estudar mudanças de longo prazo no Pantanal (Bergier et al., 2018).

Em geral, estudos da hidrologia da Bacia do Alto Paraguai (BAP) contam apenas com medições *in situ* de estações de medição (precipitação, cota e vazão fluvial), sendo a estação fluvial de Ladário a principal referência, já que fornece dados do nível do rio Paraguai de 1900 aos dias atuais. Exemplos de tais estudos são os desenvolvidos por Hamilton et al. (1996), Clarke et al. (2003), Prass et al. (2012) e Bergier (2013). Em outro estudo, o Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro et al., 1998) em imagens de índice de vegetação do MODIS foi desenvolvido para estudar e quantificar a dinâmica de inundação do Pantanal (Padovani, 2010). Outros autores utilizaram

modelos numéricos ou baseados em processos para simular rotas de escoamento e de vazão de água para toda a BAP por meio de interpolação de dados meteorológicos (Bravo et al., 2012; Paz et al., 2014).

Até o momento, poucas pesquisas foram realizadas no intuito de obter o balanço hídrico da BAP utilizando dados orbitais (e.g. Penatti et al., 2015). Sob essas perspectivas, o presente artigo traz novas informações para a compreensão do regime hidrológico da BAP, propondo um novo método de calcular o balanço hídrico, o qual, em linhas gerais, reflete o estado ou condição hidrológica de todo o Pantanal. O objetivo deste trabalho é fornecer, além de o balanço hídrico da bacia, uma ferramenta que auxilie nos cálculos de precipitação e evapotranspiração anual. A proposta é realizar o balanço hídrico (c.f. Eq.1) da bacia de drenagem do rio Paraguai com área de captura determinada em função da estação fluviométrica de Porto Murtinho (Figura 1).

Portanto, objetivo principal deste trabalho é estimar o balanço hídrico anual da bacia de drenagem do rio Paraguai com exutório na estação fluviométrica de Porto Murtinho. O objetivo secundário é apresentar uma nova metodologia para estimar o balanço hídrico com base em dados orbitais de precipitação e evapotranspiração nesta bacia hidrográfica, aqui considera como sendo a BAP.

O BAP tem seu exutório na fronteira entre o Brasil e o Paraguai, possuindo superfície de aproximadamente 600.000 km<sup>2</sup> em terras do Brasil, Bolívia e Paraguai. No Brasil, ocupa 362.376 km<sup>2</sup>, dos quais 48 % estão no estado do Mato Grosso e 52 % no estado do Mato Grosso do Sul (Silva, 2010). A área da bacia delimitada neste estudo é um pouco menor, já que possui exutório a montante da foz do rio Apa: 583.798,25 km<sup>2</sup>.

Essa bacia possui três regiões bem distintas, o Planalto, o Pantanal e o Chaco (Figura 1). O Planalto é uma região alta com elevação superior a 200 m e pode chegar a 1400 m de altitude. Possui drenagem bem definida e convergente localizada na porção leste e norte do BAP, quase inteiramente em território brasileiro.

O Pantanal é uma região mais baixa, localizada no centro da bacia, onde os rios inundam as planícies e alimentam um complexo sistema de drenagem distributária que inclui milhares de lagos, córregos divergentes e multicanaís (*anabranching*) e áreas de inundação e escoamento sazonais. O Chaco, um sistema de drenagem endorreico ou indefinido que termina em pântanos e lagos, está localizado na fronteira oeste do Brasil e tem uma precipitação anual menor que 1000 mm.

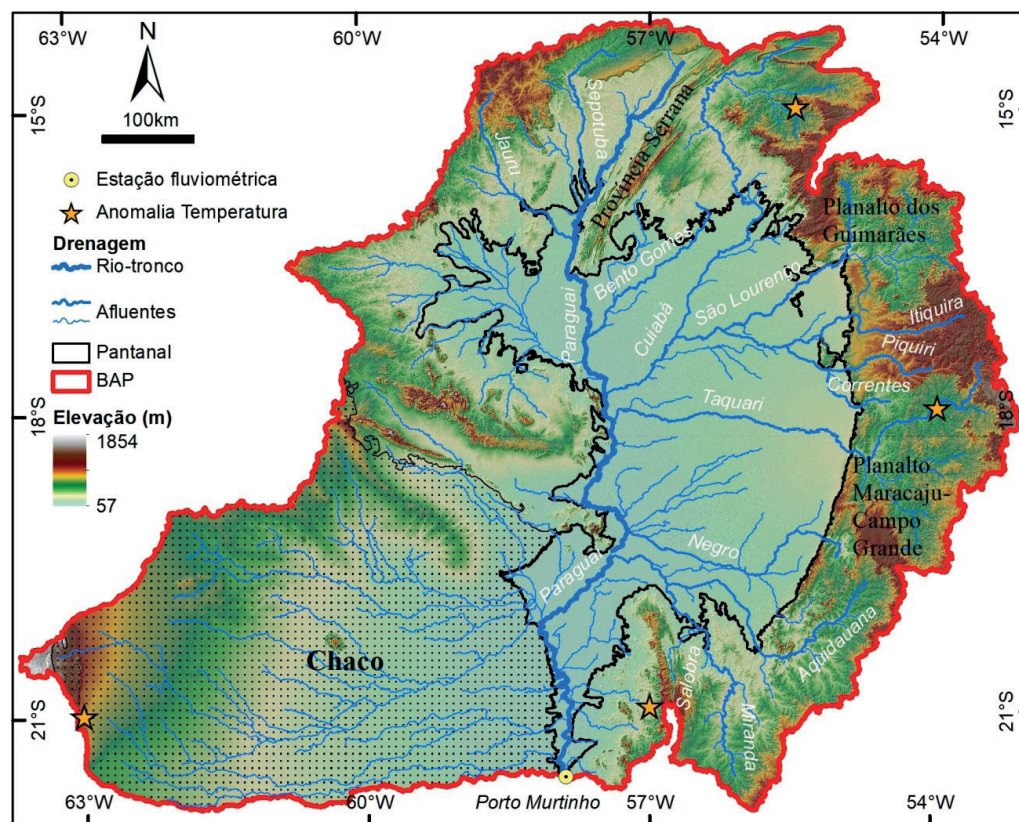


Figura 1 - Bacia de drenagem do rio Paraguai com exutório na estação fluviométrica de Porto Murtinho. Rede de drenagem e limite da bacia obtidos por meio de método automático (ESRI, 2010). Dados de elevação: SRTM 90m. Limites do Pantanal segundo Padovani (2010). Anomalias de temperatura obtidas em NOAA (2018).

## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho realizamos o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Paraguai acima da estação fluviométrica de Porto Murtinho com uso de dados de precipitação ( $V_{input}$ ), evapotranspiração ( $V_{output}$ ) e descarga fluvial ( $H_{output}$ ). Dados de precipitação do *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foram utilizados para computar  $V_{input}$  (Huffman et al, 2007). A evapotranspiração na bacia foi estimada por meio de dados MOD16A2 do *Numerical Terradynamic Simulation Group* – NTSG (Mu et al, 2007; Mu et al, 2011; Mu et al, 2013).

A precipitação foi estimada com uso do produto TRMM-3B43, o qual apresenta valores de taxa de precipitação mensal. Dados de taxa de precipitação do produto 3B43 foram convertidos em precipitação acumulada ( $km^3$ ) por meio da expressão [Eq.2], onde  $P$  é a precipitação acumulada em quilômetros cúbicos ( $km^3$ );  $R$  é a taxa de precipitação dada pelo produto 3B43;  $D$  é o número de dias do mês a ser calculado;  $H$  é o número de horas que um dia possui (24 horas);  $A$  é a área cada pixel do produto 3B43 (tamanho da célula em X vezes tamanho da célula em Y).

Os produtos MOD16A2 do NTSG foram convertidos em  $km^3$  para cada mês em cada ano. Os valores dos pixels foram então integrados para obter a evapotranspiração anual da bacia. Para realização, com sucesso, dos cálculos de balanço hídrico da



BAP, duas ferramentas (modelos) foram desenvolvidas por intermédio do ArcGIS ModelBuilder 10 (ESRI, 2010). Essas ferramentas estão disponíveis para serem utilizadas em outras regiões do mundo (ver Material Suplementar). As Figuras 2 e 3 apresentam uma simplificação do fluxograma das ferramentas e as integrações dos dados que fornecem os mapas de precipitação e evapotranspiração anual.

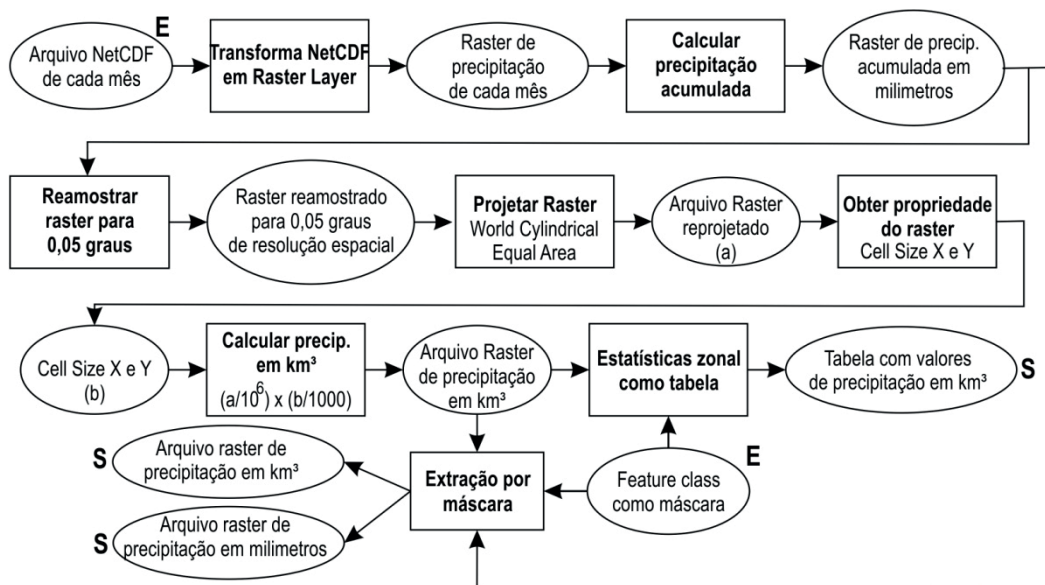


Figura 2 - Fluxograma do modelo para cálculo de precipitação anual. Os retângulos indicam processos e as elipses produtos. As letras “E” e “S” significam parâmetro de entrada e de saída, respectivamente.

A descarga fluvial da bacia ( $H_{output}$ ) foi determinada com uso dos dados de vazão da estação de Porto Murinho, calculados pela curva-chave disponível no site da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018). Gráficos de descargas médias mensais foram construídos a partir de descargas calculadas na estação. O volume total de saída de água da bacia foi calculado como equivalente à área abaixo da vazão média mensal. Os meses foram transformados em segundos e a área foi calculada pelo método da matriz de Gauss:  $Area = \frac{1}{2} |x_1y_2 + x_2y_3 + \dots + x_{n-1}y_n + x_ny_1 - x_2y_1 - x_3y_2 - \dots - x_ny_{n-1} - x_1y_n|$  [Eq.3]; em que x é mês expresso em segundos e y é a vazão expressa em  $m^3/s$ .

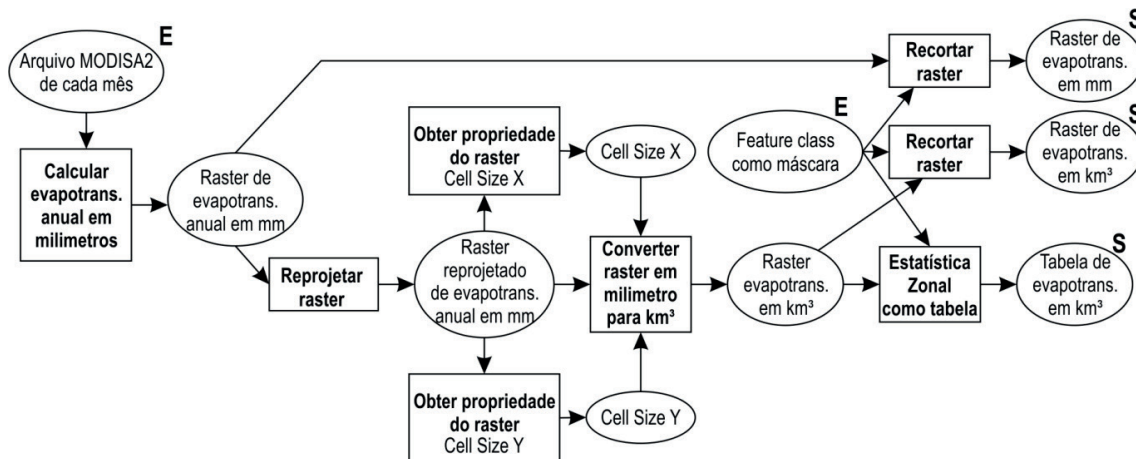


Figura 3 - Fluxograma do modelo de cálculo de evapotranspiração anual. Os retângulos indicam processos e as elipses produtos. As letras “E” e “S” significam parâmetro de entrada e de saída, respectivamente.



### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de precipitação, evapotranspiração, descarga e balanço hídrico anual para os quinze anos medidos, entre 2000 e 2014, estão discriminados na Tabela 1 e Figura 7. As distribuições espaciais da precipitação anual estão apresentadas na Figura 4. As distribuições espaciais da evapotranspiração anual estão apresentadas na Figura 6.

A amplitude de variação interanual da precipitação na BAP foi de 282,5 km<sup>3</sup> (máx em 2014: 874,6 e mín em 2002: 592,1). A precipitação anual média na BAP no período foi de 730 km<sup>3</sup> ( $\sigma = 70,4$ ). A amplitude de variação interanual da evapotranspiração foi de 279,1 km<sup>3</sup> (máx em 2014: 515,2 e mín em 2002: 236,1). A evapotranspiração anual média na BAP foi de 381,8 km<sup>3</sup> ( $\sigma = 105,1$ ). Já a amplitude de variação interanual da descarga da bacia foi de 40,8 km<sup>3</sup> (máx em 2014: 89,3 e mín em 2009: 48,5). A descarga anual média foi de 66,2 km<sup>3</sup> ( $\sigma = 11,9$ ). Em média, a evapotranspiração anual foi 48 % menor que a precipitação anual e a descarga anual foi 91 % e 81 % menor que a precipitação e a evapotranspiração, respectivamente.

Nos quinze anos analisados, o balanço hídrico da BAP foi sempre positivo, indicando que a bacia apresentou superávit hídrico, mesmo nos anos mais secos, como no caso de 2010. O balanço hídrico da BAP permaneceu relativamente constante nos sete primeiros anos analisados (~400 km<sup>3</sup> – Figura 7). A partir de 2007, a bacia teve uma redução do seu armazenamento hídrico, alcançando o menor valor em 2010 (54,61 km<sup>3</sup>). No ano seguinte, o armazenamento elevou-se para ~200 km<sup>3</sup>, mantendo-se assim por dois anos consecutivos e crescendo mais um pouco em 2014 (~70 km<sup>3</sup>). A diminuição do armazenamento na BAP é explicada principalmente pelo aumento da evapotranspiração anual a partir de 2007. Esse aumento da ET também foi reconhecido no trabalho de Penatti et al. 2015, que encontrou, para o Pantanal, um acréscimo de 19 mm/mês na média da ET a partir de novembro de 2006.

Para toda a BAP, apesar de a evapotranspiração anual apresentar baixa correlação com a precipitação anual ( $r=0,236$ ;  $n=15$ ), os mapas de distribuição espacial desses dois parâmetros mostram que há uma tendência geral da primeira ser maior em regiões onde a precipitação é maior e vice-versa (Figuras 4 e 6). Por exemplo, a região do Chaco é a que apresenta as menores taxas anuais de precipitação e evapotranspiração. A correlação entre esses dois parâmetros hídricos da BAP já foi demonstrada no trabalho realizado por Penatti et al. (2015), em que foram analisados valores mensais, ao invés de anuais.

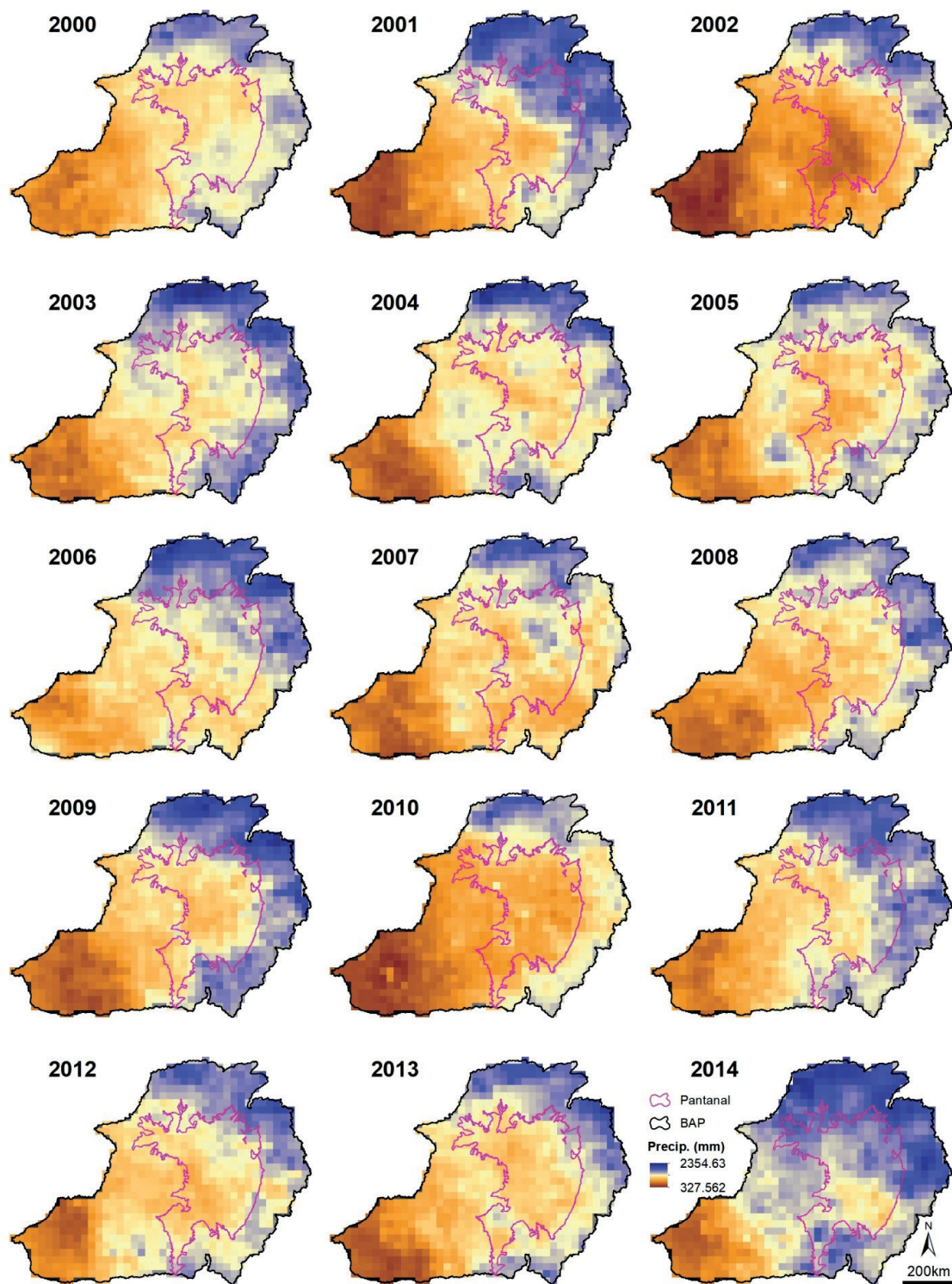


Figura 4 - Precipitação anual em milímetros.

No nosso trabalho foi realizada análise pixel a pixel, que confirma a correlação (espacialmente) existente entre a precipitação e evapotranspiração na BAP (Figura 5). Nessa análise, foi verificado que a evapotranspiração apresenta correlação moderada com a precipitação ( $r=0,438$ ;  $n=11.955$ ) e que aquela aumenta com o aumento desta (relação direta), confirmando o que é previamente observado nos mapas de precipitação e evapotranspiração anuais (Figuras 4 e 6). Das três áreas que compõe a BAP, o Chaco é a que possui a maior correlação entre os dois parâmetros hidrológicos ( $r=0,593$ ;  $n=3.450$ ). O Pantanal ( $r=0,154$ ;  $n=3.015$ ) e o Planalto ( $r=0,007$ ;  $n=5.490$ ) possuem baixa correlação.

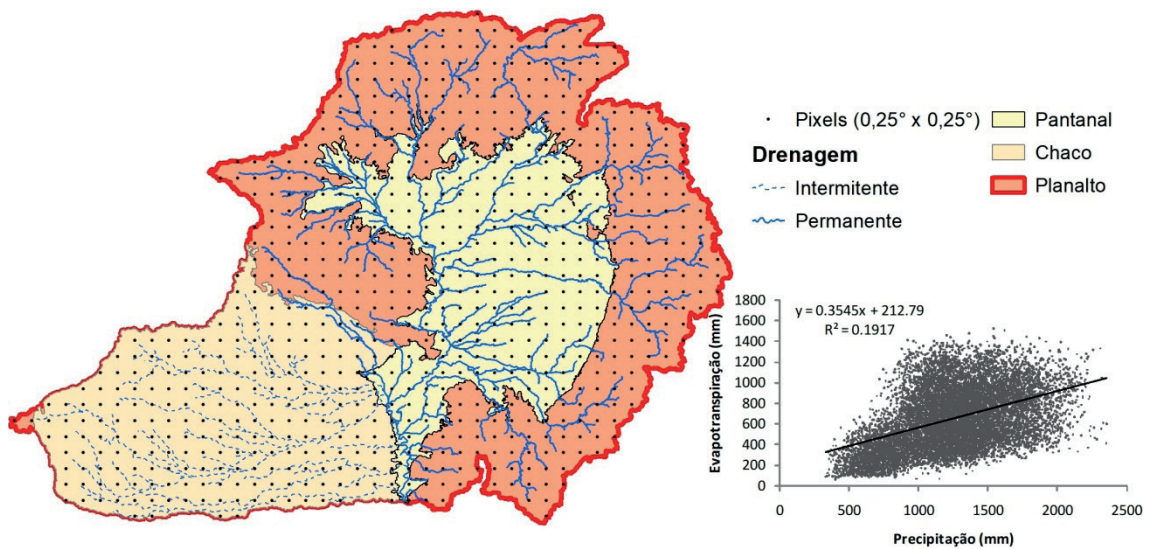


Figura 5 - Análise pixel a pixel da correlação entre precipitação e evapotranspiração (2000 a 2014).

Outra informação que podemos extrair dos mapas é o bem conhecido padrão de precipitações na bacia, em que estas são maiores nos planaltos e menores no Pantanal e no Chaco. Essa distribuição irregular da chuva em toda BAP é fortemente influenciada pelas diferenças no relevo regional que criam um tipo de efeito orográfico (Valeriano et al., 2012; Bergier, 2013) também conhecido como “ventos Fohn ou Foehn” (Elvidge; Renfrew, 2016).

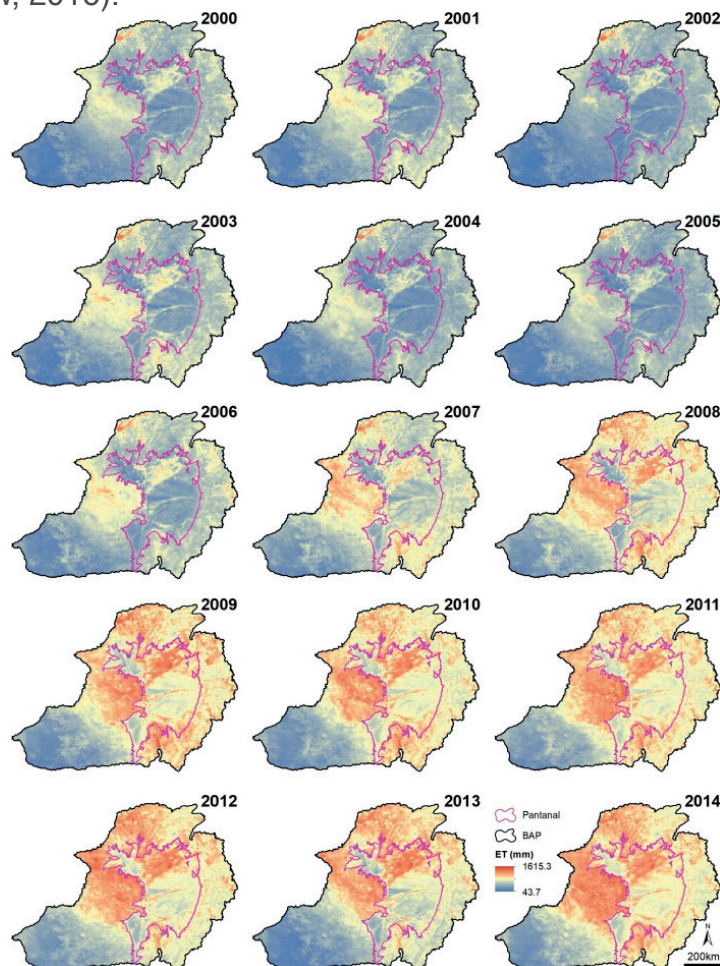


Figura 6 - Evapotranspiração anual em milímetros.



Alguns anos da série analisada apresentaram particularidades. Em 2002, por exemplo, a ET anual foi menor que nos anos anteriores, mas a precipitação foi bem menor, com uma descarga razoavelmente elevada. O ano de 2010 foi particularmente seco, provavelmente pela baixa taxa de precipitação e, principalmente, pela elevada taxa de ET anual. A BAP recupera seu armazenamento hídrico a partir de 2011 pela elevação das taxas de precipitação, apesar do aumento da taxa de evapotranspiração anual. Conforme pode ser observado na Figura 6, o aumento da ET anual não é significativamente correlacionado ao aumento da anomalia de temperatura (AT) na bacia ( $r=0,290$ ;  $n=15$ ). Todavia, a média de AT no período de 2007 a 2014 elevou-se  $0,08$  °C em relação a 2000-2006 (Figura 7), sugerindo uma possível defasagem entre o aumento da temperatura e a ET.

Ano	Precipitação (km <sup>3</sup> )	Evapotranspiração (km <sup>3</sup> )	Descarga (km <sup>3</sup> )	Balanço (km <sup>3</sup> )	Anomalia de temperatura (°C)
2000	721,9	274,0	63,1	384,8	0,105
2001	753,8	297,5	53,1	403,1	0,353
2002	592,1	236,1	68,4	287,6	0,633
2003	784,3	305,0	67,6	411,7	0,140
2004	740,1	260,1	63,1	417,0	-0,013
2005	718,5	254,8	54,5	409,2	0,078
2006	783,6	323,2	73,8	386,7	0,468
2007	685,1	397,6	72,7	214,7	0,160
2008	711,7	457,5	75,4	178,8	-0,030
2009	751,1	489,1	48,5	213,5	0,495
2010	597,2	478,0	64,6	54,6	0,130
2011	775,1	495,0	85,7	194,4	0,320
2012	742,7	493,8	51,4	197,4	0,663
2013	720,2	449,8	62,0	208,4	0,253
2014	874,7	515,2	89,3	270,2	0,668

Tabela 1 - Balanço hídrico da BAP.

Em adição, a análise de correlação cruzada (defasagem) entre AT e os demais parâmetros hídricos sugerem que as correlações são maximizadas com atrasos de tempo de 2 e de 5 anos da temperatura (especialmente para P e ET – Figura 7). Este resultado pode sugerir uma eventual teleconexão da climatologia do Pantanal com fenômenos atmosféricos como a *Quasi Biannual Oscillation* (QBO) e *El Niño Southern Oscillation* (ENSO), respectivamente (Yuan et al., 2014). Contudo, serão necessários novos estudos com séries mais longas de dados para se avaliar essa hipótese.

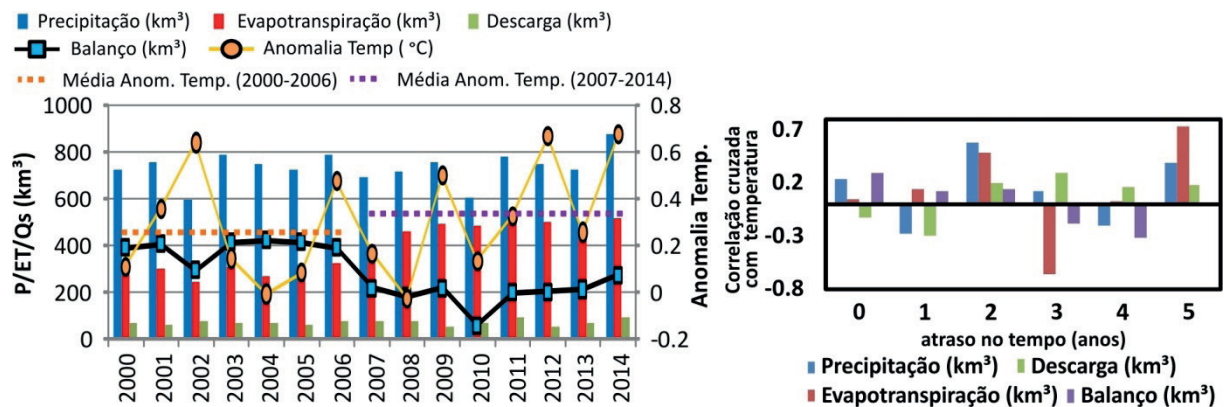


Figura 7 - Parâmetros do balanço hídrico da BAP comparados com variações de temperatura. Dados de anomalia de temperatura obtidos em <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>. Para localização dos pontos de AT ver Figura 1.

#### 4 | CONCLUSÃO

Estudos sobre o balanço hídrico, apesar de escassos, são de suma importância para a compreensão da dinâmica hidrológica e o planejamento de uma bacia hidrográfica. O presente trabalho demonstra que a BAP é uma bacia de drenagem que pode apresentar superávit hídrico.

Os modelos construídos por meio do *ModelBuilder* do ArcGIS 10 (*TRMM Annual Precipitation; MOD16A2 Annual Evapotranspiration*) permitiram estimar com acurácia a precipitação e a evapotranspiração anual da BAP. Com estas ferramentas é possível calcular a precipitação e evapotranspiração anual de qualquer região da Terra, coberta e revisitada por estes sensores orbitais. A otimização nos cálculos se dá principalmente pelo fato de os modelos concatenarem várias etapas de cálculos dos dados utilizados (TRMM e MOD16), que de outra forma (manualmente) demandaria muito tempo, além dos riscos de erros nas várias etapas de cálculo.

Os valores de precipitação anual não apresentaram correlação com os valores de evapotranspiração, talvez pela baixa quantidade de anos medidos (2000 a 2014). Outra constatação importante é que os valores de descarga da bacia também não se correlacionam bem com os outros dois parâmetros medidos neste trabalho.

Os valores de balanço hídrico mostram que há uma tendência geral de diminuição da quantidade de água armazenada na BAP no intervalo de tempo avaliado. Esta tendência pode resultar do aumento da evapotranspiração anual na bacia, que a partir de 2007 alcançou valores próximos a 400 km<sup>3</sup>/ano. Não foi possível determinar com exatidão a causa para o aumento da evapotranspiração na BAP a partir de 2007, mesmo quando considerada mudanças na anomalia da temperatura na bacia. Entretanto, a análise de correlação cruzada sugere que tanto esse parâmetro quanto a precipitação apresentam maiores correlações com a temperatura para defasagens de 2 a 5 anos, possivelmente devido a fenômenos climático-atmosféricos como QBO e ENSO, respectivamente, o que deve ser futuramente abordado e avaliado.



## 5 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 2014/06889-2), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq 443437/2014-9), a Embrapa Macroprograma (SEG 03.17.00.047.00.00) e a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul – FUNDECT (TO: 083/2016) pelo apoio financeiro à nossas pesquisas na Bacia do Pantanal; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão de bolsa ao primeiro (140334/2015-7; 169329/2017-8) e ao segundo autor (304863/2015).

## 6 | MATERIAL SUPLEMENTAR

A ferramenta para calcular precipitação e evapotranspiração anual está disponível em <https://1drv.ms/u/s!ArdUczeHp2hZwEdibH7fkGCPyiAT>. Os arquivos MOD16A2 estão disponíveis em <https://1drv.ms/f/s!ArdUczeHp2hZhyqUeKy4Mw9vMkOF>. Os arquivos TRMM estão disponíveis em <https://1drv.ms/f/s!ArdUczeHp2hZhyz41qJjn-PHEEb5>. Um tutorial para utilização da ferramenta está disponível em <https://1drv.ms/b/s!ArdUczeHp2hZyHLr160uV4BuE5f>.

## REFERÊNCIAS

ANA. **Sistema de Informação Hidrológica**. 2018. Disponível em: [www.hidroweb.ana.gov](http://www.hidroweb.ana.gov). Acesso em 01/06/2018.

Bergier, I.. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of The Total Environment**, v.463-464, p. 1060-1066, 2013.

Bergier, I.; Assine, M. L.; McGlue, M.; Alho, C.; Silva, A.; Guerreiro, R. L.; Carvalho, J.C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of The Total Environment**, v. 619-620, p. 1116-1125, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.11.163.

Bravo, J.; Allasia, D.; Paz, A.; Collischonn, W.; Tucci, C.. Coupled hydrologic–hydraulic modeling of the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Hydrologic Engineering**, v.17, p. 635-646, 2012. DOI: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000494.

Clarke, R. T.; Tucci, C. E.; Collischonn, W.. Variabilidade temporal no regime hidrológico da bacia do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, p. 201-211, 2003.

Elvidge, A. D.; Renfrew, I. A.. The causes of Foehn Warming in the lee of mountains. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 97, n. 3, p. 455-466, 2016. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00194.1.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS 10**. Redlands, California, United States of America, 2010.

Galdino, S.; Clarke, R. T.. **Probabilidade de ocorrência de cheia no Rio Paraguai, em Ladário, MS Pantanal**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1997.

Hamilton, S. K.; Sippel, S. J.; Melack, J. M.. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South

- America determined from passive microwave remote sensing. **Archiv fur Hydrobiologie**, v. 137, p. 1-23, 1996.
- Huffman, G. J.; Adler, R. F.; Bolvin, D. T.; Gu, G.; Nelkin, E. J.; Bowman, K. P.; Bowban, K.P.; Hong, Y.; Stocker, E.F.; Wolff, D.B.. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, p. 38-55, 2007. DOI: 10.1175/JHM560.1.
- Mu, Q.; Heinsch, F. A.; Zhao, M.; Running, S. W.. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. **Remote Sensing of Environment**, v.111, p. 519-536, 2007. DOI:10.1016/j.rse.2007.04.015.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W.. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1781-1800, 2011. DOI:10.1016/j.rse.2011.02.019.
- Mu, Q.; Zhao, M.; Running, S. W.. **MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration (ET) Product (NASA MOD16A2/A3) - Algorithm Theoretical Basis Document: Collection 5**. Missoula: NASA Headquarters. 2013.
- NOAA. **National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series**, published May 2018, retrieved on June 13, 2018 from <https://www.ncdc.noaa.gov/cag/>
- Nunes, M. C.; Neves, S. A.; Neves, R.; Nery, J. T.. Comportamento da precipitação pluvial no município de Cáceres Pantanal Mato-Grossense no período de 1971 a 2011. **Científica**, v. 44, n. 3, p. 271-278, 2016.
- Padovani, C. R.. **Dinâmica das Inundações do Pantanal**. Piracicaba: USP/ESALQ, 2010.
- Paz, A. R.; Collischonn, W.; Bravo, J. M.; Bates, P.; Baugh, C.. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. **Hydrological Processes**, v. 28, p. 3539-3553, 2014. DOI: 10.1002/hyp.9897.
- Penatti, N. C.; Almeida, T.S.R.; Ferreira, L.G.; Arantes, A.E.; Coe, M.T.. Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, v. 170, p. 1-13, 2015. DOI: 10.1016/j.rse.2015.08.031.
- Prass, T. S.; Bravo, J. M.; Clarke, R. T.; Collischonn, W.; Lopes, S. R.. Comparison of forecasts of mean monthly water level in the Paraguay River, Brazil, from two fractionally differenced models. **Water Resources Research**, v. 48, p. 1-13, 2012. DOI:10.1029/2011WR011358.
- Shimabukuro, Y. E.; Novo, E. M. L. M.; Ponzoni, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/viewFile/5057/7206>.
- Silva, A. **Geomorfologia do megaleque do rio Paraguai, Quaternário do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) – UNESP Rio Claro-SP, 2010.
- Valeriano, M. d.; Salvi, L. L.; Aragão, J. R.. Relações entre a distribuição da precipitação e o relevo da bacia do alto Paraguai. In: *Simpósio de Geotecnologias no Pantanal*, 4., 2012, Bonito-MS. **Anais...** São José dos Campos-SP: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2012. p. 289-298.
- Yuan, W.; Geller, M. A.; Love, P. T. ENSO influence on QBO modulations of the tropical tropopause. Quarterly **Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 140, p. 1670-1676, 2014. DOI: 10.1002/qj.2247.

## CARTA HIPSOMÉTRICA DO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE MACAPÁ-AP UTILIZANDO MODELOS DE ELEVAÇÃO DO TOPODATA E O LAF

### **Herondino dos Santos Filho**

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP  
Macapá – AP, Brasil

### **Marcelo José de Oliveira**

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP  
Macapá – AP, Brasil

### **Darren Norris**

Universidade Federal do Amapá – UNIFAP  
Macapá – AP, Brasil

**RESUMO:** Macapá encontra-se na planície do estuário amazônico, onde a baixa altitude é revelada pela tipificação de suas áreas inundadas, localmente chamadas de “ressacas”. Estas áreas de proteção ambiental tornam-se áreas de risco, pois comumente são ocupadas pela população de baixa renda, podendo ainda apresentar um problema mais grave com a elevação do nível do mar. A compreensão de sua elevação em relação ao nível do mar deve ser uma preocupação constante principalmente do setor público para ações resilientes e mitigadoras nas esferas socioambientais. A modelagem numérica do perímetro urbano da cidade pode permitir um planejamento que dê respostas em caso de desastres ambientais, quanto às ações a serem tomadas, pelo conhecimento de sua altimetria. Este trabalho teve como objetivo a elaboração de um mapa altimétrico (hypsométrico) do perímetro urbano

da cidade de Macapá na escala 1:100.000, utilizando os produtos oferecidos pelo INPE como os insumos do TOPODATA, a ferramenta do Laboratório de Agricultura e Floresta - LAF e do software SPRING. Os resultados mostram que a correlação entre os dados LAF e os obtidos pelo TOPODATA são bastante significativos.

**PALAVRAS-CHAVE:** hipsométrico, TOPODATA, LAF, altimetria, ressaca.

**ABSTRACT:** Macapá is a city located on the floodplain of the Amazon estuary, where low altitude results in areas frequently flooded by storm surges, locally known as “ressacas”. However, urban expansion across the floodplains means that these areas of environmental protection are transformed into areas of socio-environmental risk. These “ressaca” areas are commonly occupied by low-income populations, and the risks may become a more serious problem with predicted sea level rise. To enable the development of protection and mitigation actions in the social and environmental spheres a more detailed understanding of the elevation relative to sea level should be a constant concern mainly in the public sector. The numerical modeling of the altitude of the urban perimeter of the city can allow the planning of appropriate response actions in the event of environmental disasters. This study aimed to produce a hypsometric altimetry map of the

urban perimeter of the city of Macapá at 1:100,000 scale, using the products offered by INPE, specifically TOPODATA, a tool from the Agriculture and Forest Laboratory (“Laboratório de Agricultura e Floresta”- LAF) and SPRING software. The results show that the correlations between results of LAF and TOPODATA are highly significant.

**KEYWORDS:** hypsometric, TOPODATA, LAF, altimetry, floodplain.

## 1 | INTRODUÇÃO

Em qualquer estudo que descreva algum tipo de fenômeno espacial, ou de dados que tratam da superfície da terra, não há dúvidas de que a melhor maneira de analisá-los é por meio de uma representação gráfica, de visualização mais tangível, como um mapa ou um modelo numérico de terreno (MNT). Um modelo numérico de terreno (MNT) ou ainda também chamado modelo digital de elevação (MDE), é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre (Câmara et al, 2001). Segundo Valeriano (2008), os modelos digitais de elevação (MDE) são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel.

Uma grande quantidade de dados altimétricos foram disponibilizados para toda América do Sul em meados de 2003, por meio da Missão Topográfica por Radar ou *Shuttle Radar Topographic Mission* - SRTM. A SRTM foi uma missão espacial liderada pela agência espacial americana *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e envolveu as agências espaciais da Alemanha (*Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt* - DLR) e Itália (*Agenzia Spaziale Italiana* - ASI) (Araujo, 2006 apud Valeriano, 2005).

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE por meio da iniciativa TOPODATA, apresentou uma quantidade significativa de variáveis locais derivadas dos dados SRTM para todo o Brasil, que estão disponíveis gratuitamente. Estes dados foram refinados da resolução espacial original de 3 arco-segundos (~90m) para 1 arco-segundo (~30m) pelo método de krigagem (Valeriano, 2008).

O INPE também é o responsável pela disponibilização do Laboratório de Agricultura e Floresta – LAF, que mediante cadastro em sua plataforma virtual, fornece dados de séries temporais MODIS em aplicações de análises de mudanças de uso e cobertura da terra, calcula os valores do índice de vegetação e precipitação. Além de fornecer a visualização dentro do perímetro circunscrito de um determinado raio, a altimetria de qualquer ponto da área de estudo. Segundo Batista Filho et al. (2013), o fácil manuseio e o acesso que o programa LAF oferece constitui uma boa fonte de obtenção de dados altimétricos, tendo o cuidado de respeitar as suas limitações, relacionadas ao uso em altitudes elevadas e distorções com o efeito espelho geradas em vales estreitos, situação não observada na região objeto de estudo desta pesquisa.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi de elaborar um mapa altimétrico – hipsométrico - confiável do perímetro urbano da cidade de Macapá. Segundo Simm (2011), o mapa hipsométrico é um fatiamento em cores da superfície gerada pelo modelo numérico de terreno, ou MDE. Para esse fim será utilizado como instrumentos, insumos e dado SRTM disponíveis no TOPODATA/INPE, o Laboratório de Agricultura e Floresta – LAF e o SPRING 5.3, com o propósito de verificar a elevação média da cidade de Macapá, em especial, das áreas de preservação ambientais denominadas “ressacas”, as quais segundo Santos Filho (2011), abrangem cerca de 20% do perímetro urbano da sede de Macapá. A cidade é capital do estado do Amapá, e está situada na planície do estuário da foz do Amazonas, estando, portanto, sujeita à ação de marés. Em função disso, é comum durante a estação chuvosa e as marés de sizígia a ocorrência de alagamentos, sobretudo, nas áreas mais baixas e de ressaca. O que denota, ainda mais a importância de dados altimétricos como os gerados pelo presente estudo.

As áreas de ressaca são campos de inundação de grande extensão e alimentadas por um sistema complexo de bacias hidrográficas inseridas no perímetro urbano da cidade de Macapá. São espaços de relevante interesse ambiental e urbano, pois funcionam como elementos naturais de drenagem, corredores de circulação de vento, além de abrigar uma biodiversidade característica que agregam qualidade ambiental à cidade. Todavia, vem sendo francamente ocupados pela população de baixa renda, que encontra um espaço “gratuito” para a construção de suas moradias. A falta de políticas públicas para o ordenamento das ressacas, associada à ineficiência de fiscalização vem contribuindo para o aumento da ocupação e degradação socioambiental desses ecossistemas. Segundo Acselrad (2004), a desigualdade ambiental é sem dúvida uma das principais expressões da desigualdade social, em que “os pobres estão mais expostos aos riscos devido à localização de suas residências, mais vulneráveis a enchentes, a ação do esgoto a céu aberto, além do lançamento de rejeitos sólidos”.

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

De forma sistemática e ordenada a elaboração e validação da carta hipsométrica de Macapá, seguiu os seguintes procedimentos metodológicos: delimitação da área de estudo, aquisição de imagem, processamento de imagem, geração de modelo digital de elevação e avaliação do mapeamento.

### 3.1 Delimitação da área de estudo

O perímetro urbano da cidade de Macapá, capital do estado do Amapá, foi objeto de estudo deste trabalho. A área investigada se insere no retângulo envolvente definido pelos paralelos 0° 3' 27" e 0° 6' 45" Latitude sul e norte respectivamente, e meridianos



51° 12' 17" e 51° 0' 15" Longitude oeste (**Figura 1**).

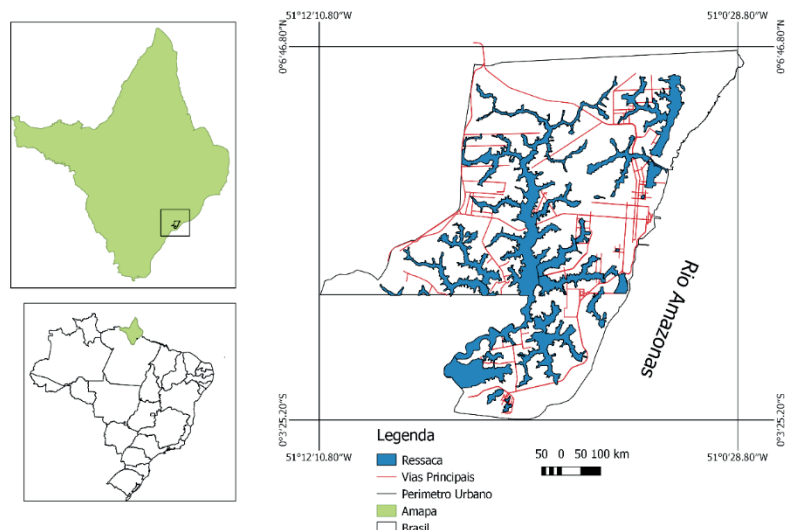


Figura 1. Localização da área de estudo – Macapá-AP

A delimitação desta área foi o primeiro passo para a elaboração do modelo digital de elevação.

### 3.2 Aquisição da imagem

Procedeu-se a aquisição da imagem junto ao Projeto TOPODATA do INPE em seu formato Geotiff. Esses dados foram elaborados a partir dos dados SRTM disponibilizados pelo USGS na rede mundial de computadores (INPE, 2015). Também no INPE se obteve, de forma gratuita, o software SPRING versão 5.3, utilizado em/no processamento das imagens (CÂMARA, 1996).

Os dados estão todos dispostos em quadrículas compatíveis com a articulação 1:250.000, portanto, em folhas de 1° de latitude por 1,5° de longitude. Para a área de estudo obteve-se duas quadrículas, haja vista a peculiaridade da cidade de Macapá ser cortada pela linha do Equador, estando à primeira no hemisfério sul e de notação: 00s525, ou seja, latitude 0° sul e longitude 52° e 30'. Enquanto que a segunda quadrícula se encontra no hemisfério norte de notação: 01n525, ou seja, latitude 1° norte e longitude 52° e 30'.

### 3.3 Processamento da imagem

Após o download da imagem no TOPODATA, e para que a sua leitura fosse feita no SPRING, foi criado um projeto contendo os paralelos 0° 59' 59" e 1° 0' 2" Latitude S e N, respectivamente, e meridianos 52° 29' 59" e 50° 59' 58" Longitude W. Em seguida, foi feito o mosaico com o interpolador vizinho mais próximo e também o seu recorte com o shapefile do perímetro urbano da cidade fornecido por Santos Filho (2013), conforme mostra a **Figura 2**.

Ademais, foi elaborado um novo projeto denominado Macapa, com os seguintes parâmetros:

- Sistema de projeção cartográfica: UTM/DATUM – SIRGAS 2000
- Meridiano central: 51o WGr na Zona: 22
- Coordenadas: GMS e Hemisférios: Norte e Sul;
- Coordenadas do retângulo envolvente:  
o 51° 12' 17"; s 0° 3' 27"(Canto esquerdo inferior)  
o 51° 0' 15"; n 0° 6' 45"(Canto direito superior)

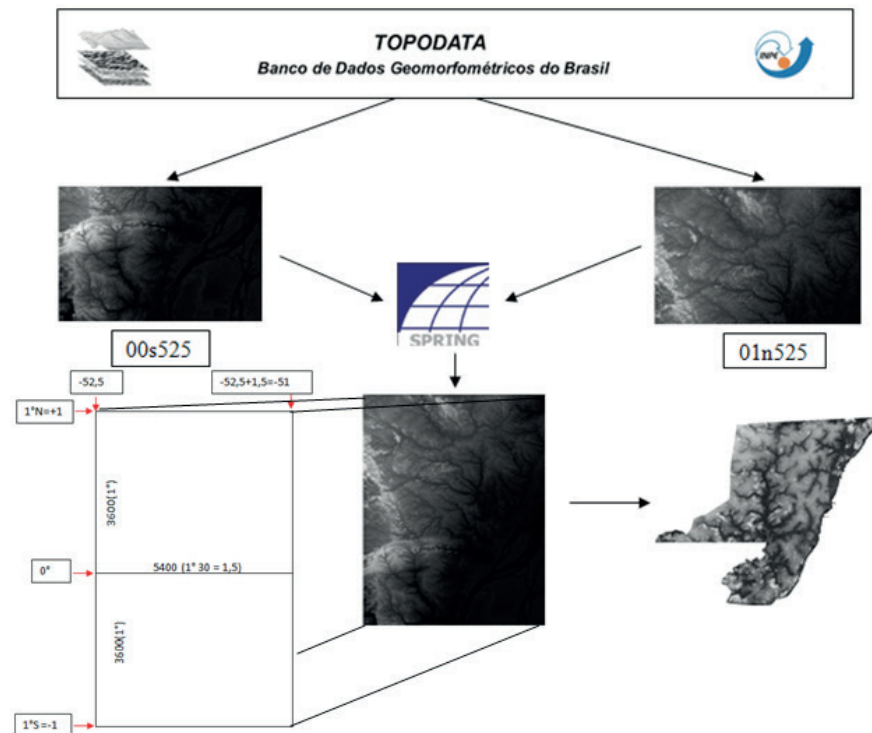


Figura 2. Fluxograma da Criação do Mosaico.

A partir deste novo projeto foi construído o modelo de dados para elaboração do mapa hipsométrico.

### 3.4 Geração do mapa altimétrico (hipsométrico)

A **Figura 3** mostra os procedimentos adotados para o tratamento dos dados obtidos junto ao TOPODATA.

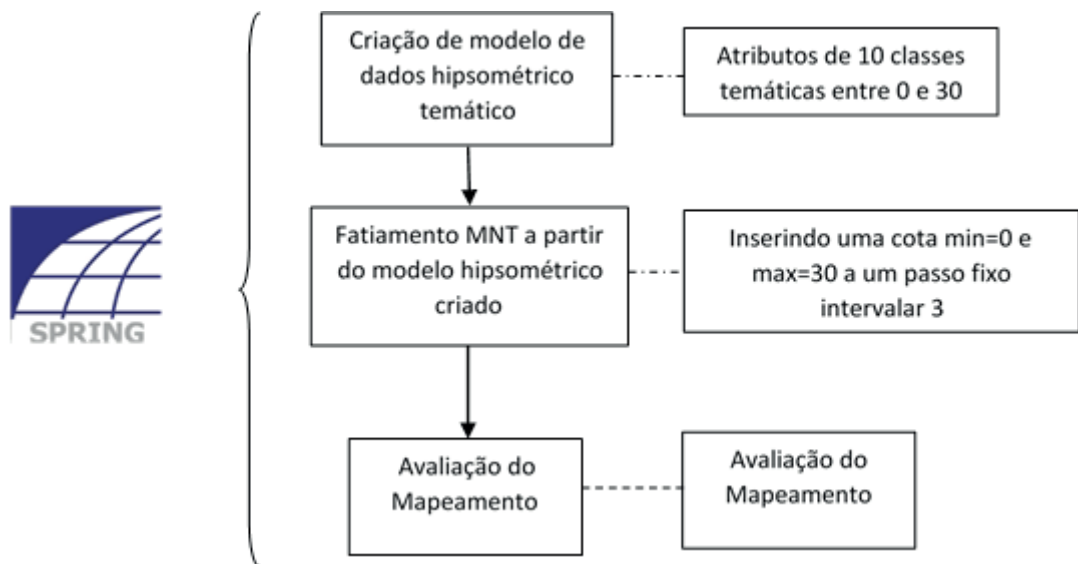


Figura 3. Fluxograma do processamento da imagem Geotiff no SPRING

Inicialmente foi feita a criação do modelo de dados temático e os atributos das suas classes. A seguir, procedeu-se o fatiamento, onde se definiu os limites: do valor da cota mínima (0) e máxima (30 m), baseados em valores próximos dos mínimo e máximo registrados nos dados fornecidos pela própria imagem do TOPODATA. A seguir definiu-se o intervalo de fatiamento em 3 metros, o qual se julgou ser o adequado para a representação de dez classes entre 0 e 30 metros em respectivo intervalo (3m).

### 3.5 Avaliação do Mapeamento

Para dar confiabilidade ao produto cartográfico gerado, os dados do TOPODATA são comparados com os dados fornecidos pelo LAF, gerando modelos de regressão linear simples entre as duas fontes de dados.

A comparação dos dois modelos foi precedida da aquisição de 32 amostras de coordenadas GMS obtidas no LAF, abrangendo toda área do perímetro urbano da cidade de Macapá, e por meio da função de posicionar cursor do Spring e suas operações métricas na carta gerada. Os dados de elevação apresentados no gráfico polar são obtidos dos modelos de elevação disponíveis no globo em que o círculo oportuniza a escolher os valores de todo o perímetro percorrido de um círculo em dada coordenada. Neste trabalho o raio do círculo foi de 200 m, obtendo-se os pontos de maior elevação (Max) e os de menor elevação (Min).

A avaliação do mapeamento também teve a análise estatística por meio dos seguintes parâmetros: Coeficiente de Pearson [R], Coeficiente de Determinação [R<sup>2</sup>], Erro médio (*Mean Error*), o Erro Quadrático Médio (EQM), Erro Médio Percentual (EMP) e análise dos gráficos obtidos.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Carta hipsométrica

Os resultados contam com o mapeamento hipsométrico da área do perímetro urbano da cidade de Macapá em escala de 1:100.000 com 10 classes altimétricas, com uma variação mínima de 0(zero) metros até uma elevação máxima de 30 (trinta) metros de altura conforme mostra a **Figura 4**. No mapa é possível observar a abrangência das áreas de ressacas em tonalidade de azul no perímetro urbano, as quais se encontram a uma elevação entre 0 e 6 metros de altitude, num total de 17,9% deste perímetro. A maior altitude encontrada no perímetro urbano da cidade de Macapá encontra-se entre 24 a 30 metros de altitude, somando um valor de 1,5% deste total. Os valores de 27 à 30 m de elevação é de apenas 0,2%.

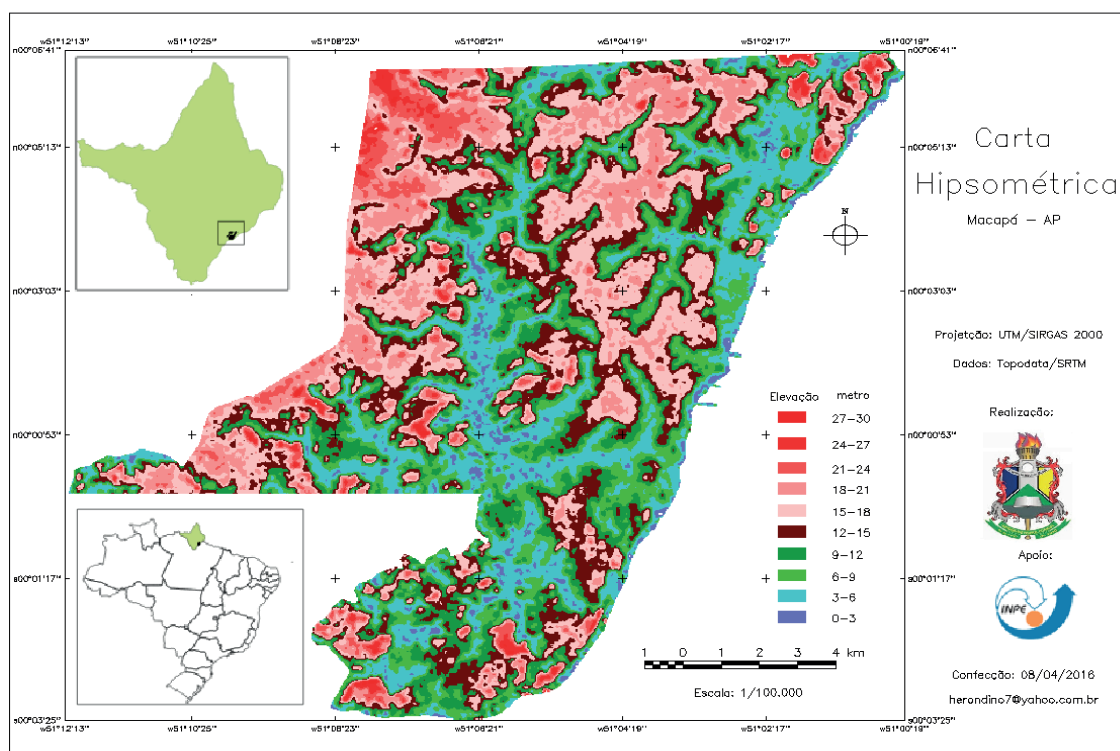


Figura 4. Carta Hipsométrica com intervalo entre as classes de 3m de Macapá-AP

Outro fator relevante a ser observado pela carta hipsométrica (**Figura 4**), é verificar que a altitude da zona sul da cidade de Macapá é visivelmente mais baixa que a altitude da zona norte. Na zona sul a elevação predominante vai até 12 metros e na zona norte essa é mais equilibrada entre os outros valores das classes altimétricas.

Há também uma zona de transição (6-9m) entre a área de ressaca e a porção seca que se encontra em verde claro. Esta responde por 14,7% do perímetro urbano. Esta porção é em grande parte utilizada para o escoamento das águas da chuva para as áreas de ressaca; abrangendo também a mata ciliar, conforme apresenta a **Tabela 1**.

A Tabela 1 mostra ainda que 98,5% da elevação da cidade de Macapá encontram-

se entre 0 e 24 metros de altitude e 83,0% é de 0 a 18 metros.

Altitude (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	%	fa %
0-3	3,56	1,9%	1,9%
3-6	29,41	16,0%	17,9%
6-9	27,05	14,7%	32,6%
9-12	27,37	14,9%	47,5%
12-15	31,68	17,2%	64,8%
15-18	33,63	18,3%	83,0%
18-21	21,20	11,5%	94,6%
21-24	7,20	3,9%	98,5%
24-27	2,40	1,3%	99,8%
27-30	0,37	0,2%	100,0%
<i>Total</i>	183,87	100,0%	-

Tabela 1 – Áreas das classes hipsométricas

## 4.2 Avaliação/validação do mapeamento

As 16 primeiras amostras apresentadas na **Tabela 2** foram obtidas em terra firme e as 16 seguintes foram centradas em áreas inundadas periodicamente, conhecidas como ressacas. As médias de elevação encontradas para o mínimo valor em terra firme, tanto do modelo LAF quanto do modelo TOPODATA foram 12,10 e 11,06 metros respectivamente. Na área de ressaca, esses valores caem para 4,0 e 1,3 metros no modelo LAF e TOPODATA respectivamente. Para as médias de elevação de máximo valor em terra firme, foram de 18,10 e 18,37 para os modelos LAF e TOPODATA respectivamente. As medidas máximas de elevação para as áreas de ressacas são de 9,9 para ambos os modelos.

nº	Coordenadas GMS		REFERÊNCIA	LAF		TOPODATA	
	LAT	LONG		min	max	min	Max
1	n 00 04 30.29	o 51 07 58.15	P_LagoaAzul	19.3	22.9	15	21
2	n 00 05 18.76	o 51 07 01.47	Amazonas	12.9	23.9	15	24
3	n 00 04 06.21	o 51 05 16.63	Infraero	14.1	17.7	15	21
4	n 00 05 27.05	o 51 02 59.69	Lago da vaca	9.6	19.4	9	18
5	n 00 04 46.73	o 51 01 46.61	FazendaNorte	4.1	8.1	3	6
6	n 00 03 09.55	o 51 04 11.84	Aeroporto	15.0	19.5	12	21
7	n 00 00 51.98	o 51 08 30.52	P_LagoDuka	9.0	12.0	9	15
8	s 00 00 20.71	o 51 05 00.57	Unifap	14.1	16.8	12	18
9	n 00 02 05.8	o 51 05 08.52	Bis	13.4	18.5	12	21
10	n 00 01 24.37	o 51 04 28.12	BancoBuri	16.6	19.5	15	21
11	s 00 02 05.58	o 51 05 04.52	JK	14.6	19.7	15	24
12	s 00 02 29.37	o 51 05 49.17	jk_Bosque	13.1	26.8	9	24
13	s 00 03 10.49	o 51 06 45.42	Fazendinha	7.2	10.0	9	12
14	s 00 02 38.13	o 51 07 26.05	Jk_Amiraldo	4.6	9.3	3	9
15	n 00 01 32.38	o 51 07 33.98	GoiabalCurva	13.0	17.0	12	18



16	n 00 00 52.21	o 51 07 17.99	GoiabalMeio	13.6	28.0	12	21
17	s 00 02 05.77	o 51 07 01.69	R_I_Fortaleza	2.1	9.4	0	9
18	s 00 01 17.10	o 51 05 57.03	R_Tacaca	3.0	4.8	0	6
19	s 00 00 20.63	o 51 04 36.16	R_MarcoZero	6.1	9.4	3	12
20	n 00 00 11.81	o 51 05 48.85	R_Congós_Beirol	2.0	6.3	0	6
21	n 00 00 51.90	o 51 05 32.70	R_ChicoDias	3.0	5.2	0	6
22	n 00 00 11.66	o 51 08 30.52	R_I_Arco	3.0	7.7	0	6
23	n 00 01 24.66	o 51 08 13.38	R_Coracao	3.5	12.8	0	12
24	n 00 02 29.24	o 51 07 01.84	R_Marabaixo	4.5	19.4	3	18
25	n 00 01 40.65	o 51 06 13.18	R_L_Indios	2.8	4.2	0	6
26	n 00 02 37.20	o 51 05 24.54	R_SaComprido	3.1	13.5	0	12
27	n 00 03 50.04	o 51 06 53.66	R_Km9	3.6	14.8	3	12
28	n 00 03 51.20	o 51 05 08.21	R_Infraeroll	8.1	14.5	6	15
29	n 00 05 10.61	o 51 04 28.04	R_Acai	5.5	12.5	3	12
30	n 00 05 18.49	o 51 02 10.70	R_Jandia	3.0	6.3	0	6
31	n 00 05 02.65	o 51 03 15.20	R_L_Vaca	4.0	12.3	0	12
32	n 00 03 17.52	o 51 02 51.10	R_P_Socorro	4.0	6.0	3	9

Tabela 2 – Comparação entre as medidas no LAF e TOPODATA em coordenadas GMS

Os gráficos de dispersão dos valores máximos e mínimos apresentam entre os dois modelos uma correlação direta positiva, conforme mostra a **Figura 5**. Neles também são expressas as equações de ajustamento da reta.

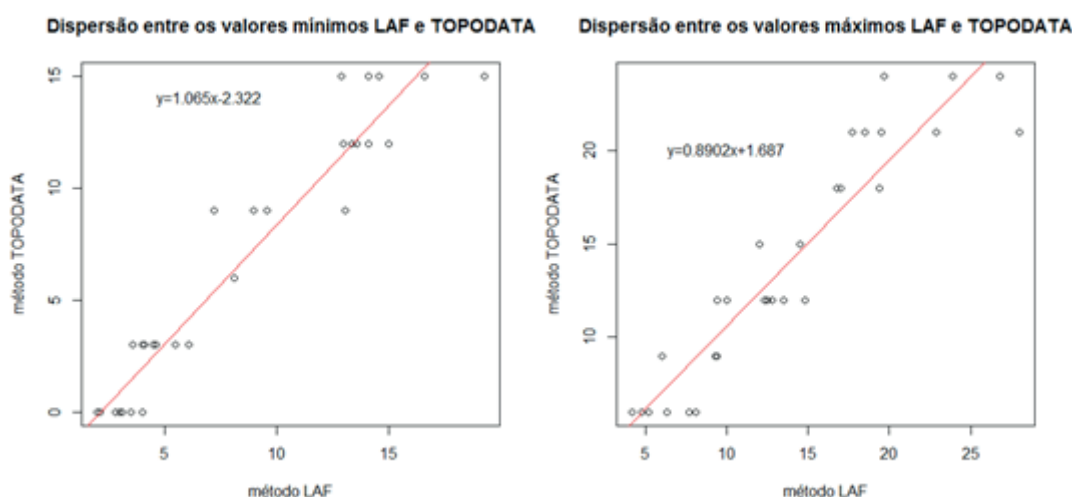


Figura 5. Gráficos de dispersão e regressão

A correlação existente entre os dois modelos mostrou ser forte quando comparado as elevações mínimas encontradas, pois apresentou um coeficiente de determinação  $R^2$  no valor de 0,9266, ou seja, 92,66% da variação do modelo TOPODATA pode ser explicado pela variação do modelo LAF. Para as elevações máximas, o  $R^2$  foi de 0,8817, ou seja 88,17% da variação do modelo TOPODATA pode ser explicado pela variação do modelo LAF. Em ambas as situações são apresentadas uma forte correlação entre

os dois métodos, destacando-se o de menor elevação.

Os coeficientes de Pearson foram de 0,9626 e 0,9390 mostrando uma correlação direta muito forte nos valores de mínima e de máxima elevação, respectivamente, apresentado na **Tabela 3**.

Parâmetros	Valores Analisados	
	Min	Max
Erro Médio	0.000023	0.000386
EQM	2.391473	4.472942
Erro Médio Percentual	0.008486	0.110066
Coeficiente de Pearson	0.962610	0.939004
Coef. Determinação	0.926619	0.881729

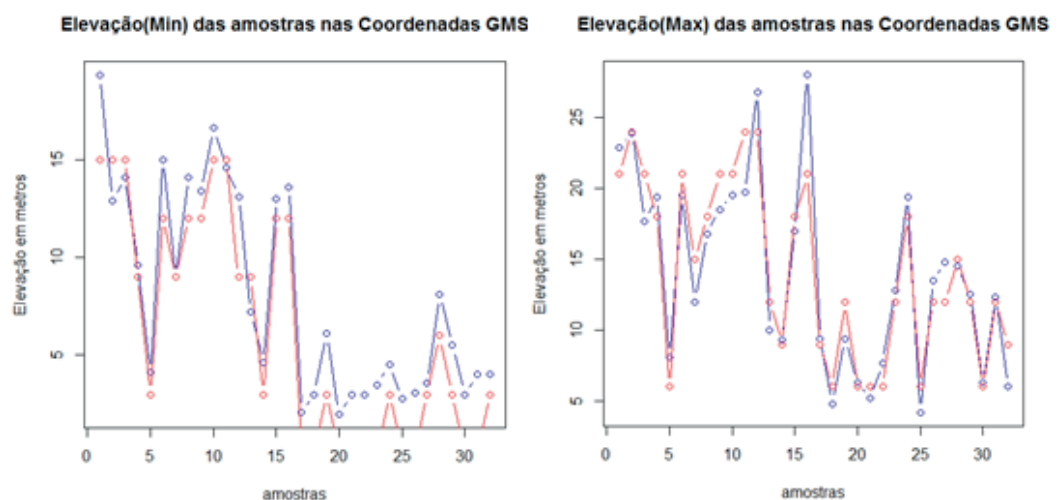
Tabela 3 – Análise estatística da correlação encontrada

O erro médio, calculado pela média aritmética dos erros, foi pequeno, uma vez que os erros positivos acabam compensando os erros negativos, o que poderia acabar distorcendo o resultado, e conforme mostra a **Tabela 3** o erro médio dos valores mínimo e máximo são próximos de zero, o que revela ser um resultado imparcial.

O erro quadrático médio (EQM) apresenta o valor médio entre os dois conjuntos de erros, evidenciando uma melhor condição para os valores de menor elevação (min).

O erro percentual também se aproximou de zero, mostrando que houve mais consistência nos valores mínimos do que os valores máximos.

A sobreposição das linhas do método TOPODATA sobre o método LAF é perceptível pelas linhas dos gráficos que se encaixam, tanto dos mínimos valores, como também dos máximos valores obtidos da elevação na circunferência, conforme apresenta a **Figura 6**.



**Figura 6** – Gráfico comparativo entre os dois modelos: azul o método LAF e o vermelho o TOPODATA

As elevações médias inteiras máximas encontradas nas áreas de terra firme e ressacas (áreas úmidas) foram de 18 e 10 metros, respectivamente, para ambos os métodos (LAF e TOPODATA). A sua menor elevação apontada pelo método TOPODATA nessa área é de 1,3 m. Isso mostra uma suscetibilidade maior às variações provocadas pelas águas das chuvas e mudanças atípicas das marés nas áreas de ressacas, o que por sua vez gera uma situação de risco para os moradores que fixam suas residências naquele local.

## 5 | CONCLUSÕES

A carta altimétrica (hypsométrica) gerada é um instrumento seguro e que permite a leitura clara e direta para um planejamento que necessite de informações sobre a altimetria do terreno de Macapá, numa escala restrita até 1:100.000. Na indisponibilidade de dados de campo para validação do modelo gerado, a utilização de informações do LAF se mostrou satisfatória, considerando que os coeficientes de correlação para os valores máximos e mínimos foram superiores a 0,93; e os erros médios percentuais muito próximos de zero.

## REFERÊNCIAS

Acselrad, H. **Conflitos ambientais no Brasil**. Rio de Janeiro: Relume Dumará: Fundação Heinrich Boll, 2004.

Araujo, E. P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 2006.

Batista Filho, J. M.; Assireu, A. T. ; Barouch, A. L. V;Pons, N. A. D . **Comparação dos produtos altimétricos TOPODATA, LAF e medidas in situ em região de topografia complexa**. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013. p. 4534-4539.

Câmara, G. *et al.* **SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Objectoriented. Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395 - 403, May - Jun 1996.

Câmara, G.; Davis, Clodoveu; Monteiro, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação. INPE-10506-RPQ/249. São José dos Campos, 2001.**

Carvalho, E. M. D.; Pinto, S. D. A. F. **Fusão de imagem CBERS-2B (CCD e HRC) para atualização de dados de cartas topográficas e de imagens de menor resolução espacial**. Curitiba 2011: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbsr, 2011. 7434 p.

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: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2015, João Pessoa. XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013. p. 2867-2875.

INPE. **Ministério da Ciência e Tecnologia**. /www.dsr.inpe.br, 2015. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 24 Novembro 2015.

Santos Filho, H.; Almeida, M. G.; Ribeiro, M. M. **Mapeamento e classificação das áreas de ressaca na região metropolitana de Macapá-AP utilizando imagens do satélite CBERS-2B.** In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013, Foz do Iguaçu. XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2013. p. 2211-2217.

Santos Filho, H.; Almeida, M. G.; Rios, R. O. **Mapeamento e análise da carta imagem da cidade de Macapá-AP obtida através da fusão das imagens do satélite CBERS-2B multisensor CCD e HRC.** In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011. p. 2614-2619.

Simm, A. P. R. L. **Mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários: usando SIG e seções geológico – geotécnicas de campo com aplicação da rodovia SP-310.** 1ª Ed. Biblioteca24horas, São Paulo, 2011. p. ISBN978-85-7893-925-0.

Valeriano, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2008. INPE-15318-RPQ/818.

## DETERMINAÇÃO DOS VALORES DE NÚMERO DE DEFLÚVIO (CN) PARA O PERÍMETRO URBANO DE DOURADOS-MS

### Vinicius Silva Rezende

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –  
UEMS, Laboratório de Modelagem Computacional  
e Saneamento e Geotecnologias - LASANGE  
Dourados - MS

### Vinicius de Oliveira Ribeiro

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –  
UEMS, Laboratório de Modelagem Computacional  
e Saneamento e Geotecnologias - LASANGE  
Dourados - MS

### Yani Scatolin Mendes

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul –  
UEMS, Laboratório de Modelagem Computacional  
e Saneamento e Geotecnologias - LASANGE  
Dourados - MS

**RESUMO:** Devido ao aumento das áreas construídas e pavimentadas, vem sendo cada vez mais necessária a obtenção e atualização de dados acerca da impermeabilização do solo em áreas urbanas. Assim, o presente estudo busca gerar um mapa com valores do número de deflúvio (CN) utilizando geotecnologias, a fim de servir como referencial cartográfico para auxílio no planejamento de estruturas e projetos hidráulicos desenvolvidos na região. Com essa finalidade foram utilizadas imagens obtidas pelos sensores do satélite Landsat-8, as quais foram classificadas e reclassificadas quanto ao uso e cobertura do solo, gerando 5

macro-classes, que foram relacionadas com as características hidrológicas do solo da área de estudo e ainda, vinculadas a informações de ocupação disponibilizadas pela legislação de uso e ocupação do solo local. Como resultado final foi gerado um mapa com os valores de CN's das 5 macro-classes estabelecidas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Escoamento superficial, Geotecnologias, Classificação Supervisionada de imagens.

**ABSTRACT:** Due to the increasing of the built and paved areas, it is becoming largely necessary to obtain and update data about soil sealing in urban areas. In order that, the study seeks to generate a map with curve-number (CN) values using geotechnologies, in order to serve as a cartographic reference for assistance in the planning of hydraulic structures and projects developed in the region. For this purpose were used images obtained by the Landsat-8 satellite sensors, which were classified and reclassified in terms of land use and covering, to generate 5 macro-class which were related to soil hydrological characteristics of the study area. In addition, they were linked to occupancy information provided by the local land use and occupation legislation. As a final result, a map was generated with the CN's values of the 5 macro-class established.

**KEYWORDS:** Surface drainage,



## 1 | INTRODUÇÃO

O número de deflúvio (do inglês, *curve-number* - CN) é um parâmetro empírico que representa a porcentagem do solo impermeável, onde seu valor varia de 0 a 100, com 0 representando total permeabilidade da água pluvial no solo, e 100 representando total impermeabilidade do solo (Sartori, 2004).

O CN é bastante utilizado para se obter previsões do volume de águas pluviais que sofre escoamento superficial em função do volume de precipitação, sendo a base de dados mais utilizada na engenharia para dimensionar redes de drenagem, entre outras estruturas hidráulicas (Tassi et al., 2006).

Sua determinação resulta basicamente da análise de dados de uso e ocupação do solo e da classificação hidrológica do solo, os quais podem ser obtidos por observação *in loco* do escoamento superficial das águas pluviais em pequenas bacias hidrográficas ou através de imagens de satélite processadas por softwares de Sistema de Informações Geográficas, vinculadas às informações hidrológicas do solo (Tibúrcio et al., 2007).

O número de deflúvio foi desenvolvido pelo departamento NRCS (*Natural Resources Conservation Service*) do USDA (*United States Department of Agriculture*), fazendo parte da metodologia SCS (*Soil Conservation Service*) para determinação do escoamento superficial (Pickbrenner et al., 2005).

A metodologia (SCS, 1972) é usada para converter o volume de precipitação em volume de escoamento superficial através da seguinte fórmula:

Onde:

$$Q = \frac{[P - 0,2 \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right)]^2}{P + 0,8 \left( \frac{25400}{CN} - 254 \right)}$$

**Q** - Volume de água pluvial escoada (mm)

**P** - Volume de precipitação (mm)

**CN** – Número de deflúvio (adimensional)

Desta forma, para a análise da superfície do solo, podem-se usar diversas imagens advindas de satélites, destacando-se as imagens do satélite Landsat-8, as quais têm sido amplamente usadas para análises e monitoramentos ambientais, sendo uma das principais fontes gratuitas, para se realizar classificações de uso e cobertura do solo no Brasil (Lucas et al., 2014).

Neste contexto, a geração de uma carta com os valores do CN é de suma importância, pois serve como referencial cartográfico para auxiliar na tomada de decisões públicas e privadas, quanto a obras e projetos de caráter hidrológico.

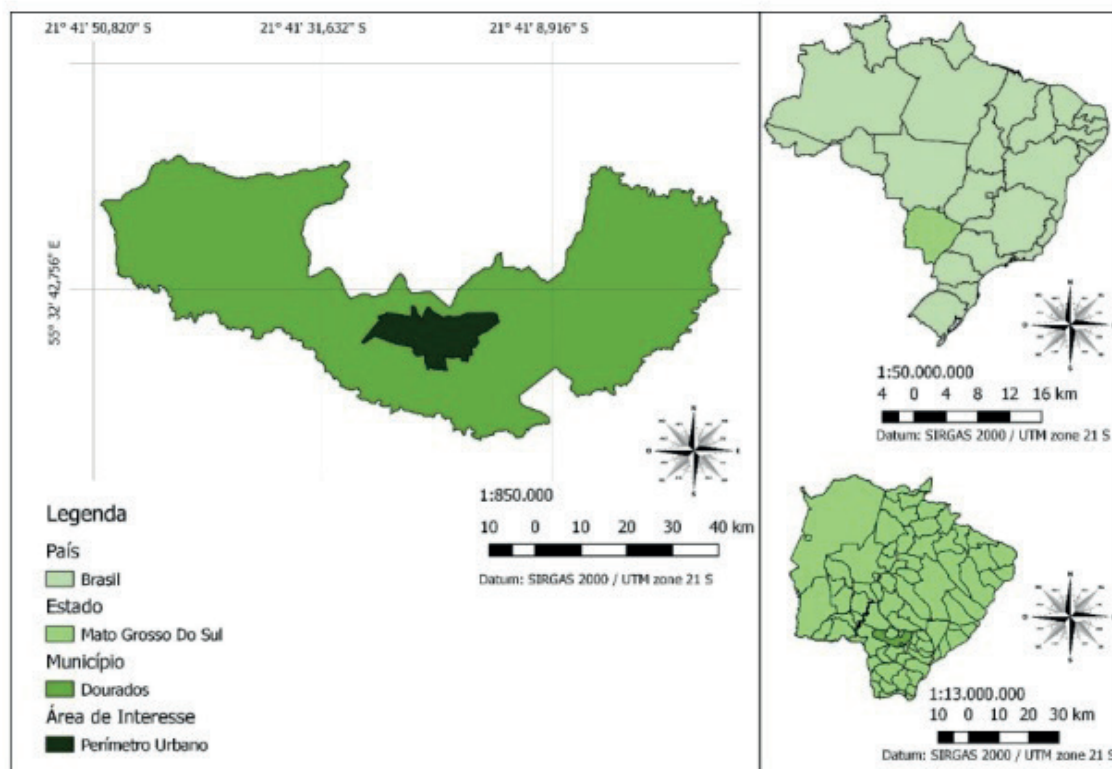
## 2 | OBJETIVO

Classificar uma imagem obtida pelo satélite Landsat-8 quanto ao seu uso e ocupação do solo do perímetro urbano do município de Dourados-MS e vincular essas informações com as características de infiltração das diferentes classes de solos encontrados na área de estudo, gerando através disso uma carta com os valores do número de deflúvio (CN), que pode servir como referencial cartográfico para auxílio no planejamento de estruturas e projetos hidráulicos desenvolvidos na região.

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área de estudo

A área de interesse do trabalho se trata do perímetro urbano do município de Dourados-MS, instituído pela Lei Municipal N° 3844, de 04 de dezembro de 2014, que pode ser localizada e observada na **Figura 1**.



**Figura 1** - Localização do Perímetro Urbano do Município de Dourados-MS.

O município possui uma população estimada de 218069 habitantes (IBGE, 2017), com densidade demográfica de 47,97 hab.km<sup>2</sup>, possuindo um IDH de 0,747, considerado o 14º melhor do Estado (PNUD, 2013).

Conforme Arai et al (2012), a área de estudo apresenta relevo plano, assemelhando-se, portanto, ao relevo encontrado na bacia pantaneira.

### 3.2 Aquisição de imagens

Utilizou-se no trabalho um pacote de imagens obtidas pelo satélite Landsat-8, com 8 bandas de resolução espacial de 30 m, uma banda pancromática de resolução espacial de 15 m, e outras duas bandas de resolução espacial de 100 metros. A imagem do satélite Landsat-8 foi obtida gratuitamente através do *website* Earth Explorer, sendo escolhida para o trabalho a cena com órbita/ponto 225/75 de ID LC82250752016231LGN00, datada de 18 de agosto de 2016.

### 3.3 Aquisição de vetores

Para delimitação da área de estudo foram utilizados os vetores dos limites do município de Dourados-MS e dos limites do perímetro urbano do município, obtidos junto ao Núcleo de Geoprocessamento, da Secretaria de Infraestrutura e Desenvolvimento, na Prefeitura Municipal de Dourados (PMD, 2017).

Para análise do solo da região, foi utilizado o mapa de solos contendo até o terceiro nível categórico, em formato de vetor, fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA de Dourados.

### 3.4 Sistema de informações geográficas utilizado

Os processamentos das informações geográficas utilizadas no estudo foram executados pelo software livre QGIS 2.8.3 – Wien (QGIS, 2015).

### 3.5 Classificação de imagens

#### 3.5.1 *Treinamento das classes para classificação*

Inicialmente, efetuou-se a classificação supervisionada da imagem Landsat-8 em 5 macro-classes de interesse com 6 amostras de campo para cada classe, sendo elas: Gramíneas e Solo Agricultado; Vegetação Arbórea; Solo Exposto; Áreas Construídas ou Pavimentadas; e Lagos.

Para a realização do treinamento espectral, foi utilizado a ferramenta “*ROI creation*”, no menu “*SCP*”, o qual aparece após ser realizado o download do complemento “*Semi-Automatic Classification Plugin – SCP*”. O treinamento consiste na definição de um espaço geométrico na imagem, onde é identificada a macro-classe e a classe a qual ele pertence. Após a inserção de várias amostras distintas (áreas de treinamento) das mesmas classes e macro-classes, esses espaços geométricos identificados e com suas respectivas assinaturas espectrais que os diferenciam, são salvos como polígonos em um único arquivo em formato de vetor.

#### 3.5.2 *Classificação supervisionada*

Após a criação do vetor com os vários polígonos de treinamento, foi executada a ferramenta “*Classification*” disponível no menu de “*SCP*”, que utiliza as assinaturas

espectrais do treinamento na busca às respostas espectrais mais semelhantes das áreas de treinamento, para classificar toda a imagem nas macro-classes definidas.

A resposta dessa classificação vem através de imagens raster e de vetores que contêm as delimitações das macro-classes criadas.

### 3.6 Verificação da Acurácia da Classificação

Para analisar a acurácia da classificação foi necessária a criação de pontos aleatórios no interior do polígono de interesse, utilizando a ferramenta “*Random points inside polygons (fixed)*” disponível no sub-menu “investigar” do menu “Vetor”.

Foi utilizado como polígono da área de interesse o vetor do perímetro urbano, e gerados 100 pontos, aleatoriamente, os quais foram importados no sub-menu intitulado “*classification dock*” da janela de opções de “*SCP Dock*”. Então foi atribuída a cada ponto a informação de qual classe cada ponto se encontrava, funcionando como uma camada de vetor de treinamento.

A resposta é dada em formato de matriz de confusão, e do coeficiente de Kappa (Cohen, 1960), onde “0” significa que não houve área em comum entre a classificação e a determinação da macro-classe dos pontos aleatórios e “1” simboliza a acurácia mais exata. O valor da acurácia foi analisado conforme proposto por Landis et al. (1977), em escala que vai de <0 (irrelevante) a 1 (quase perfeita).

### 3.7 Determinação do Número de Deflúvio (cn)

#### 3.7.1 Determinação da classe hidrológica dos solos

A influência do solo na determinação do número de deflúvio se dá pela sua capacidade de infiltrar a água pluvial, para isso os solos podem ser divididos em quatro grandes grupos segundo a metodologia SCS (1972):

- A (potencial de escoamento baixo);
- B (potencial de escoamento moderado);
- C (potencial de escoamento alto); e
- D (potencial de escoamento muito alto).

No Brasil, Lombardi Neto et al. realizaram alguns estudos em 1989, visando readequar as classes de solo brasileiras às classes hidrológicas dos solos americanos, e em 2004, Sartori atualizou a lista de classificação.

Seguindo essas referências foram associadas cada tipo de classe a cada tipo de solo encontrado na região.

#### 3.7.2 Atribuição do valor do número de deflúvio nas camadas vetoriais da classificação

Para determinar o valor do número de deflúvio foi necessário vincular informações acerca da característica hidrológica do solo da região, e das macro-classes geradas

pela classificação. Após vinculadas as informações, foi levada como referência a **Tabela 1** apresentada por Tucci (1993), onde buscou o valor de CN mais adequado às informações levantadas.

Utilização ou cobertura do solo	Grupo hidrológico de solos			
	A	B	C	D
Zonas cultivadas sem conservação do solo	72	81	88	91
Zonas cultivadas com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Terrenos baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas com cobertura ruim	45	66	77	83
Floresta com cobertura boa	25	55	70	77
Zonas comerciais e de escritórios	89	92	94	95
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais	77	85	90	92
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Vias asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Arruamentos em paralelepípedos	76	85	89	91
Terra exposta	72	82	87	89

**Tabela 1** - Valores de CN para áreas urbanas e suburbanas (Tucci, 1993).

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

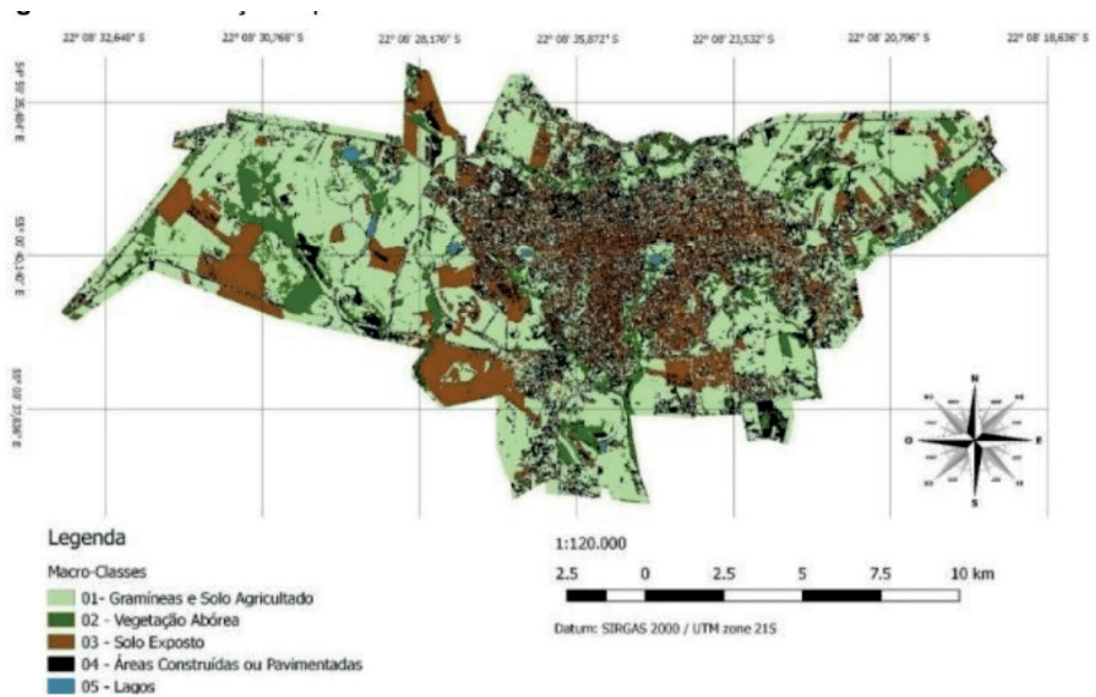
### 4.1 Classificação

A classificação da cena Landsat-8 se deu por 5 macro-classes:

- Gramíneas e Solo Agricultado (49,16% da área total);
- Vegetação Arbórea (9,36% da área total);
- Solo Exposto (18,41% da área total);
- Áreas Construídas ou Pavimentadas (22,63% da área total); e
- Lagos (0,43% da área total).

Gerando o mapa de classificação apresentado na Figura 2.





**Figura 2** – Classificação supervisionada semiautomática.

A fim de conferir a precisão dessa classificação, foi realizada a acurácia da classificação, que apresentou o coeficiente de Kappa de 0,499, indicando, segundo Landis et al. (1977), que ela pode ser considerada de precisão moderada.

#### 4.2 Reclassificação

De forma a corrigir a classificação supervisionada semiautomática e melhorar a acurácia da classificação, as macro-classes de *Solo Exposto* e *Áreas Construídas ou Pavimentadas* tiveram as suas extensões alteradas manualmente, comparando as classes com a imagem classificada.

A reclassificação pode ser observada na Figura 3, onde pode também ser vista a porcentagem de ocupação da superfície.

A acurácia da reclassificação apresentou o coeficiente de Kappa de 0,801, indicando segundo Landis et al. (1977) que essa classificação pode ser considerada com uma precisão quase perfeita.

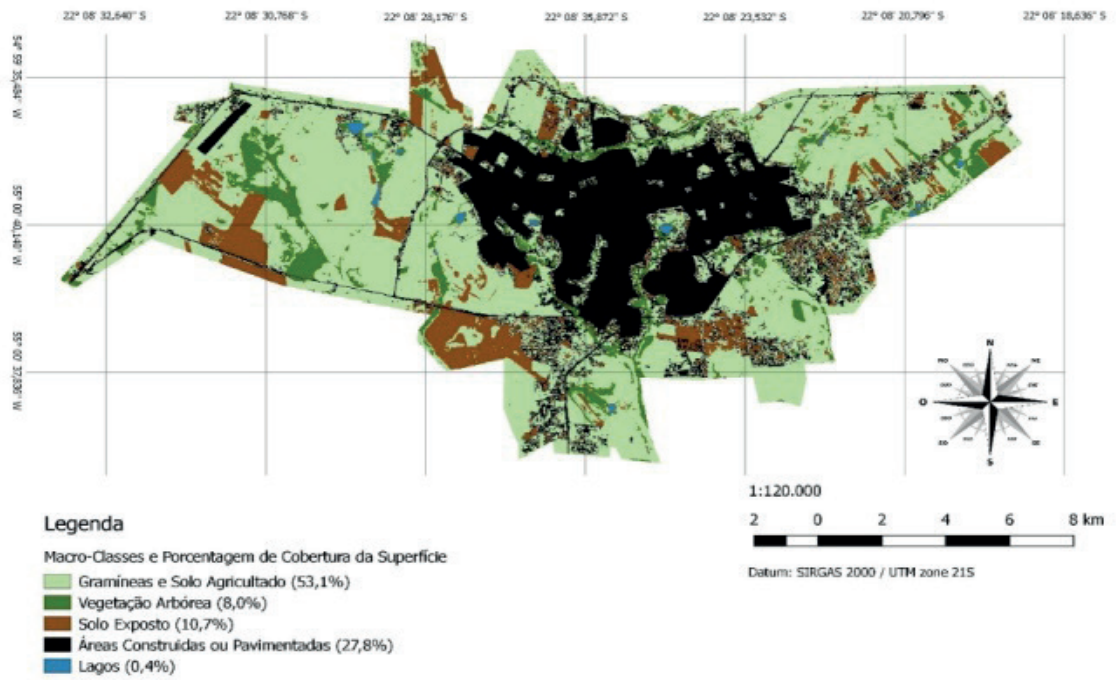


Figura 3 - Reclassificação supervisionada manual com porcentagem de cobertura do solo.

#### 4.3 Definição da Classe Hidrológica dos Solos da Área de Interesse

Os solos do perímetro urbano podem ser visualizados na Figura 4.

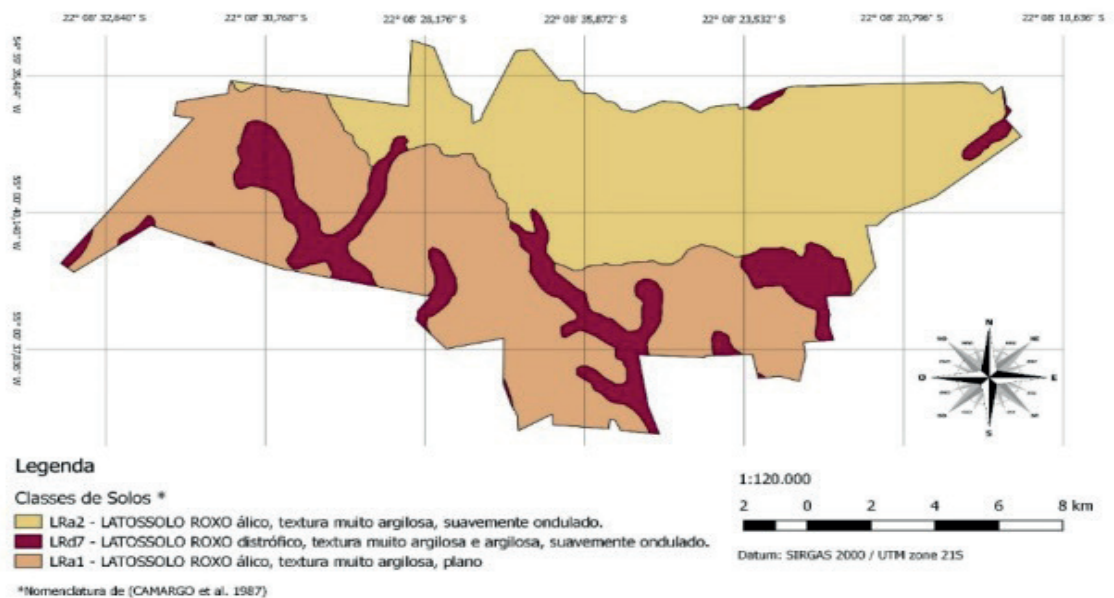


Figura 4 - Classes de Solos do Perímetro Urbano.

Atualizando a nomenclatura usada na imagem Camargo et al. (1987) para a atual EMBRAPA (2013), obtemos as classes apresentadas na Tabela 2.

Nomenclatura de CAMARGO et al, 1987	Nomenclatura de EMBRAPA, 2013
LRa – LATOSSOLO ROXO álico	LVaf – LATOSSOLO VERMELHO Aluminoférricos
LRd – LATOSSOLO ROXO distrófico	LVd - – LATOSSOLO VERMELHO distrófico

**Tabela 2** - Comparação de Nomenclaturas.

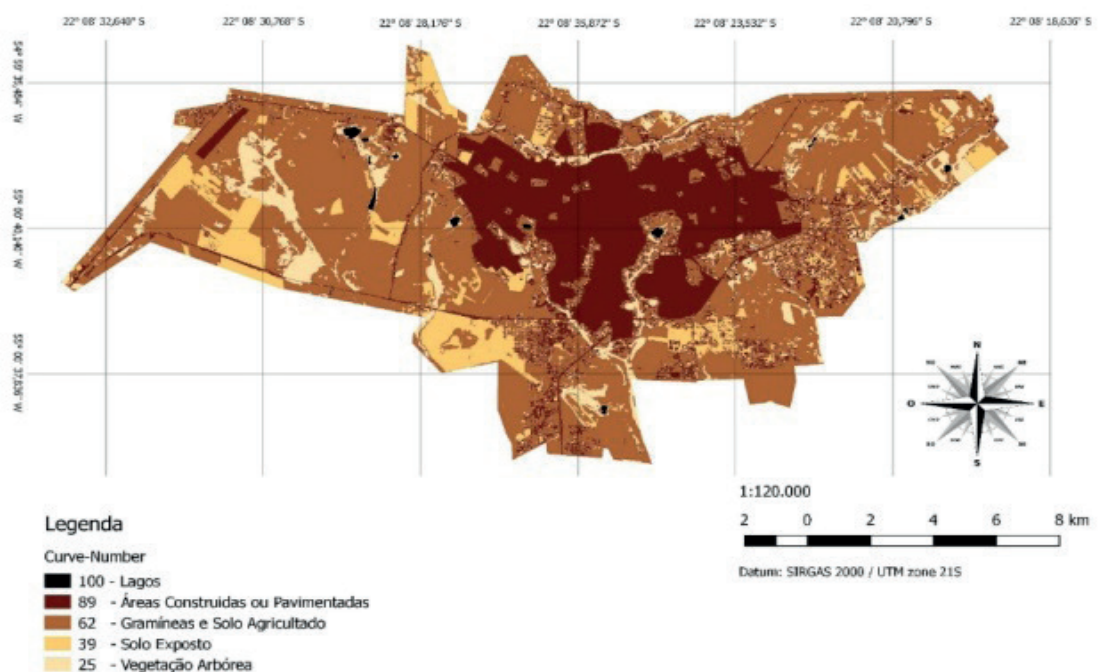
Conforme Sartori (2004) todos os latossolos vermelhos são considerados como pertencentes ao grupo hidrológico de solos A, assim, todo o perímetro urbano foi considerado como pertencente a este grupo hidrológico, dispensando a necessidade da realização de álgebra de mapas.

#### 4.4 Definição do Número de Deflúvio (CN)

Através da reclassificação manual da cobertura do solo e da definição da classe hidrológica feitas previamente, relacionou-se tais informações com a tabela de referência de CN apresentada por Tucci (1993), obtendo os valores de CN apresentados na Tabela 3 e na Figura 5.

Macro-Classes	Número de Deflúvio
Gramíneas e Solo Agricultado	62
Vegetação Arbórea	25
Solo Exposto	39
Áreas Construídas ou Pavimentadas	89
Lagos	100

**Tabela 3** - Valores de CN.



**Figura 5** - Valores de CN.

Os valores de CN apresentados servem como auxílio para obtenção de um valor de CN médio de sub-bacias, as quais poderão ser delimitadas a critério do usuário. Vale ressaltar que os valores de CN apresentados não são definitivos, eles representam a condição média de umidade do solo, podendo variar em função do regime de chuvas em determinado período, variando a umidade antecedente do solo.

## 5 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES

- O estudo foi capaz de expor as áreas mais impermeáveis e que consequentemente geraram escoamentos superficiais mais significativos, de forma qualitativa;
- Para estudos quantitativos é recomendável a utilização de imagens de maior resolução espacial;
- Toda a metodologia aqui desenvolvida pode ser aplicada integralmente para o Pantanal.

## REFERÊNCIAS

ARAI, F.K.; PEREIRA, S.B.; OLIVEIRA, F.C.; DAMALIA, L.S. **Caracterização hidromorfométrica da bacia do Dourados localizada no centro-sul do Mato Grosso do Sul**. Revista Agrarian, Dourados, v. 5, p. 270-280, 2012. Disponível em: <<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/download/1434/1099>>. Acesso em: 01 ago. 2018.

COHEN, J. **A coefficient of agreement for nominal scales**. Educ Psychol Meas. p. 37-46. 1960.

CAMARGO, M.N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J.H. **Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil**. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 12, p: 11-33, 1987.

Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

Earth Explorer. **Imagens Landsat-8**. Órbita 225, ponto 075. Data de Passagem 18/08/2016. 2017. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 3 nov. 2017

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/dourados/panorama>>. Acesso em: 3 nov. 2017

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Resolução nº 01 de 25 de fev. de 2005**. 2005

LANDIS, J. R.; KOCH G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics;33: 159-174. 1977.

LOMBARDI NETO, F.; BELLINAZZI JÚNIOR, R.; GALETI, P. A.; BERTOLINI, D.; LEPSCH, I. F.; OLIVEIRA, J.B. **Nova abordagem para cálculo de espaçamento entre terraços**. In: Simpósio sobre terraceamento agrícola, 1989, Campinas. Anais... Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 99-124.

LUCAS, E. A.; BRANCO, V. T. A.; RICHA, C. H.; MOREIRA, D. M.; SCHAFER, A. G. **Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Negro-RS Utilizando Imagens de Satélite do Sensor OLI/Landsat-8.** Revista Brasileira de Cartografia. Porto Alegre, 2014.

PICKBRENNER, K.; PEDROLLO, M. C.; RISSO, A. **Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. Anais... João Pessoa: ABRH, 2005.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil.** Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/2013>>. Acesso em: 3 nov. 2017

PMD – Prefeitura Municipal de Dourados. **Lei 3844/2014: Delimitação do Perímetro Urbano do Município de Dourados.** Dourados, 2014.

PMD – Prefeitura Municipal de Dourados. **Lei Complementar 205/2012: Dispõe sobre o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo e o Sistema Viário no Município de Dourados e dá outras providências.** Dourados, 2012.

PMD – Prefeitura Municipal de Dourados. **Vetor do Perímetro Urbano de Dourados.** Núcleo de Geoprocessamento, Secretaria de Infraestrutura e Desenvolvimento, Prefeitura Municipal de Dourados, Dourados, 2014. Obtido em: 11 out. 2017.

QGIS Development Team. **QuantumGIS 2.8.3** - Wien, 2015. Disponível em: <<http://qgis.org/downloads/>>. Acesso em: 3 nov. 2017.

ROY, D. P.; WULDER, M. A.; LOVELAND, T. R.; WOODCOCK, C. E. **Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research.** Remote Sensing of Environment. ELSEVIER, V 145, p. 154-172. 2014

SCS – Soil Conservation Service. **National Engineering Handbook,** USDA, 1972.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L. **Determinação do parâmetro curve number para sub-bacias urbanas do arroio Dilúvio – Porto Alegre/RS.** In: Simpósio de Recursos Hídricos Sul Sudeste, 1., Curitiba, 2006. Anais... Curitiba: ABRH, 2006.

TIBÚRCIO, E. C.; CASTRO, M. A. H. **Uso de sistemas de informação geográfica para a determinação do curve number em regiões hidrológicas.** In: Simpósio de Recursos Hídricos Norte Centro-Oeste, 1., Cuiabá, 2007. Anais... Cuiabá: ABRH, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação.** Porto Alegre: Editora da UFRGS, ABRH, 1993.



## DISTRIBUIÇÃO DA PLUVIOMETRIA, NDVI E UMIDADE DO SOLO NOS BIOMAS BRASILEIROS

### Hugo José Ribeiro

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental  
Goiânia - Goiás

### Nilson Clementino Ferreira

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental  
Goiânia - Goiás

### Wellington Nunes Oliveira

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental  
Goiânia - Goiás

### Victor Tomaz de Oliveira

Instituto Federal Goiano, Campus Urutaí  
Urutaí – Goiás

### Kátia Alcione Kopp

Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil e Ambiental  
Goiânia – Goiás

**RESUMO:** A umidade do solo é uma variável importante na caracterização de ambientes, uma vez que ela depende de fatores como tipo de solo, relevo, temperatura do ar, pluviosidade, uso do solo, dentre outros. Por outro lado, o estudo da umidade do solo por si só já contribui para previsões mais acuradas do clima, sendo uma variável chave nos modelos de inundação e deslizamentos de terra, assim como processos de desertificação e um gerenciamento mais

efetivo do balanço hídrico local e regional, além do monitoramento da saúde da vegetação e dinâmica ecossistêmica. Neste artigo buscou-se responder a seguinte questão: As diferenças entre os biomas podem ser caracterizadas pelos dados climáticos e pelo comportamento do índice de vegetação? Para isto, foram utilizadas imagens orbitais de umidade do solo do satélite *Soil Moisture Active Passive - SMAP*, índice de vegetação de diferença normalizada – NDVI do satélite MODIS e pluviosidade do satélite *Global Precipitation Measurement – GPM*. Os dados foram coletados, organizados, processados e as informações tabeladas para posterior análise. Considerou-se como recorte temporal o período de abril de 2015 a julho de 2016 para todo o território nacional. As análises foram feitas com base na divisão por biomas. Os resultados sugerem que é possível verificar uma diferença quantitativa entre as variáveis analisadas para o período proposto, no entanto, não foi possível afirmar se essas diferenças se mantêm ao longo dos anos.

**PALAVRAS-CHAVE:** SMAP, Umidade do solo, Biomas, NDVI.

**ABSTRACT:** Soil moisture is an important variable in the environments characterization, since it depends on factors such as soil type, relief, air temperature, rainfall, soil use, among others. Still, the study of soil moisture, alone

contributes to more accurate climate predictions, being a key variable in flood and landslide models, as well as desertification processes and more effective management of the local water balance and Regional, as well as the monitoring of vegetation health and ecosystem dynamics. In this article we tried to answer the following question: Can the differences between the biomes be characterized by the climatic data and the behavior of the vegetation index? Soil orbital images of Soil Moisture Active Passive - SMAP, normalized difference vegetation index - NDVI of MODIS satellite and rainfall of Global Precipitation Measurement (GPM) satellite were used. The data were collected, organized, processed and the information tabulated for later analysis. The period from April 2015 to July 2016 was considered as a temporal cut-off for the all national territory. Was analyzes realized by biome division. The results suggest that it is possible to verify a quantitative difference between the analyzed variables for this proposed period; although it was not possible to state if these differences are maintained over the years.

**KEYWORDS:** *SMAP, Soil Moisture, Biomes, NDVI.*

## 1 | INTRODUÇÃO

A climatologia é uma ciência que fornece subsídios para estudos relacionados ao clima do planeta (Ahrens, 2007). O clima, por sua vez, se refere às condições atmosféricas de uma determinada região. Estas condições, assim como as características físicas e biológicas diversas, contribuem para a formação de climas diferentes por todo o território nacional, devido a sua extensão continental.

Estudos climáticos são compostos por variáveis que relacionadas entre si contribuem para o entendimento de questões, como: alterações do microclima, derretimento das calotas polares, secas severas, furacões, distribuição da precipitação, dentre outras questões que estão diretamente relacionadas com mudanças climáticas (Ambrizzi et. al., 2007).

Estudos climáticos podem ser utilizados para caracterizar uma determinada região. A caracterização de regiões predominantemente homogêneas, como os biomas, a partir de variáveis climáticas e uso de sensoriamento remoto tem sido objeto de estudo da ciência (Alemohammad et. al., 2016; Wu, 2014).

Caracterizar um bioma considerando apenas o tipo de fitofisionomia torna-se complicado, uma vez que um bioma é um mosaico de fitofisionomias (Coutinho, 2006). Neste sentido, muitos cientistas utilizam um conjunto de fatores (tipo de solo, relevo, umidade do solo, temperatura do ar, índice de vegetação - NDVI) na tentativa de melhorar esta estimativa.

A umidade do solo torna-se uma variável importante na caracterização de ambientes, segundo Martin (2012) e Menezes et al. (2013), uma vez que ela é dependente de todos os fatores citados anteriormente, exceto o NDVI, que é dependente do conteúdo de água disponível no solo e da radiação eletromagnética. Alguns estudos

Dick e Schumacher (2015), tentam relacionar apenas solo e vegetação, outros como o de Gasper et al. (2015), relacionam altitude e clima, no entanto, existe um consenso de que as variáveis analisadas são insuficientes ou inespecíficas.

Neste sentido, é de grande relevância a produção de pesquisas com variáveis integradoras, ou seja, que tenham dependência do maior número possível de fatores. Outra questão é a escala de trabalho, a maioria dos estudos apresenta uma escala em nível de bacia hidrográfica, ou município, o que dificulta as análises a nível nacional ou continental.

Por outro lado, o estudo da umidade do solo por si só já contribui para previsões mais acuradas do clima, sendo uma variável chave nos modelos de inundação e deslizamentos de terra, assim como nos processos de desertificação. Na agricultura, o conhecimento da umidade do solo pode colaborar para uma maior produtividade agrícola e melhorar o monitoramento da vegetação e relação da água acima do solo. Gerenciamento mais efetivo do balanço hídrico local e regional, além do monitoramento da saúde da vegetação e dinâmica ecossistêmica.

Diversas pesquisas Morbidelli et al. (2016), Shi et al. (2016), têm utilizado visita a campo para obter a medida de umidade do solo, o problema é que esses trabalhos são confinados a escalas locais ou regionais, devido ao elevado custo para obtenção de amostras e análise laboratorial. Outros, Zhu et al. (2016), Buxton et al. (2016) utilizam modelos como o de Charles *Warren Thornthwaite* para estimar o balanço hídrico e conseqüentemente o volume de água armazenado no solo. Para escalas macro, os cientistas vêm trabalhando preferencialmente com dados orbitais de radar, pelo fato destes fornecerem informações de umidade do solo a nível global (Piles et al., 2016; Reichle, 2016; Kim et al., 2016).

## 2 | OBJETIVO

Neste sentido, a proposta deste artigo é analisar a distribuição espaço-temporal da umidade do solo em todo o território nacional, utilizando como divisão os biomas, com os seus limites político-administrativo sugeridos pelo órgão Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Pretende-se comparar ao mesmo tempo as variáveis de pluviometria, que influencia diretamente a umidade do solo e, o Índice de Vegetação de Diferença Normalizada – NDVI que é influenciado pela umidade do solo.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Fluxo de Trabalho

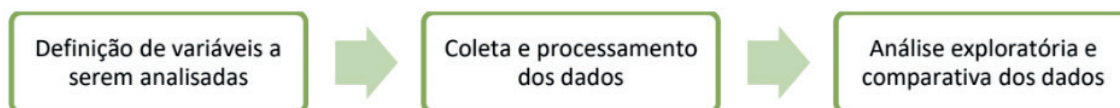


Figura 1 – Etapas para realização da pesquisa.

### 3.2 Definição das Variáveis

As diferenças entre os biomas podem ser caracterizadas pelos dados climáticos e pelo comportamento do índice de vegetação? Pretende-se com este artigo encontrar a resposta para esta questão utilizando dados pluviométricos, de índice de vegetação (NDVI) e umidade do solo. A partir destas variáveis buscou-se compreender as diferenças.

### 3.3 Dados da Pesquisa e Área de Trabalho

Para realização desta pesquisa foram utilizadas imagens de umidade do solo do satélite SMAP (*Soil Moisture Active Passive*), de NDVI do sensor MODIS a bordo dos satélites americanos TERRA e AQUA do Programa EOS (*Earth Observing System*) e pluviometria a partir do satélite GPM (*Global Precipitation Measurement*). O recorte temporal foi definido entre abril de 2015 a julho de 2016.

Esse intervalo foi escolhido devido à disponibilidade do dado de umidade SMAP neste mesmo período. O recorte espacial compreende todo o território nacional. Entretanto, para a análise dos resultados, consideraram-se os limites político-administrativos dos biomas brasileiros segundo o IBGE. As imagens foram obtidas a partir do banco de dados da *National Aeronautics and Space Administration (NASA) Earth Explorer*.

### 3.4 Umidade do solo

O satélite SMAP é uma missão recente da NASA, lançada em janeiro de 2015, e tem como principais objetivos:

- Compreender os processos que ligam os ciclos terrestres de água, energia e carbono;
- Estimar os fluxos globais de água e energia na superfície terrestre;
- Quantificar o fluxo líquido de carbono nas paisagens boreais;
- Melhorar a habilidade de previsão do tempo e do clima;
- Previsão melhorada das inundações e capacidade de monitoramento da

seca.

O instrumento SMAP funciona com um radar e um radiômetro de banda L, onde ambos compartilham de um único refletor que serve como malha de alimentação e rede parabólica. Este refletor é deslocado do nadir e gira em torno do eixo do mesmo a 14,6 RPM (velocidade nominal) o que possibilita um varrimento cônico, com um ângulo de incidência na superfície de aproximadamente 40°. A abertura real do radar é de 30 km, e os dados são coletados globalmente durante as passagens ascendentes e descendentes (Reichle et al., 2014).

Diversos produtos são disponibilizados à comunidade científica pelo satélite, e um deles é a umidade do solo a 5 cm e 1m de profundidade a nível global, ou seja, umidade do solo na superfície e na zona de raiz. A unidade utilizada pelo satélite é de m<sup>3</sup> de água por m<sup>3</sup> de solo (m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) com diferentes resoluções azimutais, que variam de 1 a 47 km, considerando o radar e radiômetro. A **Figura 2** ilustra quais são estes produtos, assim como as suas principais características.

Product	Description	Gridding (Resolution)	Latency	
L1A_TB	Radiometer Data in Time-Order	-	12 hrs	Instrument Data
L1A_S0	Radar Data in Time-Order	-	12 hrs	
L1B_TB	Radiometer $T_B$ in Time-Order	(36x47 km)	12 hrs	
L1B_S0_LoRes	Low Resolution Radar $\sigma_0$ in Time-Order	(5x30 km)	12 hrs	
L1C_S0_HiRes	High Resolution Radar $\sigma_0$ in Half-Orbits	1 km (1-3 km)	12 hrs	
L1C_TB	Radiometer $T_B$ in Half-Orbits	36 km	12 hrs	
L2_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	24 hrs	Science Data (Half-Orbit)
L2_SM_P	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	24 hrs	
L2_SM_AP	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	24 hrs	
L3_FT_A	Freeze/Thaw State (Radar)	3 km	50 hrs	Science Data (Daily Composite)
L3_SM_A	Soil Moisture (Radar)	3 km	50 hrs	
L3_SM_P	Soil Moisture (Radiometer)	36 km	50 hrs	
L3_SM_AP	Soil Moisture (Radar + Radiometer)	9 km	50 hrs	
L4_SM	Soil Moisture (Surface and Root Zone)	9 km	7 days	Science Value-Added
L4_C	Carbon Net Ecosystem Exchange (NEE)	9 km	14 days	

Figura 2 – Descrição dos produtos SMAP, resolução espacial e natureza dos dados.

Fonte: Reichle et al., 2014

A resolução temporal do produto L4\_SM que foi utilizado neste artigo é de 3 horas, o que fornece um total de 8 imagens por dia, considerando o recorte temporal desta pesquisa de 1 de abril de 2015 a 31 de julho de 2016, foram coletadas um total de 3904 imagens para umidade do solo na superfície e, 3904 imagens para umidade do solo na zona de raiz, totalizando 7808 imagens de todo o território nacional. Essa grande quantidade de dados é denominada na literatura como “big data” ou “massive data”. O processamento destes dados requer tempo e esforço computacional.

No intuito de obter uma média mensal a partir dos dados coletados, o primeiro passo foi gerar um recorte nos limites do território nacional para todas as imagens, com isso pôde-se manter apenas os valores que se localizavam dentro da área de



interesse. Em seguida, foi gerada uma imagem média utilizando todas as imagens de um mesmo mês, deste modo, obteve-se uma imagem média por mês durante o período estudado de abril de 2015 a julho de 2016.

Na sequência, todas as imagens mensais foram transformadas do formato matricial para o formato vetorial de pontos, por meio de um modelo orientado a objetos em software de sistemas de informação geográfica SIG, que busca de forma iterativa todos os arquivos de um determinado formato e aplica uma determinada função projetada pelo usuário, que neste caso, refere-se ao recorte no limite nacional e conversão de formatos (**Figura 3**). Esse procedimento foi necessário para extração das estatísticas nos limites de cada bioma. Por fim, as informações foram coletadas e tabuladas em planilha Excel para posterior análise.

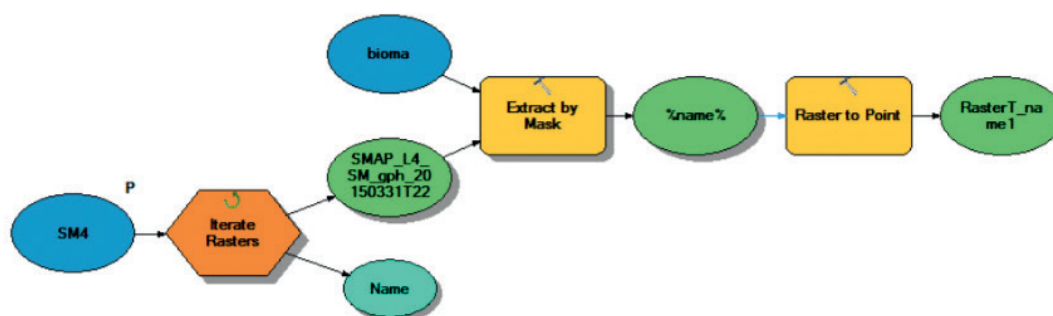


Figura 3 – Modelo utilizado para recorte das imagens no limite nacional.

### 3.5 Pluviometria

Atualmente é possível obter dados de estimativa de precipitação por meio da coleta *in situ* com pluviômetros, antenas de radar em solo ou a nível orbital a partir de satélites de monitoramento climático da terra. O principal fator determinante na escolha do dado a ser utilizado é a escala de trabalho. Considerando essa premissa e a escala macro desta pesquisa, optou-se por utilizar os dados orbitais de satélite.

Dados de precipitação são coletados por alguns satélites, como: *Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)* e a missão *Global Precipitation Measurement (GPM)*, o fato é que dependendo do recorte temporal da pesquisa, alguns destes dados já não estão mais disponíveis, a exemplo disto temos o TRMM que coletou sua última informação em 15 de abril de 2015. O seu sucessor GPM é um dos satélites que está ativo até a data atual.

A missão GPM é uma parceria internacional liderada pela NASA e pela Agência de Exploração (JAXA). A missão consiste em manter uma constelação de satélites adicionais em parceria entre Estados Unidos, Japão, França, Índia e União Europeia. Os satélites da constelação são equipados com avançados sistemas de radar/radiômetro a fim de padronizar medidas de precipitação. A missão GPM, fornece aos usuários medidas de intensidade e variabilidade de precipitação, estrutura tridimensional de nuvens e sistemas de tempestades, microfísica do gelo e partículas

líquidas das nuvens e quantidade de água que cai na superfície terrestre.

Outra vantagem deste dado é a sua integração com dados de solo, como as estações pluviométricas, deste modo, aumenta-se a acurácia do dado orbital e conseqüentemente têm-se uma análise mais consistente de modelos de previsão do tempo, modelos climáticos, modelos hidrológicos integrados e previsões de furacões, deslizamentos de terra e secas.

O satélite GPM encontra-se em uma órbita a 407 km de distância, com ângulo de inclinação de 65° a uma velocidade de 7 km/s. Sua órbita é circular não sol síncrona, com duração de 93 minutos, portanto um total de 16 órbitas por dia, ou seja, uma resolução temporal de 01h30min. O satélite foi projetado para uma vida útil de 3 anos.

Seguindo o mesmo raciocínio de coleta das imagens de umidade do solo, foram coletadas 7808 imagens de precipitação diária em mm/h. O código do produto utilizado é o GPM\_3IMERGHHE\_03. Após a aquisição das imagens, todas foram recortadas nos limites do território nacional, utilizando o modelo da **Figura 3** e, em seguida, foram geradas as imagens mensais com valores médios para os meses de abril de 2015 a julho de 2016, utilizando álgebra de mapas em software de sistemas de informação geográfica (SIG).

A partir desta etapa, as imagens mensais foram transformadas do formato matricial para o formato vetorial de pontos, para viabilizar a extração das informações contidas em cada pixel. Neste sentido, foram extraídas as informações de intensidade de precipitação por bioma no recorte temporal já especificado. Todos os dados foram armazenados em planilha Excel para posterior análise.

### 3.6 NDVI

O índice de vegetação de diferença normalizada é um produto gerado pelos sensores Terra e Aqua, a bordo do satélite MODIS, que busca fornecer subsídios à comunidade científica sobre os processos biofísicos / bioquímicos de superfícies cobertas por vegetação. As imagens são obtidas a nível global com diferentes resoluções espaciais, dependendo do produto adquirido, variando entre 250m, 1km ou 0,05°. A resolução temporal das imagens é de 16 dias ou mensais.

As imagens de NDVI são produzidas por meio da **Equação 1**, de forma indireta utilizando as medidas do comprimento de onda e a intensidade da luz visível, mais especificamente a banda do vermelho (V), e do infravermelho próximo (IVP), captado pelos sensores.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \text{ Equação 1}$$

O principal objetivo das imagens NDVI é monitorar as alterações na vegetação do planeta, para que os cientistas possam estudar as relações entre a qualidade da vegetação e os impactos no meio ambiente. A partir destas imagens, é possível identificar onde as plantas estão mais saudáveis, ou seja, realizando a fotossíntese e

onde elas estão sob estresse, o que indica, dentre outros fatores, a falta de água, que por sua vez está diretamente relacionada com a umidade do solo.

Considerando a periodicidade mensal das imagens, foram coletadas 16 imagens para o período de abril de 2015 a julho de 2016. Todas as imagens foram recortadas no limite nacional e depois transformadas do formato matricial raster para o formato vetorial de pontos utilizando o modelo da **Figura 3**. Em seguida, foram coletadas as informações gravadas nos pixels das imagens referentes ao vigor da vegetação, por bioma e, para o recorte temporal especificado. Todas as informações foram armazenadas em planilha Excel para posterior análise.

### 3.7 Análises Exploratória e Comparativa dos Dados

Os valores médios mensais de umidade do solo na superfície, umidade do solo na zona de raiz, pluviometria e NDVI, foram organizados por bioma e para o recorte temporal especificado anteriormente em todo o território nacional.

Estas informações foram utilizadas para gerar gráficos, comparando num primeiro momento, as médias mensais entre as variáveis das imagens de satélites e, num segundo momento, comparando as médias mensais entre os biomas para cada variável (umidade do solo na superfície, umidade do solo na zona de raiz, pluviometria e NDVI). A partir destes gráficos, buscou-se compreender se havia algum padrão entre as variáveis ou entre os biomas.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A priori, os dados revelam o que já era esperado, existe uma tendência que acompanha as características de cada bioma, ou seja, onde há muita precipitação, tem-se alta umidade do solo tanto na superfície, quanto na zona de raiz e, conseqüentemente alto valor de NDVI, já que as plantas teriam disponibilidade de água suficiente para fazer a fotossíntese. A primeira análise foi feita considerando as variáveis por biomas, nota-se que existe uma semelhança entre alguns biomas como ilustra a **Figura 4**.

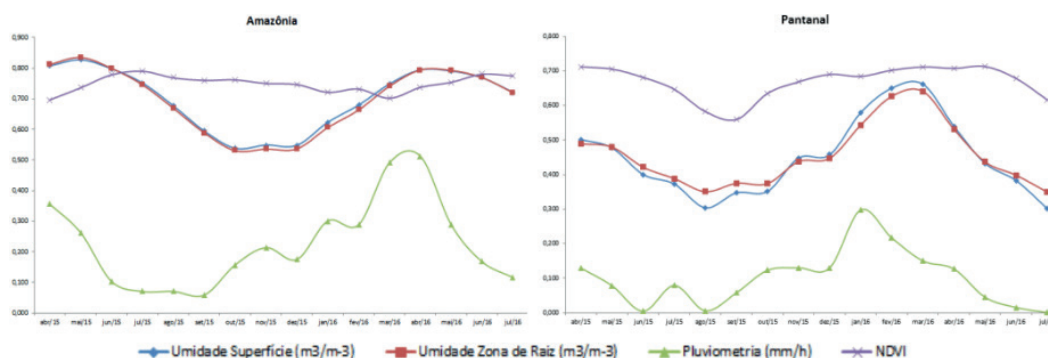


Figura 4 – Comparação entre as variáveis, umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para os biomas Amazônia e Pantanal.

O bioma Amazônia apresentou um índice de vegetação (NDVI) mais constante ao longo do período estudado, este fato pode ser explicado pela densa estrutura florística deste bioma. Esta densidade evita que um maior fluxo de evapotranspiração ocorra e com isso mantém o solo mais úmido, conseqüentemente, as plantas terão uma maior quantidade de água disponível para uso por mais tempo e, assim, estarão com a sua atividade fotossintética sempre alta.

Dentre os biomas estudados, o Pantanal é o mais parecido com a Amazônia, porém nota-se uma queda mais acentuada nos meses de julho a outubro, que são meses onde ocorre menor volume de precipitação. A distribuição da precipitação nos dois biomas é bem similar, contudo, o bioma Amazônia se diferencia por ter maior quantidade. A umidade do solo acompanha a pluviometria, as duas variáveis estão diretamente correlacionadas, e nos dois casos apresentados não há discrepâncias neste sentido.

O bioma Mata Atlântica (**Figura 5**), apresentou maior correlação entre as variáveis analisadas. O NDVI teve um comportamento semelhante à umidade do solo, tanto na zona de raiz, quanto na superfície, que por sua vez acompanharam a distribuição da precipitação para o período analisado.

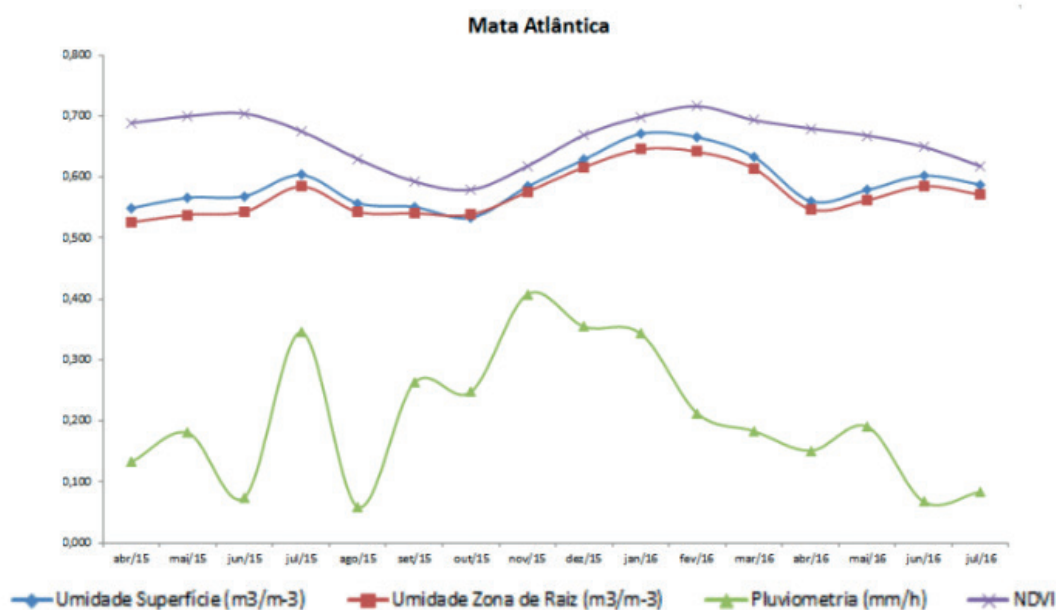


Figura 5 – Umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para o bioma Mata Atlântica.

Os dados revelam que o bioma Cerrado e Caatinga (**Figura 6**) têm características climáticas e físicas semelhantes. Os dois tem um período de seca severa entre os meses de maio a outubro, sendo que na Caatinga esse período se entende um pouco mais, e vai até dezembro. Geralmente são nove meses de seca e apenas de 2 a 3 meses de precipitação (Costa et al., 2016). A partir daí, os dois biomas apresentam

uma quantidade maior de precipitação. Vale destacar que os valores de precipitação no bioma Caatinga nos períodos de seca chegam a quase zero.

Nestes biomas nota-se uma particularidade em relação à umidade do solo, nos biomas Amazônia, Pantanal e Mata Atlântica quase não há diferenças entre a umidade na superfície e na zona de raiz, já no Cerrado essa diferença é expressiva e, pode ser explicada pelo tipo de solo predominante na região, profundos e porosos. Na Caatinga, a umidade na superfície é menor do que na zona de raiz, justamente pelo fato da haver pouca precipitação, além de solos rasos e pedregosos, o que dificulta o acúmulo de água na superfície, esses fatores na verdade aumentam a evaporação.

O NDVI se mantem de acordo com a precipitação, valores baixos nas épocas de seca e, altos nas épocas de maior precipitação. Os valores mínimos de NDVI para o período analisado estão entre 0,4 e 0,3 para o Cerrado e Caatinga respectivamente. Em relação aos outros biomas que tem valores mínimos em torno de 0,6, podem ser considerados abaixo da média. Apesar da formação vegetal destes locais terem como característica a resistência e raízes profundas, isso mostra que nestas regiões há um déficit hídrico.

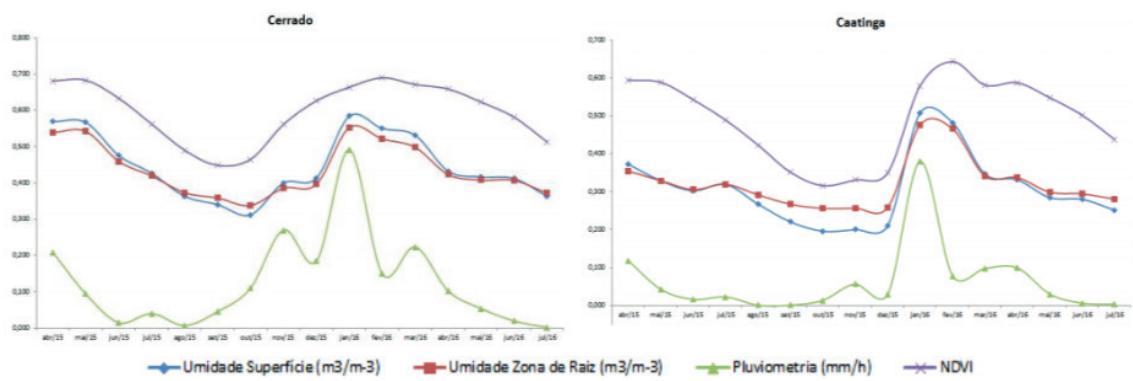


Figura 6 – Comparação entre as variáveis, umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para os biomas, Cerrado e Caatinga.

O bioma Pampa (**Figura 7**) apresentou um comportamento diferenciado em relação aos outros biomas. Em todos os biomas analisados, notou-se que o NDVI variou conforme a precipitação e umidade do solo. No caso do bioma Pampa, enquanto a umidade do solo e a precipitação aumentava o NDVI diminuía, se comportando na contramão dos outros biomas.

Para responder a essa discrepância, analisou-se as características do bioma Pampa, que possui grandes áreas alagadas, deste modo, quando se tem elevadas taxas de precipitação a umidade do solo aumenta proporcionalmente, no entanto em locais onde a vegetação está coberta por água o sensor de satélite que capta a energia eletromagnética refletida da superfície, recebe um fraco sinal destes locais vegetados, ou a energia é absorvida pela água totalmente e não retorna, ou retorna ao sensor de forma reduzida, o que faz com que os valores de NDVI sejam baixos nestas circunstâncias.



Por outro lado, quando a umidade do solo está baixa e há pouca precipitação, os locais que foram alagados secam e a vegetação passa a fazer a fotossíntese de forma mais vigorosa e, essa energia é captada pelos sensores em sua totalidade.

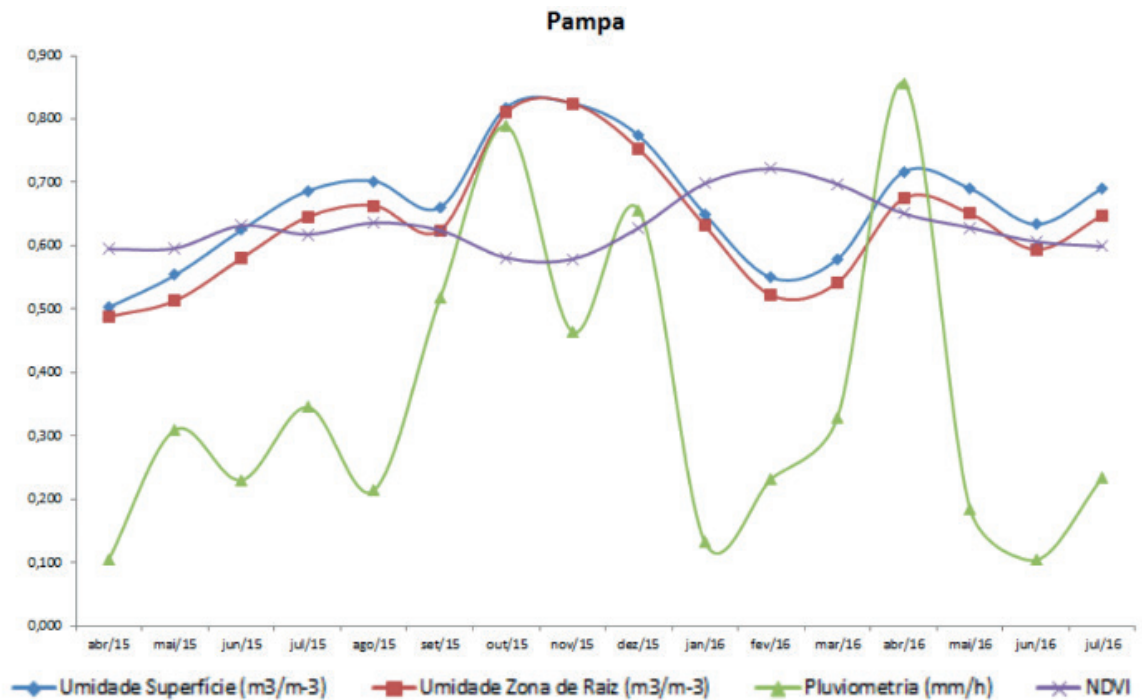
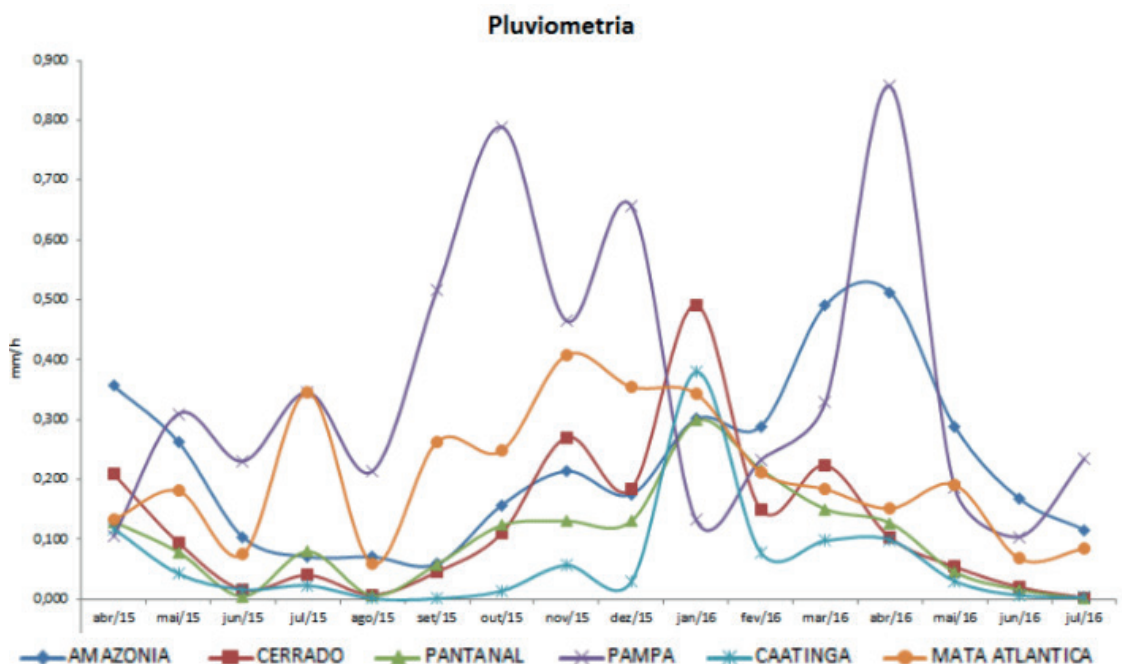


Figura 7 – Umidade do solo na superfície, zona de raiz, pluviometria e NDVI para o bioma Pampa.

Comparou-se cada variável em relação aos biomas. O regime pluviométrico teve um comportamento semelhante em todos os biomas, menos no bioma Pampa. Mais especificamente no mês de janeiro enquanto houve um aumento da precipitação em todos os biomas, o Pampa apresentou uma queda expressiva neste mês, como mostra a **Figura 8**. No entanto devido à impossibilidade de analisar essa queda em um contexto temporal mais extenso, não se pode afirmar que apenas o bioma Pampa tem menor precipitação nos meses de janeiro.



Como a umidade do solo e o NDVI estão diretamente relacionados com a precipitação, a resposta para estas variáveis manteve a mesma tendência observada na precipitação, considerando as diferenças quantitativas entre os biomas, com todos eles acompanhando a variabilidade ao longo do tempo, menos o bioma Pampa, que apresentou um comportamento inverso no mês de janeiro de 2016. O reflexo na umidade do solo veio um mês depois, já o NDVI só começou a reduzir a partir de março.

## 5 | CONCLUSÃO

As diferenças entre os biomas podem ser caracterizadas pelos dados climáticos e pelo comportamento do índice de vegetação? A partir da exploração dos dados coletados e, considerando o período analisado de 16 meses, observa-se que somente com as variáveis de precipitação, umidade do solo e NDVI, podem-se perceber diferenças quantitativas, porém não é possível caracterizar um ou outro bioma considerando somente as informações analisadas.

Sugere-se que outras variáveis, como: tipo de solo, evapotranspiração, temperatura da superfície, relevo, que são variáveis diretamente relacionadas à umidade do solo, sejam incluídas na análise, para verificar a possibilidade de encontrar diferenças que caracterize um ou grupos de biomas.

## REFERÊNCIAS

- Ahrens, C. D. **Meteorology today**. Thomson Brooks/Cole, CA, USA. 537 pp, 2007.
- Alemohammad, S. H. et al. **Characterization of Vegetation and Soil Scattering Mechanisms across Different Biomes using P-band SAR Polarimetry**. arXiv preprint arXiv:1611.02729, 2016.
- Ambrizzi, T. et al. **Cenários regionalizados de clima no Brasil para o Século XXI: Projeções de clima usando três modelos regionais**. Ministério Do Meio Ambiente-MMA, Secretaria De Biodiversidade E Florestas-SBF, Diretoria De Conservação Da Biodiversidade, 2007.
- Buxton, M.; Osman-Schlegel, N. Y.; Lopes, D. **Soil moisture change and land use in Victoria, Australia**. Australian Journal of Environmental Management, p. 1-16, 2016.
- Costa, C. A. G. et al. **Permanência Da Efetividade Da Água Na Zona De Raízes No Bioma Caatinga**. Revista Caatinga, v. 29, n. 3, p. 692-699, 2016.
- Coutinho, L. M. **O conceito de bioma**. Acta botanica brasílica, v. 20, n. 1, p. 13-23, 2006.
- De Gasper, A. L. et al. **Varição da estrutura da Floresta Estacional Decidual no estado de Santa Catarina e sua relação com a altitude e clima**. Ciência Florestal, v. 25, n. 1, p. 77-89, 2015.
- De Menezes, J. A. L. et al. **Comportamento temporal da umidade do solo sob Caatinga e solo**

**descoberto na Bacia Experimental do Jatobá, Pernambuco.** Water Resources and Irrigation Management, v. 2, n. 1, p. 45-51, 2013.

Dick, G.; Schumacher, M. V. **Relações entre solo e fitofisionomias em florestas naturais.** Revista Ecologia e Nutrição Florestal-ENFLO, v. 3, n. 2, p. 31-39, 2015.

Kim, S. et al. **Surface soil moisture retrieval using L-band SMAP SAR data and its validation.** In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. IEEE, 2016. p. 143-146.

Matin, S.; Goswami, S. B. **Dryland characterization through geospatial techniques: a review.** International Journal of Remote Sensing and Geoscience, v. 1, n. 1, p. 34-41, 2012.

Morbidelli, R. et al. **An investigation of the effects of spatial heterogeneity of initial soil moisture content on surface runoff simulation at a small watershed scale.** Journal of Hydrology, v. 539, p. 589-598, 2016.

Piles, M. et al. **Multi-temporal microwave retrievals of Soil Moisture and vegetation parameters from SMAP.** In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. IEEE, 2016. p. 242-245.

Reichle, R. et al. **Level 4 Surface and Root Zone Soil Moisture (L4\_SM) Data Product.** 2014.

Reichle, R. H. et al. **First Results from the SMAP Level 4 Surface and Root Zone Soil Moisture (L4\_SM) Data Product.** 2016.

Shi, X. et al. **Research on soil moisture dynamic under negative pressure irrigation.** In: Advances in Energy, Environment and Materials Science: Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Materials Science (EEMS 2015), Guangzhou, PR China, August 25-26, 2015. CRC Press, 2016. p. 161.

Wu, W. **The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization.** Remote Sensing, v. 6, n. 2, p. 1211-1233, 2014.

Zhu, G. et al. **Variation of Thornthwaite moisture index in Hengduan Mountains, China.** Chinese Geographical Science, p. 1-16, 2016.

## ESTIMATIVA DA EFICIÊNCIA DO SEQUESTRO DE CARBONO EM VEGETAÇÃO NATURAL DE UMA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO, USANDO DADOS DE IMAGENS CBERS-4 EM JARDIM – MS

### **Adelsom Soares Filho**

Universidade Federal da Grande Dourados -  
UFGD

Dourados – Mato Grosso do Sul

### **Maycon Jorge Ulisses Saraiva Farinha**

Universidade Federal da Grande Dourados -  
UFGD

Dourados – Mato Grosso do Sul

### **Luciana Virginia Mario Bernardo**

Universidade do Oeste do Paraná – Uniãoeste

### **Clandio Favarini Ruviano**

Universidade Federal da Grande Dourados -  
UFGD

Dourados – Mato Grosso do Sul

**RESUMO:** A emissão de dióxido de carbono a partir de ações antropocêntricas é considerada a maior contribuição para as mudanças climáticas. Os serviços ecossistêmicos contribuem com a redução da presença deste componente na atmosfera, a partir de seu sequestro, realizado no processo de fotossíntese da vegetação. Considerando que as Unidades de Conservação são porções territoriais que mantêm a vegetação natural, buscou-se estimar suas contribuições em relação a este contexto. Assim, o objetivo desta pesquisa é estimar o potencial de sequestro de carbono existente na vegetação conservada em Reserva Privada do Patrimônio Natural, no município de Jardim, Mato Grosso

do Sul, a partir do uso de dados de imagens orbitais de sensoriamento remoto. Salienta-se que a Reserva Privada do Patrimônio Natural é uma categoria de Unidade de Conservação que tem como especificação o domínio privado da área. Para o desenvolvimento da pesquisa foi utilizado o índice CO<sub>2</sub>Flux, a partir da análise da imagem do sensor Cebers – 4 (MUX) de 14 de abril de 2018. Como resultado, foi identificado que a área de estudo obteve um índice médio de CO<sub>2</sub>Flux de 0,39 micro-mol/sq.m/s e valor máximo de 0,50 micro-mol/sq.m/s.

**PALAVRAS-CHAVE:** estimativas de sequestro de carbono, meio ambiente, índice CO<sub>2</sub>Flux.

**ABSTRACT:** Carbon dioxide emission from anthropocentric actions is regarded as the greatest contribution to climate change. Ecosystem services contribute to reducing the presence of this component in the atmosphere, from its sequestration, which is carried out in the process vegetation photosynthesis. Considering that the Conservation Units are territorial portions that maintain the natural vegetation, we sought to estimate their contributions concerning the context. Thus, the aim of this research is to evaluate the carbon sequestration potential in the conserved vegetation in Natural Heritage Private Reserve, in the city of Jardim, Mato Grosso do Sul, from the use of remote sensing orbital image data. It should be noted that

Natural Heritage Private Reserve is one category of the Conservation Units, whose specification is the private domain of the area. CO<sub>2</sub>Flux index was used for this research development from the image analysis of the Cebers sensor – 4 (MUX) of April 14, 2018. As a result, it was identified that the study area obtained an average CO<sub>2</sub> index of 0,39 micro-mol/sq.m/s and maximum value of 0,50 micro-mol/sq.m/s.

**KEYWORDS:** carbon sequestration estimative, environment, CO<sub>2</sub>Flux index.

## 1 | INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas são a principal ameaça à biodiversidade e aos ecossistemas na atualidade (HUGHES, 2000; HANSEN et al., 2001; TRAVIS, 2003; PARMESAN; YOHE, 2003) devido as elevadas concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera que contribuem para a ocorrência dessas alterações (WANG et al., 2013). O aumento dessas concentrações está relacionado em sua maior parte a gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) oriundos, principalmente, da mudança no uso da terra e pelo consumo de combustíveis fósseis (IPCC, 2013). Ademais, dentre os efeitos, a elevação da temperatura tem influenciado no processo de fotossíntese das plantas (WANG et al., 2013), suscitando desta forma, ações inovadoras a fim de auxiliar a adaptação vegetal e animal frente às mudanças climáticas. Além disso, esforços têm sido realizados para se reduzir as emissões destes gases, tanto por meio da pesquisa científica como mediante a criação de políticas públicas para as diferentes localidades (KESKITALO, 2012; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2010).

Neste contexto, o CO<sub>2</sub> é o elemento basilar desta discussão, já que suas emissões antropocêntricas representam a maior contribuição para as mudanças climáticas (CANADELL et al., 2007). Além disso, os meios pelos quais é possível reduzi-lo ou sequestrá-lo da atmosfera estão relacionados aos serviços ambientais (NINAN; INOUE, 2013). No Brasil, estes serviços são realizados pela vegetação encontrada nos diferentes biomas existentes, principalmente em áreas com maiores densidades e capacidade para preservação ambiental, como as Unidades de Conservação e as terras indígenas (SEEG BRASIL, 2017). As Reservas Particulares do Patrimônio Natural – RPPNs são uma das categorias de unidades de conservação previstas na legislação brasileira e que, comumente, são caracterizadas pela biodiversidade e pela beleza cênica. Seu diferencial em relação a outras categorias está em seus atributos de propriedade privada, ou seja, dentre os critérios para a criação da unidade está a decisão do proprietário em conservar. Além disso, são caracterizadas como perpétuas, ou seja, quando o proprietário destina uma fração ou a totalidade de sua área para a conservação dos aspectos naturais, mesmo que a propriedade seja comercializada ou herdada ela continuará sendo uma unidade de conservação (BRASIL, 2000). Observa-se que a importância das áreas protegidas privadas, está na complementação da



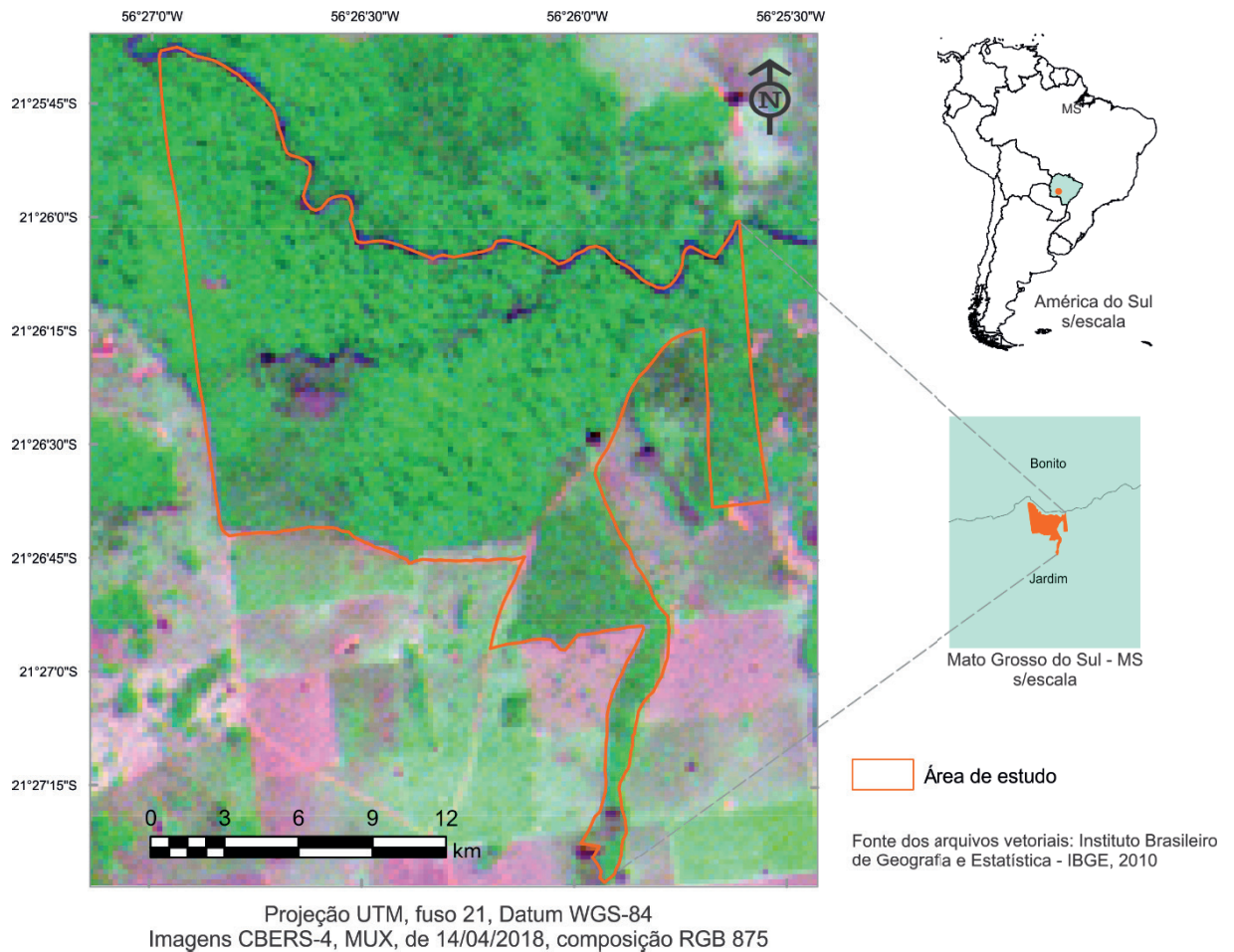
proteção da biodiversidade realizada pelas áreas públicas (RODRIGUES et al., 2014) já que muitas espécies ameaçadas estão localizadas apenas em terras privadas (KRUG, 2001; FIGGIS; HUMANN; LOOKER, 2005, FISHER; DILLS, 2012).

Dentre os objetivos da criação de uma RPPN está a restauração da vegetação natural (BRASIL, 2000). Esta restauração é considerada uma medida importante para a remediação ambiental em ecossistemas degradados. Dentre as contribuições existentes nesta medida está o sequestro de carbono (PIAO et al., 2009; HUANG et al., 2012). Contudo, a restauração da vegetação natural para contribuir com as funções relacionadas a um ecossistema necessita de longo prazo (WATSON et al., 2000). Desta forma, a característica de perpetuidade das RPPNs tende a contribuir com essa restauração ambiental. Esta pesquisa tem como objetivo estimar a eficiência do sequestro de carbono existente na vegetação conservada em Reserva Privada do Patrimônio Natural no município de Jardim, Mato Grosso do Sul, a partir do uso de dados oriundos de imagens do satélite sino-brasileiro de recursos terrestres Cbers-4.

## **2 | MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Caracterização da área de estudo e seleção de cena**

A área da pesquisa localiza-se no Município de Jardim, Estado de Mato Grosso do Sul, distante 34 quilômetros da área urbana da cidade, inserida no Planalto da Bodoquena, a 90 quilômetros da fronteira com o Paraguai. Localizada no corredor de biodiversidade Miranda – Serra da Bodoquena (MANSO; PIVATTO, 2007), a Unidade de Conservação possui uma área de 307,53 hectares (Figura 1).



**Figura 1:** Localização da Unidade de Conservação

Utilizou-se as cenas do satélite Cebers – 4 sensor multiespectral MUX, órbita/ponto 165-124, com resoluções espacial de 20 metros e radiométrica de 8 bits. O arquivo contendo as bandas 5 (0.45 a 0.52  $\mu\text{m}$ ), 6 (0.52 a 0.59  $\mu\text{m}$ ), 7 (0.63 a 0.69  $\mu\text{m}$ ) e 8 (0.77 a 0.89  $\mu\text{m}$ ), na faixa espectral do visível ao infravermelho próximo, foi obtido no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Utilizou-se como critério de seleção o período com menor cobertura de nuvens, bem como a atualidade da informação gerada com a cena que se data em 14 de abril de 2018. Cabe ressaltar que a cena cobre toda unidade de conservação estudada em um único dia, evitando assim que haja variações sazonais e fenológicas.

## 2.2 Processamento dos Dados

Após a seleção da cena foi realizada a correção atmosférica de reflectância aparente para reflectância de superfície. A atividade é realizada com o intuito de corrigir distorções nas cenas que podem ocorrer por diferentes motivos, como a curvatura da Terra ou sua rotação no momento em que a cena foi confeccionada (MENESES; ALMEIDA, 2011). A correção atmosférica tem por objetivo minimizar as distorções espectrais. Para isso, foi utilizado o *software* Envi 5.5 e o método *Quick Atmospheric Correction* – QUAC, disponível no *software*. Este método utiliza os parâmetros obtidos diretamente da cena sem informações auxiliares.

O primeiro índice utilizado é o NDVI (1) (ROUSE et al., 1973). As bandas 7 e 8 foram utilizadas para o cálculo do Índice de Vegetação por diferença Normalizada – NDVI. A opção pelo uso do NDVI é devido ao fato deste índice tender a uma proporcionalidade linear em relação à quantia da biomassa contida na área de estudo (ALMEIDA et al., 2012).

$$NDVI = \frac{(\rho_{NIR} - \rho_{RED})}{(\rho_{NIR} + \rho_{RED})} \quad (01)$$

$\rho_{NIR}$  = Reflectância no infravermelho próximo (0.84 $\mu$ m);

$\rho_{RED}$  = Reflectância no vermelho (0.66 $\mu$ m).

O índice tem resultados que estão no intervalo de [-1;1], sendo considerado maior densidade de cobertura vegetal resultados próximos ou igual a 1 e, resultado zero indicando a ausência de vegetação e presença de recursos hídricos (ROUSE et al., 1973). Utilizando o NDVI é possível mapear a vegetação fotossinteticamente ativa da área de estudo, o que permite estimar a biomassa da vegetação e relacioná-la ao estoque de carbono (COLTRI et al., 2009), tendo em vista que o NDVI está relacionado às características estruturais da vegetação (ROUSE et al., 1973; MENESES et al., 2011; GALVÃO et al., 2016).

O segundo índice utilizado é o CO<sub>2</sub>Flux, que tem a finalidade de medir a eficiência do processo de sequestro de carbono pela vegetação, ou seja, a taxa de fotossíntese no processo de fotossíntese (RAHMAN et al., 2000). Para que isto seja identificado é necessário o cálculo do Índice de Vegetação Fotossintético – PRI (2) (GAMON, et al., 1979). Para a elaboração deste índice, foram utilizadas as bandas 5 e 6, calibradas para reflectância do sensor MUX. O PRI estima os pigmentos de carotenoides da folhagem. Estes pigmentos, por sua vez, indicam a taxa de armazenagem de dióxido de carbono nas folhagens (RAHMAN et al., 2000; FOLHARINI; OLIVEIRA, 2017).

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

**A** = Reflectância na banda azul (0.485 $\mu$ m);

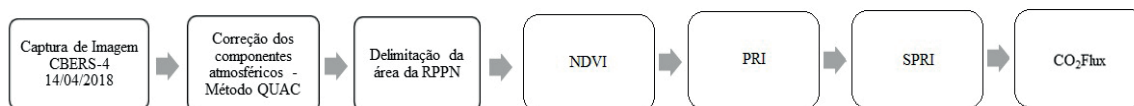
**Ve** = Reflectância na banda verde (0.555  $\mu$ m).

Contudo, os resultados do PRI precisam ser reescalados, resultando em valores positivos. Para isso é necessário gerar o sPRI (3) (BAPTISTA, 2003; BAPTISTA, 2004; MARTINS; BAPTISTA, 2013).

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

Desta forma o índice CO<sub>2</sub>Flux é o resultado da multiplicação entre o NDVI e o sPRI, em que há uma relação entre o índice PRI, que indica a eficiência do uso da luz na fotossíntese, com o NDVI que demonstra o vigor da vegetação fotossinteticamente ativa, em que este pode ser capaz de captar absorções oriundas do sequestro de carbono (RAHMAN et al., 2000).

Em síntese os procedimentos metodológicos podem ser representados na Figura 2.

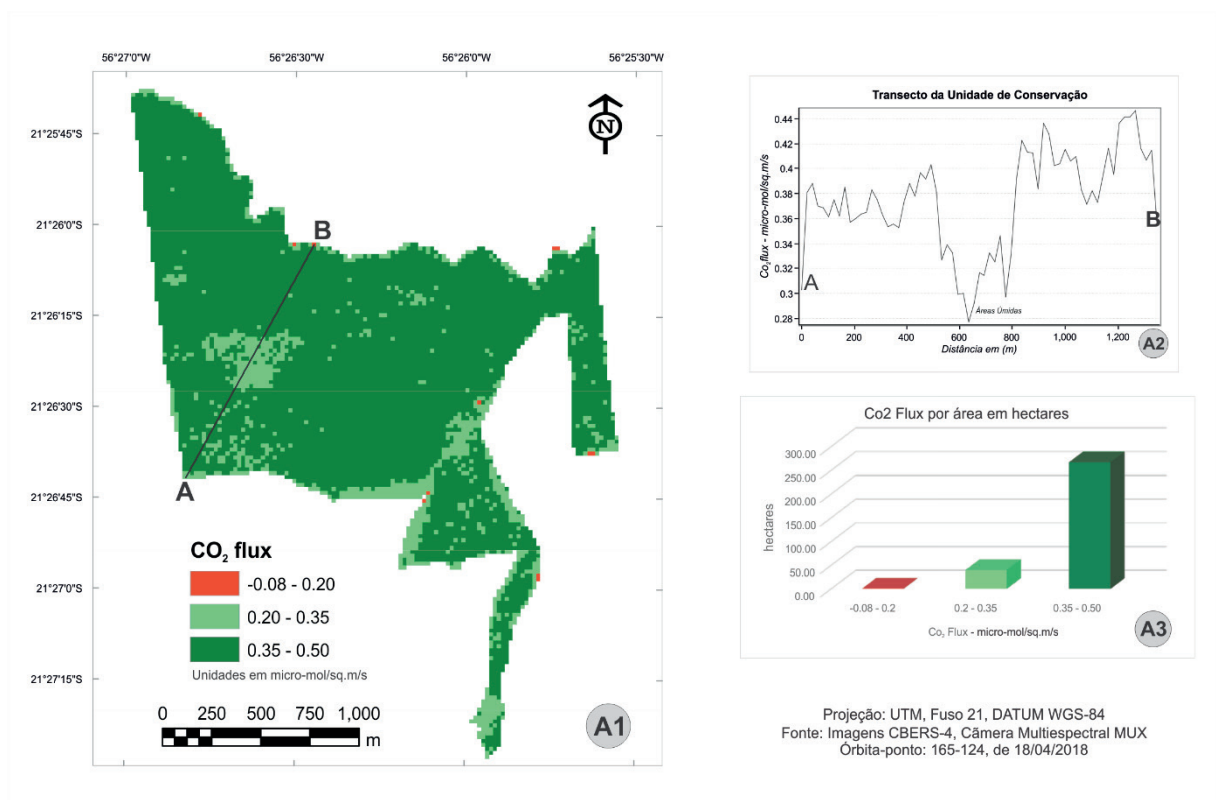


**Figura 2:** Etapas do processamento metodológico da pesquisa

Denota-se que as técnicas de sensoriamento remoto possibilitam caracterizar e monitorar os recursos naturais, tendo em vista que a extração de informações das imagens orbitais permite a realização de análises regionais em escalas temporais e espaciais. Os avanços tecnológicos referentes aos sensores e suas resoluções espacial, espectral e temporal, ampliaram a qualidade das análises realizadas.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados identificados com o índice CO<sub>2</sub>Flux foram representados na Figura 3. Depreende-se que a maioria da área da Unidade de Conservação (aproximadamente 267 hectares) obteve resultado entre o intervalo de 0,35 a 0,50 micro-mol/sq.m/s do índice. Em relação à média do fluxo identificado na RPPN, o valor corresponde a 0,39 micro-mol/sq.m/s, com desvio padrão de 0,04. Além disso, seu valor de mínimo foi de -0,08 micro-mol/sq.m/s, que se refere à áreas úmidas presentes na unidade de conservação, tendo em vista que a RPPN tem em seu limite norte o Rio da Prata e seu valor máximo de 0,50 micro-mol/sq.m/s, como representado na figura. O transecto A-B demonstra a existência de variação nos valores do CO<sub>2</sub>Flux na área, o que representa valores menores e maiores do mesmo. Isto pode estar relacionado tanto à diversidade vegetativa existente na Unidade de Conservação, como às áreas úmidas, em que há presença de recursos hídricos.



**Figura 3:** Mapeamento do índice CO<sub>2</sub> Flux 2018, em RPPN de Jardim - Mato Grosso do Sul

Depreende-se que a vegetação que compõe a RPPN pode ser caracterizada como áreas de justaposição e interpenetração de Savana/Floresta Estacional, sendo composta por: (I) Floresta Estacional Semidecidual Aluvial; (II) Floresta Estacional Semidecidual Submontana; (III) Floresta Paludosa; (IV) Campo Úmido; (V) Savana Lenhosa Florestada e Arborizada; (VI) Savana Gramíneo-Lenhosa e Arborizada; (VII) Savana Arborizada e (VIII) Savana Florestada. Desta forma, na justaposição ou encraves há mosaicos de vegetação com nítida caracterização da identidade florística e fisionômica. No caso da interpenetração, não se pode identificar a vegetação dominante na área. Além disso, há espécies vegetais que ocorrem exclusivamente em áreas específicas da RPPN. Áreas residuais de matas existentes possibilitam a manutenção do ecossistema local, incluindo a conservação da biodiversidade dos recursos naturais. Foram identificadas 406 espécies de vegetação inclusas em 78 famílias de angiospermas de porte arbóreo, arbustivo, herbácea e lianas (MANÇO; PIVATTO, 2007).

Em relação à vegetação natural que está conservada devido à existência da RPPN, percebe-se a importância da área para a biodiversidade, considerando que a conversão da vegetação natural para paisagem modificada pelo homem é um fator exponencial para sua redução (GARDNER et al., 2009). Outro fator benéfico relacionado à conservação da área refere-se à absorção de CO<sub>2</sub>, realizada no processo de fotossíntese pela vegetação natural existente e identificada com o índice CO<sub>2</sub> Flux ao apresentar valores positivos como resultado. Assim, há o indicativo de que a unidade de conservação reduz o volume de CO<sub>2</sub> da atmosfera. Cabe ressaltar que o dióxido de



carbono é considerado o principal elemento contribuidor para as mudanças climáticas (CANADELL et al., 2007). Outro aspecto que deve ser considerado como benéfico para a conservação da área é o fato desta fazer fronteira com o Rio da Prata e possuir, interna a ela, um afluente: o Rio Olho D'água. Depreende-se que estes recursos hídricos são considerados por legislação estadual - Lei 1.871/1998, espaços com necessidades especiais para proteção de suas margens (MATO GROSSO DO SUL, 1998). E ainda, que águas doces são os ecossistemas mais ameaçados do mundo, por conta da necessidade do homem de consumir este recurso ambiental (VÖRÖSMARTY et al., 2010). Além disso, a tendência do homem em habitar e desenvolver atividades produtivas próximas a essas áreas resulta em mudanças na vegetação natural. Assim, os benefícios da existência de uma Unidade de Conservação, estão vinculados a diferentes serviços ecossistêmicos que beneficiam a existência humana.

Miller (1997) reforça estes benefícios ambientais ao ressaltar que os usos atuais e futuros de diferentes recursos naturais como água, plantas medicinais, entre outras matérias-primas, justificam a criação e manutenção de áreas de conservação. Além destes atributos, acredita-se que a preservação destes espaços contribui também para a conservação cultural e histórica relacionada ao mesmo. Em algumas situações os mecanismos sociais e comunitários auxiliam a regular o acesso e uso destas áreas.

Ao ser considerado o viés econômico e social relacionado à classificação da RPPN em uso sustentável, ou seja, a disponibilidade de uso dos recursos naturais para atividades turísticas, de forma a causar baixos impactos ambientais na área, há contribuições com a geração de emprego e renda para os municípios e regiões em que a RPPN está localizada. O turismo, de forma geral, é considerado uma possibilidade de ampliar o desenvolvimento de uma localidade ou região, uma vez que atrai recursos econômicos a partir das atividades que se realizam no atrativo turístico disponível e em outras atividades que são oferecidas no local ou na região que não estão relacionadas ao setor (Pereira; Almeida, 2009; Araújo, 2014). Principalmente se for considerado que em Mato Grosso do Sul 40% dos atrativos turísticos são naturais e ecológicos (SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, 2015).

Por fim, ressalta-se que Silva e Baptista (2015) consideram que a possibilidade de serem realizadas estimativas do fluxo de CO<sub>2</sub> por meio de medidas indiretas como o uso de sensoriamento remoto é um avanço que beneficia os estudos realizados sobre o assunto. Estes autores consideram ser eficiente o índice CO<sub>2</sub>Flux para análises pontuais, como esta análise realizada.

#### **4 | CONCLUSÃO**

O estado de Mato Grosso do Sul pode ser considerado biodiverso, pois tem suas áreas distribuídas em três biomas: Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. Esta

diversificação ambiental torna o estado interessante para os estudos relacionados ao meio ambiente. Dessa forma, pode ser considerado um estado com diferentes demandas ambientais, tendo em vista as diferentes características existentes em cada bioma. Acredita-se que a conservação ambiental neste contexto possibilita a continuidade da existência desta biodiversidade, bem como o cumprimento do direito presente na Constituição Federal em relação ao acesso das futuras gerações ao meio ambiente.

Estudos direcionados às unidades de conservação contribuem para divulgar a importância da existência destas áreas. Além disso, podem gerar informações que possam ser utilizadas no processo de tomada de decisão para criação de novas áreas a partir da identificação dos benefícios que estas proporcionam, ainda mais considerando as mudanças climáticas que estão ocorrendo no globo e que poderão trazer diferentes alterações aos serviços ecossistêmicos. As discussões referentes ao meio ambiente e às unidades de conservação precisam ser aproximadas das pessoas, para que estas compreendam sua relação com as mesmas.

Depreende-se que o uso de geotecnologias nos estudos ambientais possibilita a reaplicação dos estudos propostos em espaços com menor, maior ou igual área e com período de análise igual ou distinto. Tendo em vista que o uso das geotecnologias promove o acesso a informações em diferentes escalas e temporalidades, pode-se dizer que também contribuem na redução do tempo e do custo das análises realizadas sobre determinado espaço. As imagens Cbers-4 demonstraram grande potencial para tal aplicação, com resultados robustos e confiáveis.

Dentre as potencialidades produtivas do estado de Mato Grosso do Sul com relação ao ambiente rural está a produção de alimentos e as atividades de turismo. As RPPNs podem contribuir com ambas as atividades, isso sendo viabilizável mediante a criação de microclimas que auxiliam na produção alimentar e no desenvolvimento do turismo sustentável (LOPES et al., 2011). Depreende-se que, em ambos os casos, são possibilitados fatores positivos para que os indivíduos residentes no espaço rural ali possam permanecer com boa qualidade de vida. Assim, além de características ambientais, podem ser atribuídas às unidades de conservação características econômicas e sociais que auxiliam no desenvolvimento local.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T.; BAPTISTA, G. M. M.; BRITES, R. S.; MENESES, P. R.; ROSA, A. N. C. S.; SANO, E. E.; SOUZA, E. B. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**, UnB, Brasília, 2012.

ARAÚJO, L. L. B. **A aplicação do conceito de região no Plano de Desenvolvimento Sustentável da Região Turística (PDSRT) do Meio-Norte (Brasil)**. Geografia Ensino & Pesquisa, 18(2), p. 25-38, 2014.

BAPTISTA, G.M.M. **Validação da Modelagem de Sequestro de Carbono para Ambientes Tropicais de Cerrado, por meio de Dados AVIRIS e HYPERION**. Anais..., XI Simpósio Brasileiro de

Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte. p.1037-1044, 2003.

\_\_\_\_\_. **Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO<sub>2</sub> em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral.** Geografia (Rio Claro), v.29, p.189-202, 2004.

BRASIL. **Lei nº 9.985/2000** - Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. 2000. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L9985.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm)>. Acesso em: dez. 2016.

COLTRI, P.P.; RAMIREZ, G.M.; WALTER, M.K.C.; JUNIOR, J.Z.; PINTO, H.S.; NASCIMENTO, C.R.; GONÇALVES, R.R.V. **Utilização de índices de Vegetação para Estimativas não Destrutivas da Biomassa, Estoque e Sequestro de Carbono no Cafeeiro Arábica.** XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal. p.121-128, 2009.

FIGGIS, P.; HUMANN, D.; LOOKER, M. **Conservation on private land in Australia.** Parks, v.15, n.2, p.19-29, 2005.

FISHER, J.R.B.; DILLS, B. **Do private conservation activities match science-based conservation priorities?** PLoS ONE, v.7, n.9, 2012.

FOLHARINI, S. O.; DE OLIVEIRA, R. C. **Cálculo do índice espectral CO<sub>2</sub> Flux em área de mata atlântica e sua relação com processos gravitacionais no Município de Cubatão.** Anais.... XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas, p. 4642-4653, 2017.

GALVÃO, L. S.; EPIPHANIO, J. C. N.; BREUNIG, F. M.; FORMAGGIO, A. R. Crop Type Discrimination Using Hyperspectral Data. In: LYON, J. G.; THENKABAIL, P. S. (org.), **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation.** Boca Raton: CRC Press, 2016.

GAMON, J.A.; 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, 112(4), 492-501, 1997.

GARDNER, T.A., BARLOW, J., CHAZDON, R., EWERS, R.M., HARVEY, C.A., PERES, C.A., SODHI, N.S. **Prospects for tropical forest biodiversity in a human-modified world.** Ecology Letters, v.12, p. 561–582, 2009.

HANSEN, A.J.; NEILSON, R.P.; DALE, V.H.; FLATHER, C.H.; IVERSON, L.R.; CURRIE, D.J.; et al. **Global change in forests: responses of species, communities, and biomes.** Bioscience, v.51, p.765–779, 2001.

HUANG, L.; LIU, J.; SHAO, Q.; XU, X. **Carbon sequestration by forestation across China: past, present, and future.** Renewable Sustainable Energy Reviews, v.16, p.1291-1299, 2012.

HUGHES, L. **Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?** Trends in Ecology Evolution, v.15, p.56-61, 2000.

IPCC. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, 2013.

KRUG, W. **Private supply of protected land in southern Africa: a review of markets, approaches, barriers and issues.** World Bank/OECD International Workshop on Market Creation for Biodiversity Products and Services. Paris, France: World Bank. 42 p., 2001.

LOPES, R. M.; MARIANO, Z. F.; CABRAL, J. B. P.; ROCHA, J. R. R. **Análise microclimática da Reserva Particular do Patrimônio Natural Pousada das Araras Serranópolis – GO.** Revista

Geográfica de América Central, v. 2, n. 47 E, p. 1-16, 2011.

MANSO, D. G.; PIVATTO, M. A. C. **Diagnóstico e plano de manejo da reserva privada do patrimônio natural Cabeceira do Prata – Jardim/MS**. Imasul, 358p., 2007.

MARTINS, L. N.; BAPTISTA, G. M. M. **Análise multitemporal do sequestro florestal de carbono no projeto de assentamento Carão, Acre**. Revista Brasileira de Geografia Física, v.6, n.6, p.1648-1657, 2013.

MATO GROSSO DO SUL. **Lei nº 1.871/2008** - Estabelece a forma de conservação da natureza, proteção do meio ambiente e defesa das margens nas áreas contíguas aos Rios da Prata e Formoso, e dá outras providências. Available from: file:///C:/Users/Maycon/Downloads/LEI%20N%C2%BA%201871%20Faixa%20de%20Prote%C3%A7%C3%A3o%20especial%20do%20rio%20Formoso%20e%20Prata.pdf.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. (Org). **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UNB e CNPQ. Brasília, 2011.

MILLER, K. R. **Evolução do conceito de áreas de proteção — oportunidades para o século XXI**. In: Anais do I Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, v. 1, p. 3-21, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Adapting to the impacts of climate change**. International Journal of Health Geographics, 7, Washington D.C., 2010.

NINAN, K. N.; INOUE, M. **Valuing forest ecosystem services: What we know and what we don't**. Ecological Economics, v.93, p.137-149, 2013.

PARMESAN, C.; YOHE, G. **A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems**. Nature, v.421, p.37-42, 2003.

PEREIRA, C. H.; MARTINS, P. C. S.; LUNAS, J. R. S.; AQUINO, J. M. **Efeito multiplicador do turismo na fronteira entre Brasil e Paraguai**. Turismo & Sociedade. Curitiba, v. 7, n. 4, p. 792-814, 2014.

PIAO, S.L.; FANG, J.Y.; CIAIS, P.; PEYLIN, P.; HUANG, Y.; SITCH, S.; WANG, T. **The carbon balance of terrestrial ecosystems in China**. Nature, v.458, p.1009-1013, 2009.

RAHMAN, A.F.; GAMON, J.A.; FUENTES, D.A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. **Modeling CO<sub>2</sub> flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery**. In: AVIRIS Workshop. Proceedings. Anais..., p.1-8, 2000.

RODRIGUES, A. S. L.; ANDELMAN, S. J.; BAKARR, M. I.; BOITANI L.; BROOKS, T. M. et al. **Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity**. Nature, v.428, p.640-643, 2004.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In 3rd ERTS Symposium, NASA, 1973.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO – SEMADE. **Diagnóstico Socioeconômico de Mato Grosso do Sul – 2015**. Disponível em: < [http://www.semagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/157/2017/06/Diagnostico\\_Socioeconomico\\_de\\_MS\\_20151.pdf](http://www.semagro.ms.gov.br/wp-content/uploads/sites/157/2017/06/Diagnostico_Socioeconomico_de_MS_20151.pdf)>. Acesso em: fev. 2018.

SEEG BRASIL. **Emissões do setor de mudanças de uso da terra: período de 1990 a 2015**. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, p.1-43, 2017.

SILVA, S.C.P.; BAPTISTA, G.M.M. **Análises espectrais da vegetação com dados Hyperion e sua relação com a concentração e o fluxo de CO<sub>2</sub> em diferentes ambientes na Amazônia brasileira**.

Boletim de Ciências Geodésicas, v.21, n.2, p.354-370, 2015.

TAKATORI, M. M. O.; GAMARRA, R. M.; FAGGIONI, G. P.; DALMAS, F. B.; PARANHOS FILHO, A. C. **Uso de geotecnologias na análise da estrutura e dinâmica da paisagem na região do Nabileque.** Revista UNG Geociências, v.16, n.1, p. 87-101, 2017.

TRAVIS, J.M. **Climate change and habitat destruction: a deadly anthropogenic cocktail.** *Proceedings of the Royal Society B Biological Sciences*, v.270, p.467–473, 2003.

VÖRÖSMARTY, C.J.; MCINTYRE, P.B.; GESSNER, M.O.; DUDGEON, D.; PRUSEVICH, A.; GREEN, P.; GLIDDEN, S.; BUNN, S.E.; SULLIVAN, C.A.; REIDY LIERMANN, C.; DAVIES, P.M. **Global threats to human water security and river biodiversity.** *Nature*, v. 467, p. 555–561, 2010.

WANG, J.; LI, L.; LAM, S. K.; ZHANG, X.; LIU, X.; PAN, G. **Changes in nutrient uptake and utilization by rice under simulated climate change conditions: A 2-year experiment in a paddy field.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v.250-251, p. 202-208, 2018.

WATSON, R.T.; NOBLE, I.R.; BOLIN, B.; RAVINDRANATH, N.H.; VERARDO, D.J.; DOKKEN, D.J. **A special report of the intergovernmental panel on climate change: land use, land-use change and forestry.** Cambridge University Press. 377p., 2000.



## GEOPROCESSAMENTO APLICADO À GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: O CASO DO SEMIÁRIDO NORDESTINO E DO PANTANAL

### Rafael Wendell Barros Forte da Silva

Técnico em Geomática da Universidade Federal  
Ceará

Centro de Tecnologia - Departamento de  
Engenharia de Transportes Campus do Pici -  
Bloco 703, Fone/Fax: (85) 3366-9488,  
Fortaleza – CE  
rwsilva@det.ufc.br

### Dálete Maria Lima de Sousa

Engenheira Ambiental, Universidade Federal  
Ceará

Centro de Tecnologia - Departamento de  
Engenharia de Transportes Campus do Pici -  
Bloco 703, Fone/Fax: (85) 3366-9488,  
Fortaleza – CE  
dalete@det.ufc.br

**RESUMO:** A gestão dos recursos hídricos no semiáridonordestino e no Pantanal vem refletindo as realidades políticas, sociais e econômicas do Brasil. A forma atualmente presenciada de gestão, voltada à utilização social da água, nos remonta as sugestões apresentadas ainda no século XX, impulsionadas pelas inquietudes e conflitos desenvolvidos entre os diversos protagonistas do ambiente, como a sociedade, o poder público e as condições do próprio meio. Como forma de analisar o perfil hidrogeológico do nordeste traçou-se uma sequência de mapas que justificam a necessidade de gestão

desse recurso em especial no semiárido nordestino e na Bacia do Alto Paraguaçu. Para o embasamento teórico as referências foram de extrema importância visto que proporcionaram um desenvolvimento do estudo, assistindo as análises dos aspectos socioambientais atrelados ao uso desse recurso, verificou-se as diferentes formas de gerir os impactos decorrentes do aumento de demanda e elaborou-se uma cartografia específica para as faculdades exigidas. Para solução da dinâmica desses recursos foi proposta uma gestão integradora que promovesse a utilização sustentável desse bem tão precioso, de forma a satisfazer as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender as suas próprias necessidades. Por tanto se conclui que monitoramento da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, através das técnicas de geoprocessamento, é muito mais amplo, e devem atender as exigências regulamentadoras baseadas no estudo de porosidade e da hidroquímica de potabilidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** geoprocessamento, recursos hídricos, gestão.

**ABSTRACT:** The management of water resources in semi-arid northeast and the Pantanal has been reflecting the political, social and economic Brazil. The currently witnessed form of management, focused on the social

use of water in the back suggestions also presented in the twentieth century, driven by concerns and conflicts developed between the various environmental actors, like society, the government and the proper environmental conditions . In order to analyze the hydrogeological profile Northeast drew up a series of maps that justify the need for management of this resource especially in semi-arid northeast and the Upper Paraguay River Basin. For the theoretical background references were extremely important as it provided a development of the study, watching the analysis of the environmental aspects linked to the use of this feature, it was found different ways to manage the impacts of the increased demand and elaborated one specific mapping to the required powers. For solution of the dynamics of these resources has been proposed an integrated management that promote the sustainable use of this precious asset, to meet the current needs without compromising the ability of future generations to meet their own needs. Therefore it is concluded that monitoring of water quality in a watershed through geoprocessing techniques, is much broader, and should meet the regulatory requirements based on study of porosity and hydrochemical potability.

**KEYWORDS:** Geoprocessing, water resources, management.

## 1 | INTRODUÇÃO

A gestão dos recursos hídricos no semiárido nordestino vem refletindo as realidades políticas, sociais e econômicas do Brasil. A forma de gestão aplicada atualmente, voltada à utilização social da água, nos remonta as sugestões apresentadas ainda no século XX, impulsionadas pelas inquietudes e conflitos desenvolvidos entre os diversos protagonistas do ambiente, como a sociedade, o poder público e as condições do próprio meio ambiente.

No nordeste, existem ainda dois pontos de problematização relacionados à gerência dos recursos hídricos: a irregularidade do quadro de chuvas, o agravamento das secas e, cercando essa implantação do controle hídrico do semiárido nordestino, vê-se certo descaso na não fomentação de práticas e formação de órgãos gestores para essa gerência.

A relação encontrada no rio Paraguai na sua parte superior, englobando uma das mais importantes wetlands do país que é o Pantanal, nos remete a utilização da gestão participativa. As características naturais e antrópicas da bacia apresentaram grandes variabilidades ao longo do último século que necessitam de uma gestão adequada dos recursos naturais, em especial os recursos hídricos.

O entendimento do comportamento hidrológico deste sistema é essencial para avaliar os seus diferentes condicionantes naturais e sociais regionais.

Seguindo esta linha de raciocínio a administração dos recursos hídricos deve ser integrada, neste artigo são apresentados elementos qualitativos e quantitativos da variabilidade hidrológica dentro de uma visão de macroescala, analisados os usos dos recursos hídricos e os principais impactos ambientais associados.

Mediante este contexto não apenas as bacia hidrográficas do nordeste brasileiro ou mesmo suas sub-bacias integradoras, mas, fundamentalmente os pequenos e grandes tributários, que acumulam água para uso humano e afins, assumem papel fundamental em tempos de estiagens mais severas. Contudo, nem sempre é implementada a conscientização ambiental no entorno desses constituintes hídricos, dessa forma temos consequências danosas à população, uma vez havendo o comprometimento ambiental tanto dos corpos hídricos e a grua, também dos reser- vatórios.

## 2 | METODOLOGIA DE TRABALHO

Para a elaboração deste trabalho adotou-se como metodologia, em sua fase inicial de pesquisa, a busca de aspectos relevantes na caracterização da água no Nordeste e na identificação da Bacia do Alto Paraguai, equipando-se de levantamentos bibliográficos levantamentos em livros, artigos científicos e jornais, no intuito de ter uma real noção do assunto a ser abordado bem como de suas nuances.

Os bancos de dados de informações para a elaboração do material cartográfico foram ad- quiridos em órgãos como a Secretaria de Planejamento e Gestão– SEPLAG, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

No que tange ao geoprocessamento, a sua aplicação se deu na elaboração de mapas dos dados hidrogeológicos e hidroquímicos, fazendo-se a utilização do software gratuito QGIS, empregado também para elaboração de outras figuras deste artigo, em sua versão atual 2.14.3 ‘Essen’, que foi lançada em 20.05.2016 e está disponível para Windows, MacOS X, Linux e Android no sítio < [http://qgis.org/pt\\_BR/site/forusers/download.html](http://qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html)>.

As referências subsidiaram o desenvolvimento do estudo, assistindo o embasamento acer- ca da temática em questão, sendo de fundamental importância, pois permitiu um maior aprofun- damento e consolidação do referencial teórico.

Sendo o artigo de cunho descritivo, essa fase de interpretação e análise de dados foi de suma importância e imprescindível para conhecer melhor a utilização desse bem tão precioso, que é a água, auxiliando na verificação das transformações e dinâmicas de gestão, além de fornecer um aparato para os materiais gerados, que serviram de subsídios para os resultados desse estudo, deixando explícito o contato direto dos pesquisadores com o tema abordado.

E por fim em escritório realizou-se o mapeamento de localização e a organização do material iconográfico adquirido através do embasamento teórico. E diante das análises dos aspectos socioambientais atrelados ao uso desse recurso verificou-se as diferentes formas de gerir os impactos decorrentes do aumento de demanda. Desta forma, é preciso que nesse cenário se adote uma gestão participativa, integrada na sociedade, sensibilizando as comunidades, no que concerne a proteção e consumo

consciente desse recurso natural.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a implementação da Lei 9.433, publicada no Diário Oficial da União no dia 08 de janeiro de 1997, que aborda de forma *sem a/o qual não pode ser*, como um de seus princípios básicos, resolve em seu art. 1º, parágrafo III, que, em situação de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos deve ser para o consumo humano e a dessedentação de animais. No mesmo artigo, no parágrafo VI, essa Lei ratifica, ainda, como embasamento, que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Estado enquanto Poder Público, dos usuários e das comunidades. Branco e Rocha (1987) ponderam que cotidianamente são diversos os usos a que se destinam a água, dentre os quais eles destacam:

a) Provedimento domiciliar e dessedentação - Com relação ao provimento domiciliar a água deve ser usada de várias maneiras, mas todas elas devem estar alinhadas para o fim mais nobre possível, que é o da água para beber. Branco (1993) nos mostra que o ideal seria, entretanto, dispor de duas formas de abastecimento, as quais caracteriza como *redes abastecedoras diferenciadas*, uma designada a fornecer água de qualidade melhor (para bebida, cozimento de alimentos e asseio pessoal) e outra para usos menos exigentes (lavagem, irrigação, etc.).

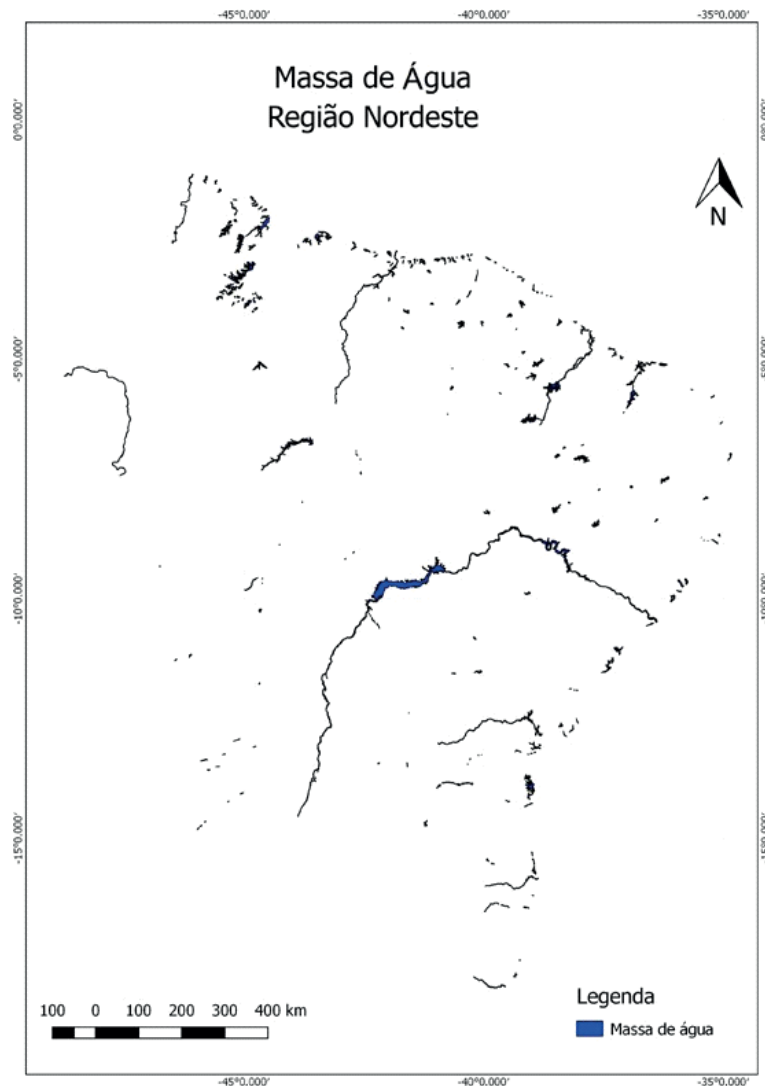
b) Fornimento industrial - A água potável, de um modo geral, seria suficiente, mas às vezes não, exigindo, como no caso de certos processos industriais químicos e farmacêuticos, água destilada. Em outras atividades como em indústrias que usem caldeiras o principal cuidado deve ser com a ação corrosiva e incrustante de certos sais contidos na água e capazes de danificar as tubulações mais resistentes.

c) Geração de energia - Citando como exemplo principal as usinas termoelétricas, que usam imensas caldeiras, os problemas mais importantes são entupimento e corrosão das tubulações. Já no caso das usinas hidroelétricas, que usam diversos tipos de turbinas, as restrições são poucas, a não ser que se trate de águas extremamente contaminadas, onde as emanações de gás sulfídrico podem ganhar forma e se remodelar transformando-se em ácido sulfúrico e danificar as pás das turbinas, que também podem ser afetadas pela excessiva proliferação de vegetação flutuante, tipo aguapé, devido a eutrofização dessas águas.

d) Recreação - Para esse tipo específico exige-se um alto padrão de qualidade, sobretudo quando a água é utilizada para fins de desporto como a natação e o polo aquático, ou mesmo para banho, levando-se em conta que geralmente certa quantidade de água pode ser ingerida e que ela está em contato

constante com os olhos, os ouvidos e a pele em geral. Segundo Freitas (2009) o problema dos esgotos serem derramados nos leitos dos rios é um problema muito sério, tanto do ponto de vista estético como sanitário.

Como forma de analisar a o perfil hidrogeológico do nordeste traçou-se uma sequência de mapas que justificam a necessidade de gestão desse recurso em especial no semiárido. O primeiro mapa dessa sequência de análises foi a representação da delimitação das massas de água disponíveis, conforme a Figura 1.



**Figura 1.** Representação das massas de água disponíveis na Região Nordeste.

Fonte: próprio autor.

Analisando ainda segundo o aspecto litológico do aquífero, ou seja, quanto a sua constituição geológica (assim relacionando porosidade e/ou permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade com que a água se propaga no meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório.

Sabe-se assim que a litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial (que é o caso do Pantanal, assim o estudo nos permite elaborar o mapa observado na Figura 2), lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcáreas), determinando os



diferentes tipos de aquíferos.

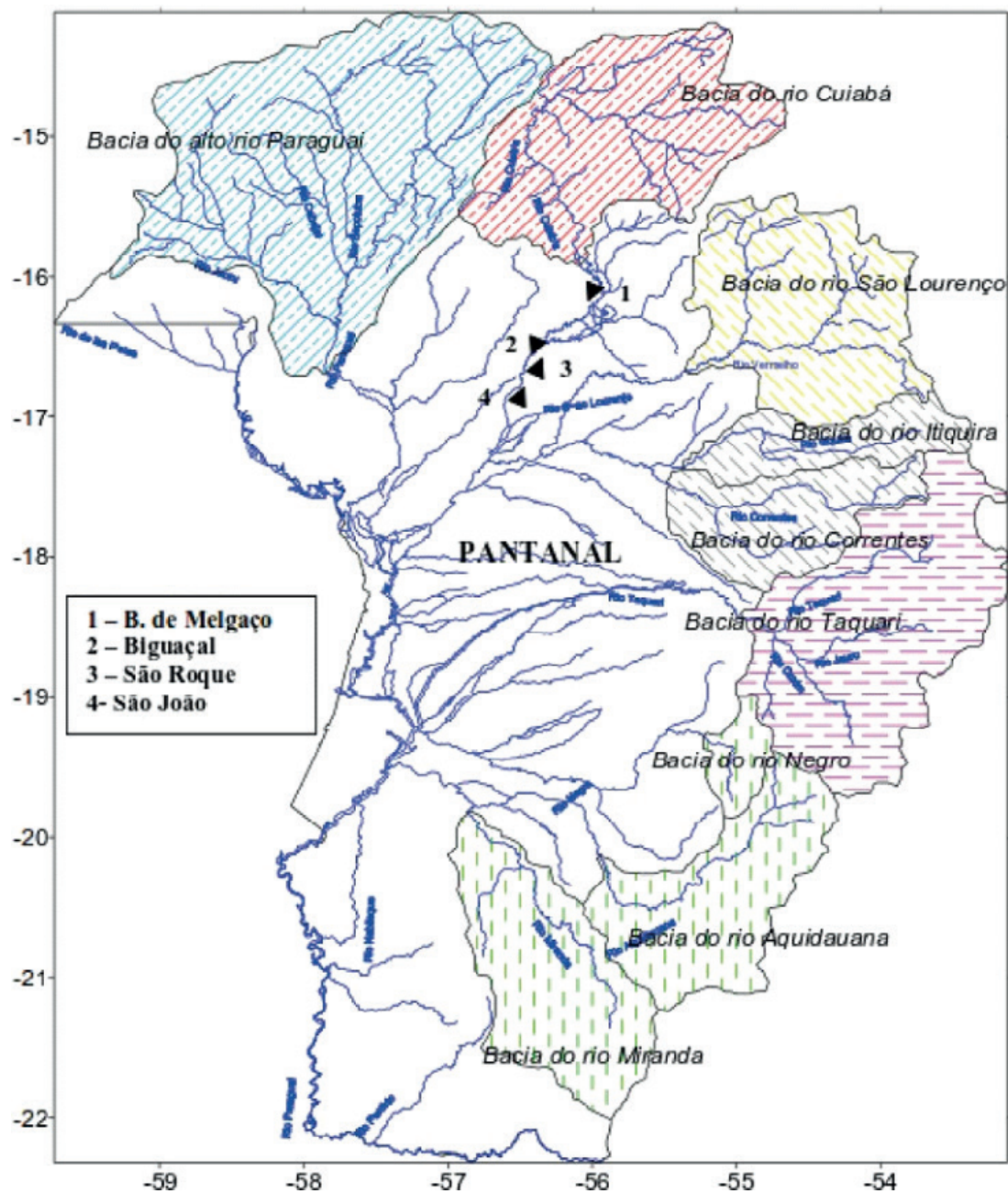


Figura 2. Representação das massas de água disponíveis na região do Pantanal e bacia do Alto Paraguai.

Fonte: TUCCI, 2005.

Analisando ainda a porosidade, existem três tipos distintos de aquíferos, conforme a Figura 3.

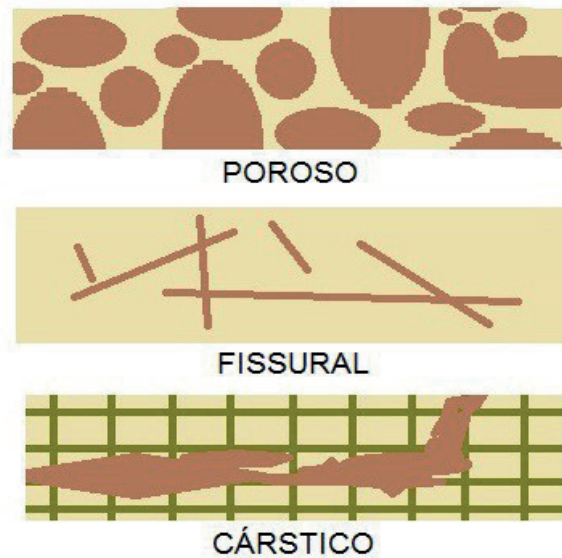


Figura 3. Tipos de aquífero quanto à porosidade.

Fonte: próprio autor.

O aquífero poroso, também conhecido como sedimentar, é aquele cuja formação está associada a rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Constituem assim os mais importantes aquíferos, pelo grande volume de água que armazenam, e por sua ocorrência em áreas extensas. Uma particularidade desse tipo de aquífero é sua porosidade quase sempre homogeneamente distribuída, permitindo que a água flua para qualquer direção, em função tão somente dos diferenciais de pressão hidrostática ali existente. Esse princípio que percebemos é conhecido como isotropia.

Já para o aquífero do tipo fraturado ou fissural, temos uma formação por rochas cristalinas, ígneas ou metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A quantidade de fraturas irá determinar a capacidade dessas rochas de acumularem água, facilitando as suas aberturas e intercomunicações, permitindo a infiltração e o fluxo da água. Poços perfurados nessas rochas fornecem poucos metros cúbicos de água por hora. É sabido que nesses aquíferos a água só pode fluir onde houverem fraturas.

Ainda quanto a análise de aquíferos é importante ressaltar um outro aspecto que é quanto a sua posição e estrutura podendo se classificar como (conforme a Figura 4).

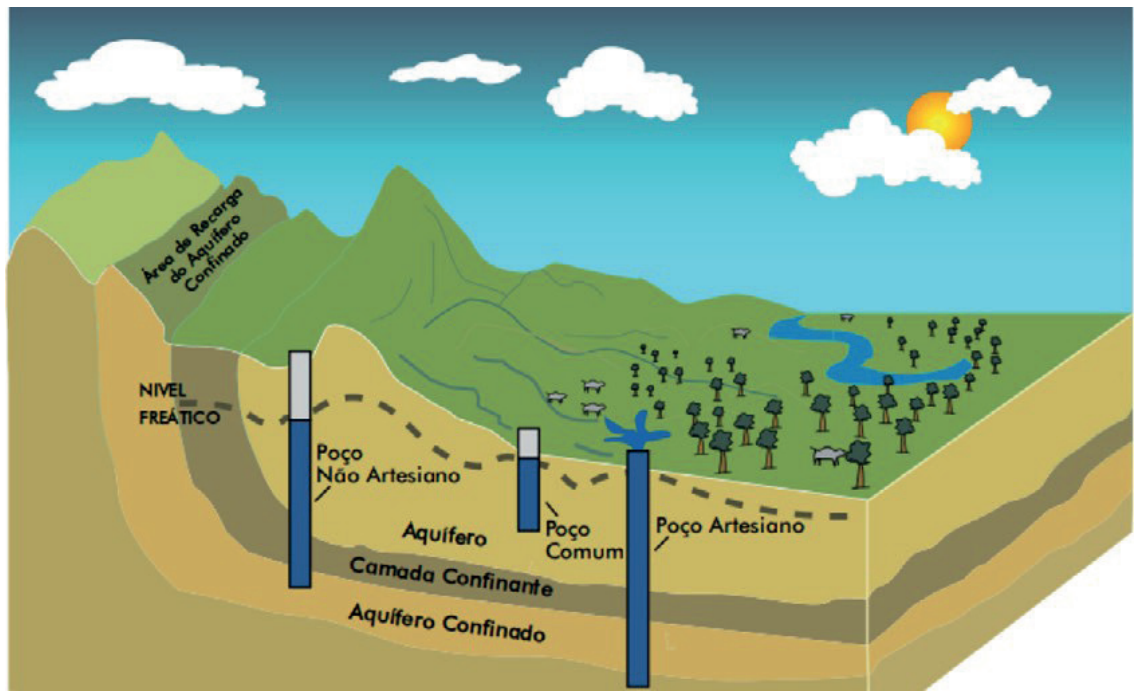


Figura 4. Posição e estrutura de aquíferos - Classificação dos aquíferos, com respectivos níveis de pressão, caracterizando estilos diferentes de aglomeração de massa de água como o nordeste brasileiro e o Pantanal.

Fonte: IMA, 2007.

(a) livres – aquíferos que se localizam mais próximos à superfície. Como no caso do aquífero Pantanal.

(b) Confinados – presença de uma camada de menor permeabilidade (confinante) que submete as águas a uma pressão superior à atmosférica, caso da porção central do Sistema Aquífero Guarani. Nos aquíferos confinados os poços tubulares profundos podem apresentar artesianismo, isto é, a água jorra do poço sem necessidade de equipamento de bombeamento.

(c) semi-confinados – situação intermediária entre os dois.

Para o caso dos aquíferos Karst, mais conhecidos como cársticos, formados em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água é restrita as fraturas e outras discontinuidades que resultaram da dissolução do carbonato pela água infiltrante. Essas aberturas podem ser descontínuas atingindo grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros reservatórios subterrâneos, com fluxo em canais. Na Figura 5, exposta a seguir, vemos a distribuição na região Nordeste desses aquíferos quanto à porosidade.

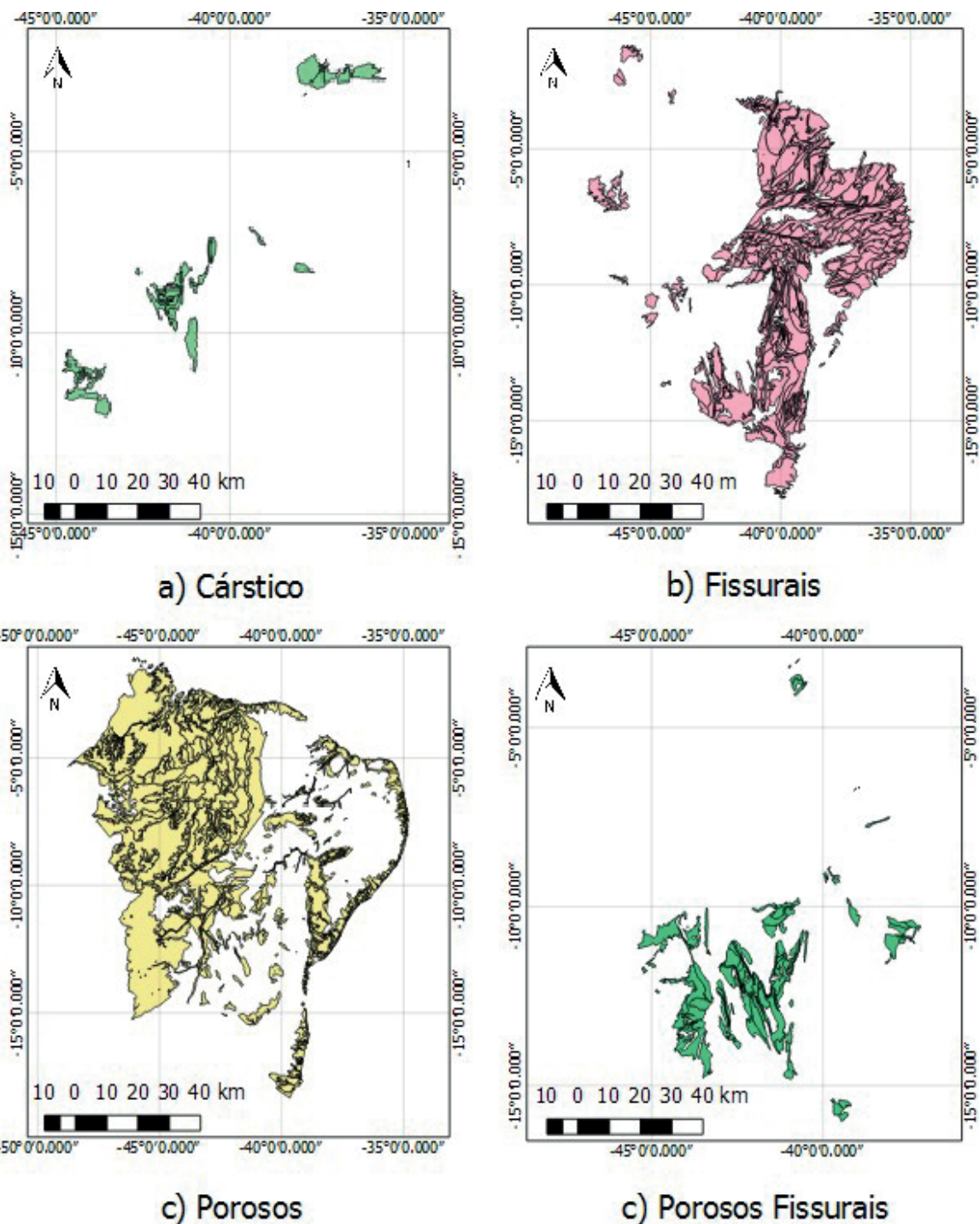


Figura 5. Distribuição de aquíferos no Nordeste, levando em consideração à porosidade da rocha. (Especificam-se dois itens c para uma melhor representação didática dos tipos porosos classificados)

Fonte: próprio autor.

Após esta análise da porosidade das rochas no Nordeste e tendo em mente que os diferentes usos da água estão associados ao princípio de “bem coletivo”, é de extrema relevância a análise da hidroquímica de potabilidade. Sendo assim foram gerados mapas, conforme a Figura 6, mostrando as dinâmicas de superfície e subterrânea.



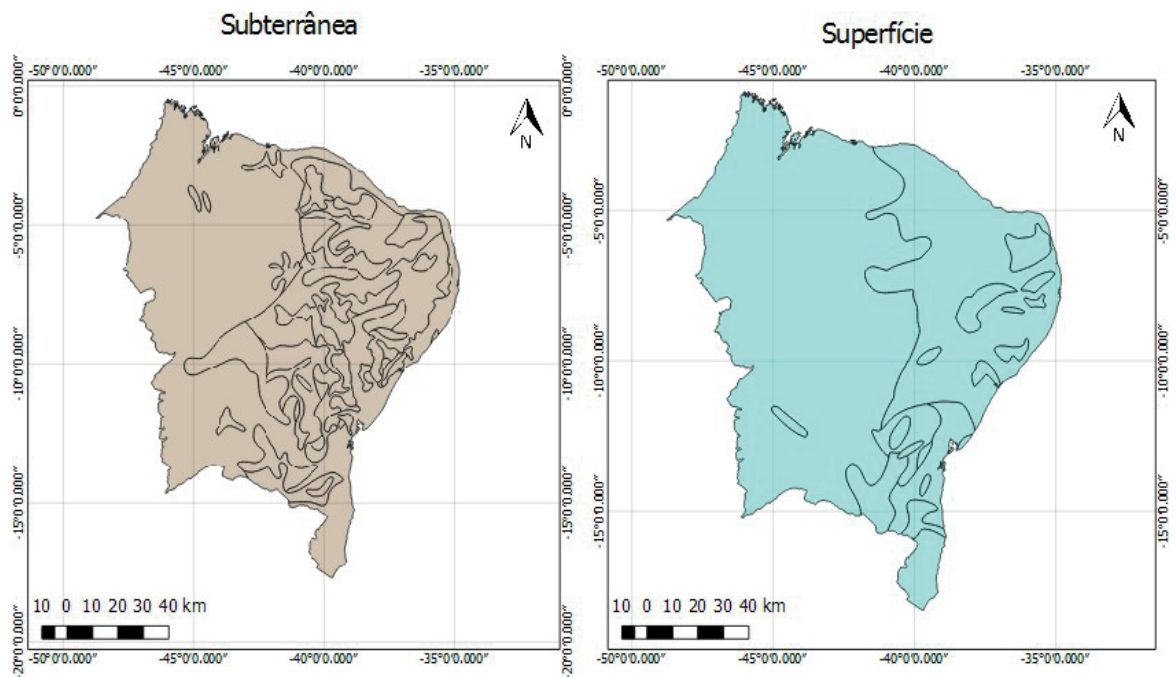


Figura 6. Hidroquímica de potabilidade da Região Nordeste.

Fonte: próprio autor.

Em última análise a Constituição de 1988 estabelece que, praticamente, todas as águas são públicas, sendo que, em função da localização do manancial, elas são consideradas bens de domínio da União ou dos estados. Dessa forma deixam de existir as águas comuns, municipais e particulares, cuja existência era prevista no antecessor Código de Águas de 1934.

Consoante à literatura, a noção de gestão integrada dos recursos hídricos assume variadas dimensões e envolve diferentes e complexas implicações: primeiro, no sentido de se considerar os diversos processos de transporte de massa de água do ciclo hidrológico; segundo, é um recurso de usos múltiplos; terceiro, está em constante interrelacionamento com outros elementos do mesmo ecossistema; quarto envolve coparticipação de gestores, usuários e população no planejamento e na gestão desses recursos, e, por último, deve atender aos anseios da sociedade de desenvolvimento socioeconômico com uma visão “*limpa e planejada*”.

Machado (2002) afirma que a prática de uma gestão integrada deve ser orientada pela logística da negociação sociotécnica, face à complexidade, à heterogeneidade e à diversidade de elementos que compõem um espaço geográfico, sendo, por conseguinte, esta negociação um processo dispendioso do ponto de vista político e financeiro; incerto e arriscado. A Lei 9433/97, nesse contexto, é de extrema relevância, visto que resguarda, no art. 1º, parágrafo VI, que a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades.

Perpassando o contexto da complexidade do planejamento e gestão integrada e sistêmica dos recursos hídricos, Cedraz (2002) ressalta a necessidade de discussões e reflexões profundas envolvendo todos os atores, devendo-se sempre as ações



culminar com os princípios do desenvolvimento sustentável tão discutido pela sociedade nas últimas décadas, tendo na água o recurso básico da gestão ambiental e suas relações com o desenvolvimento.

Para enfrentar os desafios dos recursos hídricos, considera-se as ferramentas disponíveis sobre a gestão aplicada, incluindo assim, o geoprocessamento, constando que a gestão do suprimento de água inclui políticas públicas ativas e ações diferenciadas visando identificar, desenvolver e explorar, de forma eficiente, novas fontes desse bem, advindas de fontes subterrâneas ou superficiais, independente do tipo de aquífero a que pertencem, enquanto a gestão da demanda inclui os mecanismos e incentivos que promovem a conservação da água e a eficácia do seu uso. Se levarmos em consideração a região semiárida do Nordeste brasileiro, totalmente diferente da realidade apresentada no Pantanal, caracterizada por um regime de precipitação irregular, a escassez de água sempre foi um problema não solucionado, apesar dos esforços de amenização por parte dos órgãos gestores, com a perfuração de poços profundos.

#### 4 | CONCLUSÕES

No Nordeste, os fatores climáticos e geológicos, conforme observados têm papel preponderante na renovação das reservas hídricas e, conseqüentemente, nas mudanças da qualidade de suas águas. Nessa região onde a escassez de água sempre se fez presente, seja devido ao aumento da demanda por parte da população, da degradação dos recursos hídricos ou em consequência da instabilidade climática, os conflitos pelo uso da água tendem a aumentar.

Os conflitos e os desenvolvimentos ocorridos no Pantanal no século passado se baseiam na sustentabilidade adequada entre o do gado e a preservação da planície. Nos últimos trinta anos, o desenvolvimento do Planalto, as ocupações urbanas e as potenciais obras hidráulicas podem ser fatores de desequilíbrio.

O planejamento e conservação da bacia dependem de um melhor conhecimento quantitativo de vários aspectos do funcionamento do Pantanal e da bacia como um todo.

Isto posto, buscar soluções para um monitoramento e gerenciamento adequados desses recursos, deverá ser a prioridade dos órgãos gestores.

O monitoramento da qualidade da água em uma bacia hidrográfica, através das técnicas de geoprocessamento, é muito mais amplo do que a verificação se os padrões legais de qualidade estão sendo obedecidos, devendo, portanto, atender à necessidade de se responder o que está sendo alterado, o porquê destas modificações estarem ocorrendo e definir e implementar medidas preventivas de delimitação e uso dos recursos hídricos.

Este trabalho visa ampliar as visões a cerca da temática dos recursos hídricos

não só nessas regiões, mas em outras áreas que disponham, ou não, deste bem tão precioso que é a água.

## REFERÊNCIAS

BRANCO, S. M. e A. A. ROCHA. **Elementos de Ciências do Ambiente**. São Paulo: CETESB / ASCETESB. 1987, 206 p.

BRANCO, S.M. (1993). **Água: origem, uso e preservação**. São Paulo, Moderna, 72p. (Coleção Polêmica).

BRASIL. **Lei Federal nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o Art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de Março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de Dezembro de 1989**. <http://www.presidencia.gov.br/legislacao>. Acesso em 25 de Maio de 2016.

CEDRAZ, M. **Gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL CYTED-XVII, 2002, Salvador, BA. Resumos... Salvador: CYTED/UFBA/UEPS/SRH-BA/MMA-SRH/FAPEX, 2002. Não paginado.

FREITAS, M. A. V. de, SANTOS, A. H. M. **Importância da água e da informação hidrológica**. In: FREITAS, M. A. V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil; perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL/MME/ MMA-SRH/OMM, 2009. p. 13-16.

GARRIDO, R. J. **O combate à seca e a gestão dos recursos hídricos no Brasil**. In: FREITAS, M.A.V. de. (Ed.). **O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informações de recursos hídricos**. Brasília: ANEEL/ MME/MMA-SRH/OMM, 1999. p. 285-318.

INSTITUTO DO MEIO AMBIENTE – **Águas subterrâneas - Um recurso a ser protegido e conhecido**. Brasília, 2007.

MACHADO, C. J. S. **Por uma negociação sociotécnica na gestão integrada dos recursos hídricos**.

ABRH-Notícias, Porto Alegre, v. 7, p. 20-21, 2002.

SALATI, E.; LEMOS, H. M. de; SALATI, E. **Água e o desenvolvimento sustentável**. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Ed.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo: USP/ABC, Escrituras Editoras, 1999. cap. 2, p. 39-62.

TUCCI, C. E. M. **Recursos hídricos do Pantanal**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, 2005.

WEBER, J. **Gestão de recursos renováveis; fundamentos teóricos de um programa de pesquisas**. In: VIEIRA, P. F. e WEBER, J. **Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental**. São Paulo: Cortez Editora, 2010.

## IMPACTOS CLIMÁTICOS DAS EMISSÕES ASSOCIADAS ÀS QUEIMADAS NO MUNICÍPIO DE CÁCERES-MT

### **Verônica Martinez de Oliveira Raymundi**

Universidade do Estado do Mato Grosso –  
UNEMAT

Departamento de Geografia  
Cáceres – Mato Grosso

### **Thales Ernildo de Lima**

Universidade do Estado do Mato Grosso –  
UNEMAT

Departamento de Geografia  
Cáceres – Mato Grosso

### **Alfredo Zenen Domínguez González**

Universidade do Estado do Mato Grosso –  
UNEMAT

Departamento de Geografia  
Cáceres – Mato Grosso

**RESUMO:** O presente trabalho visa destacar, com base em estudos científicos já publicados, os efeitos das queimadas em diferentes escalas, destacando a queimada ocasionada no município de Cáceres. As queimadas que ocorrem no município de Cáceres, são fontes de emissões de poluentes que atingem a atmosfera todos os anos com grande intensidade nos meses mais secos do ano. Durante a combustão da biomassa são emitidos para a atmosfera gases poluentes, que por sua vez afetam a escala local, regional e global, provocando sérios desequilíbrios ao meio. Apesar da característica da vegetação estar

adaptada ao fogo, a agricultura potencializa as queimadas, favorecendo a ocorrência de incêndios florestais e o descontrole das queimadas. Este é um tema que precisa ser tratado com maior importância, diante dos impactos e consequências evidenciados no ambiente. Para melhor compreensão do trabalho foi utilizado dados secundários relacionados a focos de queimadas, dos anos de 2010 a 2015 referentes ao município de Cáceres.

**PALAVRAS-CHAVE:** Queimadas, Mudanças climáticas, poluição atmosférica.

**ABSTRACT:** This paper aims to highlight, based on scientific studies already published, the effects of fires on different scales, highlighting the fire caused in the city of Cáceres. The fires that occur in the city of Cáceres, are sources of emissions of pollutants that reach the atmosphere every year with great intensity in the driest months of the year. During the combustion of biomass are emitted into the atmosphere pollutants gases, which in turn affect the local, regional and global scale, causing serious imbalances in environment. Despite the characteristic vegetation is adapted to fire, agriculture enhances the burnings, favoring the occurrence of forest fires and uncontrolled fires. This is a topic that needs to be treated with utmost importance, given the impacts and consequences evidenced in the environment.

For better understanding of the work we were used secondary data related to fire outbreaks, the years 2010 to 2015 for the city of Cáceres.

**KEYWORDS:** Fires, climate change, air pollution.

## 1 | INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, a crescente problemática ambiental causada por intensos processos de transformação da paisagem natural, como os associados ao desmatamento, formação de pastagem, desertificação, poluição do ar e queimadas geram consequências negativas ao equilíbrio do planeta. Nesta situação, tanto as espécies vegetais e animais como o próprio homem estão vulneráveis as mudanças do ambiente e variações climáticas.

A ocupação e o uso do solo se relacionam com práticas estabelecidas pela ação humana em diferentes espaços de vivência. Reis (1999) afirma que um dos maiores desafios do homem é utilizar os recursos naturais de forma equilibrada. Em geral, na obtenção dos recursos disponíveis na natureza, frequentemente o homem provoca uma intensa degradação ambiental que compromete a existência de vida no futuro. Diante da temática, as queimadas podem ocasionar sérios danos às paisagens naturais, produzindo impactos na regulação dos ecossistemas pela sua interferência no solo, na fauna e flora e na qualidade da atmosfera (Dias, 2014).

A área de estudo da climatologia vem se destacando nos últimos anos devido às diversas situações de instabilidade no clima a escala planetária. Estudos realizados sobre as emissões geradas pela queima de combustíveis fósseis, desmatamento e atividades agropecuárias permitem perceber que ainda não se deu a devida importância às queimadas e incêndios florestais, porém à medida que se aprofundam as discussões sobre o tema, a questão das “queimadas” adquire relevância (Agop e Setzer, 2003).

Mesmo que o Brasil tenha feito importantes investimentos em tecnologias como as do Sensoriamento Remoto, que permitem a detecção e monitoramento de focos de calor e, com isso, o combate às queimadas (Carvalho e Carneiro, 2009), ainda persiste a queima descontrolada todos os anos durante o período seco. Embora contribuído com o monitoramento e controle das queimadas e incêndios florestais, sendo possível alertar a sociedade sobre os riscos em determinadas regiões, ainda não é possível evitar a queima descontrolada todos os anos em períodos mais secos.

### **Utilização do fogo como manejo e emissão de gases do efeito estufa**

A utilização do fogo como parte do manejo agrícola foi regulamentada pelo decreto 2.661 de 8 de julho de 1998, sendo permitida a queima controlada. Porém, o proprietário deverá seguir algumas exigências previstas na lei, como: preparar aceiros de no mínimo três metros; providenciar pessoal preparado no local da operação com

equipamentos apropriados; e prever a realização da queima em dias apropriados, com temperaturas mais amenas e pouca incidência de ventos. Diante do cumprimento das regras e vistoria, o proprietário recebe a autorização do SISNAMA, órgão responsável pela autorização da queima (Prevfogo, 2011).

Pesquisadores como Pauliquevis (2007), (do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazona-INPA), Artaxo, Oliveira e Paixão (2007), (do Instituto de Física da Universidade de São Paulo) destacam que as queimadas são responsáveis por 75% das emissões de carbono no Brasil. Segundo estes pesquisadores, a queima emite gases do efeito estufa como CO<sub>2</sub> (dióxido de Carbono) e CH<sub>4</sub> (metano) os quais, em grande quantidade na atmosfera, prejudicam a floresta não queimada, por ser considerados gases fitotóxicos.

De acordo com o relatório de combate a incêndio, elaborado pelo IBAMA em parceria com o Prevfogo (2011), nos meses mais secos e quentes o risco de focos de queimadas tende a aumentar. No caso da região central do Brasil, a incidência é intensificada pela atividade econômica, que tem como foco a agropecuária. Neste período, os agricultores estão limpando o solo com o auxílio do fogo, caracterizando um período com muitas emissões de gases poluentes na atmosfera. Dias (2014) crítica o fato de as emissões de gases ocasionados pelas queimadas ser tratado com pouca relevância, havendo um maior foco ao desmatamento.

O que mais inquieta é a obviedade da necessidade. Enquanto o CO<sub>2</sub> oriundo dos desmatamentos é liberado lentamente para a atmosfera, nas queimadas e incêndios florestais o CO<sub>2</sub> estocado na vegetação (e também uma parte no solo) é liberado imediatamente para a atmosfera (DIAS, 2014).

Nos meses mais secos, o município de Cáceres é atingido por incêndios, provocando a emissão anual de toneladas de gases que intensificam o efeito estufa. Em geral, os incêndios são causados de forma natural (alta temperatura sobre a vegetação seca) e pela ação humana, que corresponde a uma das técnicas agrícola muito utilizada entre agricultores no passado e na atualidade, visando limpar o solo para o cultivo. Queimar a vegetação constitui uma forma rápida, prática e viável economicamente (Lara *et al.*, 2007); no entanto, a queima descontrolada constitui uma problemática porque pode atingir áreas de preservação, destruir florestas que contribuem com o equilíbrio de carbono e aumentar os índices de poluição na atmosfera.

Tomando como referência trabalhos que analisam os impactos e consequências das queimadas no clima (como os de Setzer (2003), Dias (2014), Agop (2004), Moreira (1999), e Bicudo (2005), o presente trabalho visa investigar a ocorrência de queimadas no município de Cáceres por meio de imagens de satélite, correlacionando as incidências de agressão ao Pantanal cacerense, com as implicações da queima no clima local.



## 2 | MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

Com uma extensão territorial de 24.351, 408 km<sup>2</sup>, o município de Cáceres está localizado na região sudoeste do estado do Mato Grosso, formando parte da Bacia do Alto Paraguai (Figura 1). De acordo com o IBGE (2013), a sua população é de 87.942 habitantes, sendo que 76.568 (87,07%) vivem em área urbana e apenas 11.374 na zona rural (12,93%).

Foi realizado levantamento de dados dos focos de queimadas anuais ocorridos de 2010 a 2015 através do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, disponíveis gratuitamente em seu site (<http://www.inpe.br/queimadas/>).

Os dados vetoriais obtidos através do Satélite Aqua, permitiram a confecção dos mapas temáticos no software ArcGis 10.2, classificando os focos nos períodos matutino e vespertino. Os mesmos foram agrupados em um único *layout*, facilitando a comparação e interpretação dos dados.

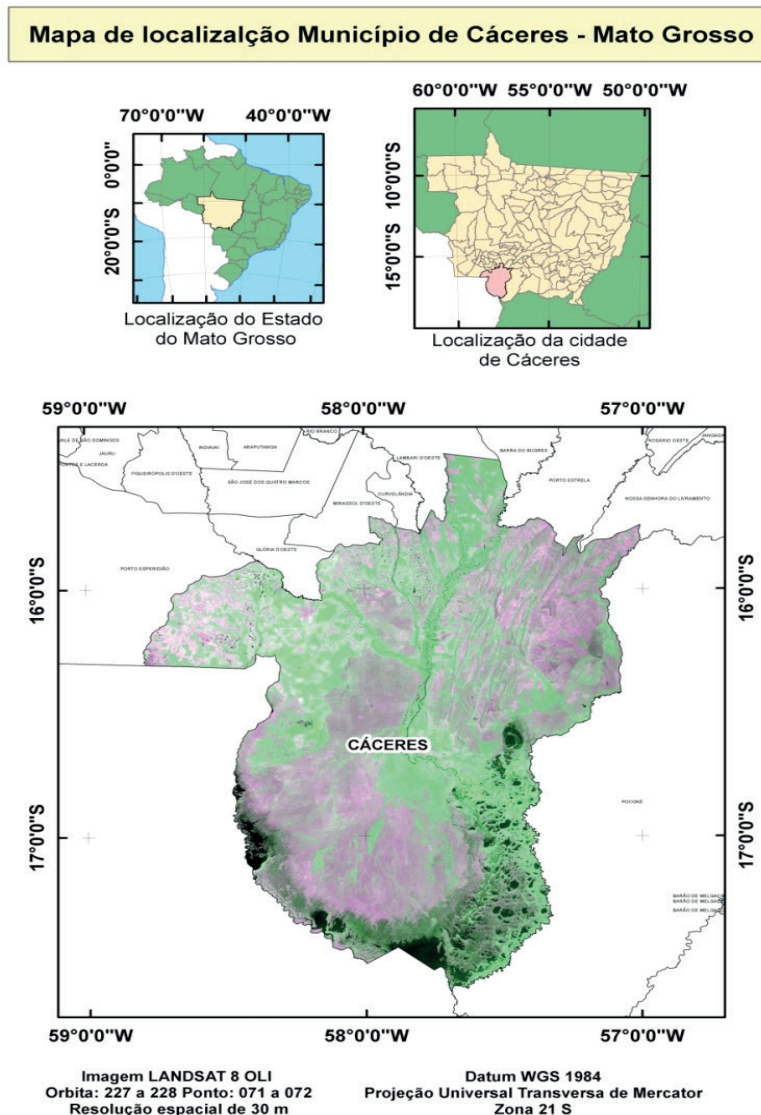


Figura 1 - Mapa de localização do Município de Cáceres.

Foi realizado levantamento de dados secundários, que por fim norteou a interpretação dos dados coletados sobre a incidência de focos de queimadas no município de Cáceres e suas implicações sobre o clima local e em diferentes escalas.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### Situação das queimadas no município de Cáceres no período 2010 – 2015

Segundo o relatório de combate a incêndios (Prevefogo, 2011), Mato Grosso está entre os estados que apresentam as maiores detecções de focos de queimadas. Por apresentar uma atividade econômica voltada para a agropecuária, os meses de seca são castigados pela estiagem e também pela emissão de fumaça proveniente do fogo. Por possuir características climáticas e econômicas semelhantes, o município de Cáceres, também apresenta intensa emissão de poluentes ocasionado pela queima.

Os registros evidenciados nos mapas do município de Cáceres (Figura 2), representam uma sequência anual de incidência de focos de queimadas, totalizando um período de seis anos entre 2010 e 2015. Assim, a alta incidência de focos pode ser observada durante a tarde, entre as 12 e 16 h, por haver maior ganho energético derivado da elevada insolação, que se traduz em uma alta temperatura e uma reduzida umidade relativa do ar. Segundo Torres (2006) a temperatura ambiente tende a aumentar com o incremento da intensidade da radiação solar, resultando em uma diminuição na umidade, que por sua vez contribui com uma maior incidência nos focos de queimadas.

A detecção dos focos de queimadas no ano de 2011 está abaixo da média, quando comparado aos outros anos. De acordo com relatório de combate a incêndio (Prevefogo, 2011), isto se deve ao fato daquele ano ter apresentado um percentual de precipitação acima da média. Neste mesmo ano, as informações dos focos nos períodos da manhã e da tarde não foram distinguidas visto que houve uma sobreposição das imagens (período da manhã e tarde).

Em 2010, o período de estiagem foi de quatro meses, enquanto que em 2011, de três meses, havendo também menor porcentagem de precipitação no mês de agosto de 2010 em relação a 2011 na região central (Prevefogo, 2011), possibilitando desta forma, a ocorrência elevada de focos de queimadas no ano de 2010.

No ano de 2012, a região sudoeste concentrou grande quantidade de focos de queimadas se comparado com a região nordeste do município. Esta concentração de focos, também se repete no ano de 2013, porém com menor proporção de queimadas. Já no ano de 2015 a maior intensidade de queimadas fica concentrada na região nordeste, atingindo diretamente a cidade de Cáceres com focos registrados principalmente no período da tarde. Durante os anos avaliados, apenas em 2011 e 2014 a cidade de Cáceres não foi atingida diretamente com os focos de queimada, havendo também maior controle dos incêndios se comparado aos anos citados no

mapa acima.

É importante salientar que no município de Cáceres, assim como em outras regiões tropicais, os agricultores utilizam a técnica da queima como forma rápida e barata de preparo do solo para o cultivo, que por sua vez acontece no inverno, onde a incidência de umidade e precipitação é baixa, permitindo durante a época mais seca (tipicamente julho, agosto e setembro) a secagem da vegetação e sua queima. Sendo assim os focos de queimadas detectados durante o período de um no município de Cáceres estão concentrados nos meses mais secos do ano.

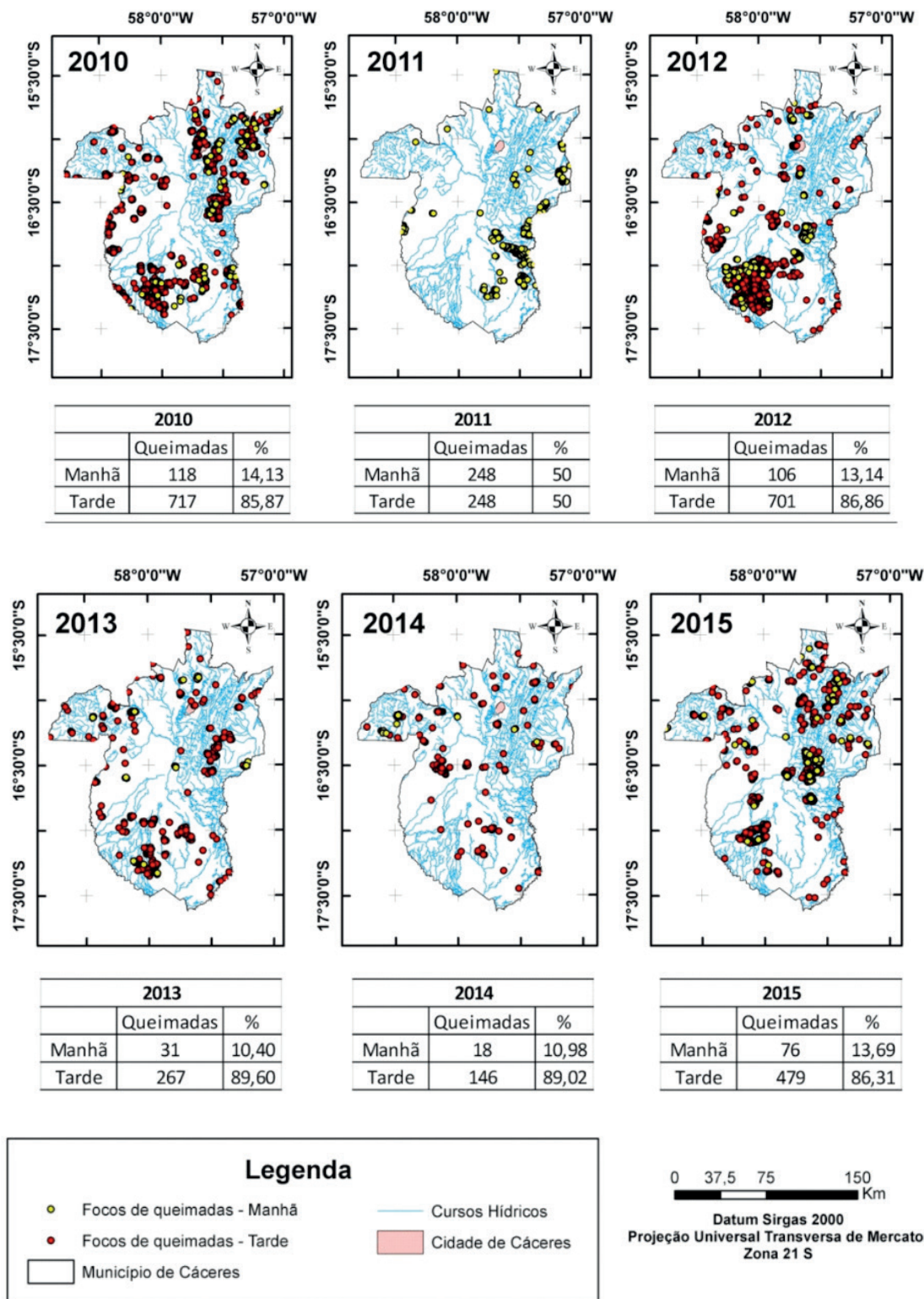


Figura 2 – Distribuição diurna das queimadas no município de Cáceres entre os anos de 2010 e 2015.

## Poluentes, riscos à saúde e ao equilíbrio climático

As queimadas ocorrem por todo o mundo, sendo originada tanto por meio natural como pela ação humana. Porém na maioria dos casos, as queimadas estão vinculadas ao uso e ocupação do espaço. Miranda *et al* (2014) analisou as mudanças nos usos da terra, considerando a influência da queima na região de Cáceres, onde foi constatado que as áreas de Savana gramíneo-lenhosa sofreram mais queimada devido a substituição desta área por pastagem, evidenciando desta forma ações antropogênicas às queimadas no município. Neste mesmo estudo Miranda *et al* (2014) conclui que as formações florestais foram as classes que não sofreram mudanças significativas, quanto à queimada e associam tais focos a incidentes de origem natural.

No município de Cáceres os períodos de estiagem são considerados críticos quanto à emissão de poluentes ocasionados pelas queimadas, pois alteram a qualidade do ar e prejudicam a saúde humana. Segundo Ribeiro e Assunção (2002), a existência de partículas finas presentes em maior proporção no ar poluído por queimadas, são as que mais afeta o sistema respiratório.

Além disso, Freitas (2005) afirma que os poluentes decorrentes da queima são conduzidos até a troposfera, por meio da ocorrência de circulações, a exemplo, da entrada de frentes frias originaria da região sul do Brasil, que por sua vez favorecem o movimento convectivo ascendente. Na troposfera, estes poluentes são transportados para regiões distantes. De acordo com Freitas (2005), não só o local da queimada é atingido pelos gases poluentes, os danos da queima ultrapassam a escala local atingindo diferentes espaços, alterando desta forma o balanço radiativo da atmosfera. Isto ocorre segundo o autor, devido a maior quantidade de radiação terrestre ser aprisionada pela maior quantidade de gases emitidos por queimadas.

As queimadas no município de Cáceres atingem todos os anos com diferentes proporções diversas escalas (local regional e global). Com o incremento das atividades agrícolas, a problemática tende a aumentar visto que a queimada antropogênica é responsável pela queima de grandes áreas causando sérios prejuízos ao equilíbrio natural.

## 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o que foi exposto podemos concluir que os índices anuais de queimadas no município de Cáceres não podem passar despercebidos. A natureza consegue regenerar com rapidez após as primeiras chuvas, ao passo que as folhagens começam a brotar, porém gradativamente as emissões de poluentes originados pelas queimadas contribuem com o aumento da liberação de dióxido de carbono, que conseqüentemente provoca o aquecimento global, destruição do ozônio e está associada aos impactos climáticos que afetam o ambiente natural.

Resguardado por um contexto histórico, o homem vem se apresentando como o



maior causador das queimadas. Com ações inconsequentes e muitas vezes criminosas, a prática da queima vem comprometendo desta forma o equilíbrio natural do ambiente.

A relação cultural entre o homem e o fogo estabelecida ao longo dos anos, como prática de manejo é algo difícil de reverter. Porém medidas drásticas devem ser concretizadas diante dos impactos ocasionados pelas queimadas, direcionando o homem a uma educação ambiental bem como na aplicação e ao cumprimento das leis existentes.

Além dos estudos realizados sobre a temática que comprovam os danos ao ambiente, o homem na atualidade dispõe do sensoriamento remoto orbital. Este recurso vem se apresentando como uma alternativa tecnológica que auxilia na detecção, e entendimento dos processos de queimada por possuir alta eficiência de atualização de informações e visão sinóptica de grandes áreas.

As queimadas constituem um sério problema na qualidade de vida da população por comprometer a qualidade do ar inalado e manter em diferentes escalas inúmeros impactos que alteram o clima e conseqüentemente todo o ambiente natural.

O futuro emerge para uma mudança, onde a sustentabilidade deixe de ser algo utópico e passe a se tornar realidade.

## REFERÊNCIAS

AGOP, R. S. e SETZER A. W. **Análise mensal do risco de Queimadas para a América do Sul:** Resultados preliminares para 2003. Disponível em: [sigma.cptec.inpe.br/queimadas/.../200409\\_sismanoglu&setzer\\_cbmet8\\_f...](http://sigma.cptec.inpe.br/queimadas/.../200409_sismanoglu&setzer_cbmet8_f...) Acesso em 5 de dezembro de 2015.

ARTAXO, P., PAIXÃO, M., HENRRIQUE, P. de O. e PAULIQUEVIS, T. **O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico.** Ciênc. Cult. Vol. 59 nº3 São Paulo July/Sept.2007.

ARRUDA, P. F. **O Cerrado e suas Atividades Impactantes:** Uma leitura sobre o garimpo, a mineação e a agricultura mecanizada. Revista Eletrônica de Geografia, v.3, n.7, p. 19-37, out. 2011. Acesso em 6 de dezembro de 2015.

BICUDO, F. O mapados Ventos. **Correntes de ar levam umidade ou fumaça da Amazônia até a Bacia do Prata.** Agosto de 2.005 \_ Pesquisa Fapesp114.

CARVALHO, D.G. e CARNEIRO. Monitoramento de focos de incêndios e áreas queimadas com a utilização de imagens de sensoriamento remoto. **Revista de Engenharia e Tecnologia.** ISSN 2176-7270 V. 1, Nº 1, Dez./2009 pag. 55. Acesso em 4 de dezembro de 2015.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** São Paulo Ed. Edgard Blucher 1980.

DIAS, G. F. **Mudanças Climáticas e Você:** Cenários, desafios, governança, oportunidades, cinismo e maluquices. 1. Ed. – São Paulo: Gia, 2014.

FREITAS, S.R.; LONGO, K.M.; DIAS, M.A.F.S. e DIAS, P.L.S. **Emissões de queimadas em ecossistemas da América do Sul.** Estudos Avançados 19 (53), 2005.

HIGA, T. C. S. Contextualizando Mato Grosso In: Moreno, Gislaiane e Higa, Tereza C. S. (orgs). **Geografia de Mato Grosso:** território, sociedade e ambiente. 1 ed. Cuiabá: estrelinhas, 2005. 296p.



IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico de 2010**. Rio de Janeiro, 2010.

Ibama e Prevfogo. **Relatório de Combate a Incêndio**. Dezembro de 2011.

LabGEO. Imagem do Município de Cáceres no contexto da Bacia do Alto Paraguai, em Mato Grosso.

LARA, D. X; FIEDLER, N. C. e MEDEIROS, M. B. **Uso do fogo em propriedades rurais do cerrado em Cavalcante, GO**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 17, n. 1, p. 9-15, jan-mar, 2007.

MIRANDA, M. R. S.; NEVES, L.F.S.; KREITLOW, J. P.; NEVES, S.M.A.S.; NEVES, R.J. Queimadas no município matogrossense de Cáceres e as mudanças na cobertura vegetal e uso da terra. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, MS, 22 a 26 de novembro 2014. **Anais...** São José dos campos: INPE, 2014. P. 398-407. Disponível na biblioteca digital URLib: < <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p63.pdf> > Acesso em: 15 maio de 2015.

NEPSTAD, D. C. MOREIRA, A. G. e ALENCAR, A. A. **Floresta em Chamas, Origens, impactos e prevenção do fogo na Amazonia**. 1999 Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, Brasília, Brasil.

PAULIQUEVIS, T.; ARTOXIS, P.; OLIVEIRA, P.h. e PAIXÃO, M. **O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico**. Cienc. acult. vol.59 no.3 São Paulo July/Sept. 2007.

REIS, A. **Recuperação de áreas florestais degradadas utilizando as sucessões e as interações planta-animal**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e Secretaria do Meio Ambiente. Caderno14, 1999.

RIBEIRO, H. e ASSUNÇÃO, J.V. **Efeitos das queimadas na saúde Humana**. Estudos Avançados 16 (44), 2002 125.

SETZER, A.; ROMÃO, M. **Ameaça Cinzenta**. Aero Magazine, p.28-29, nov/2003.

[http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/200311\\_romao\\_setzer\\_aeromagazine\\_ameacacinzenta.pdf](http://queimadas.cptec.inpe.br/~rqueimadas/documentos/200311_romao_setzer_aeromagazine_ameacacinzenta.pdf).

Torres, F. T. P. **Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora (MG)**. Caminhos de Geografia 7 (18) 162- 171, jun/2006.

## MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE DUAS ESPÉCIES ARBÓREAS DO PANTANAL COM PACOTES CLIMÁTICOS DO QUATERNÁRIO

### Mariele Ramona Torgeski

Universidade Federal da Grande Dourados -  
UFGD/FCBA  
Dourados - MS, Brasil

### Kelvin Felix Barbosa

Universidade Federal da Grande Dourados -  
UFGD/FCBA  
Dourados - MS, Brasil

### Alan Sciamarelli

Universidade Federal da Grande Dourados -  
UFGD/FCBA  
Caixa Postal 322 - 79825-070 – Dourados - MS,  
Brasil

**RESUMO:** *Mauritia flexuosa* L. f. espécie arbórea que ocupada ambientes úmidos e solos ácidos. *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore, é uma espécie de ocorrência monodominante no Pantanal, gerando áreas extensas denominadas localmente como “paratudal”. Foram gerados modelos da distribuição potencial de ambas as espécies com conjunto de dados climáticos do Último Máximo Glacial (UMG, ca. 22.000 anos AP), Médio Holoceno (MH, ca. 6.000 anos AP) e cenário atual em duas versões Worldclim 1.4 e 2.0, gerados e avaliados pelo algoritmo do programa MaxEnt, o qual associa a informação geográfica de pontos de ocorrência (dados bióticos) com variáveis ambientais (dados

abióticos) do presente e do passado. As espécies apresentaram distribuição potencial de acordo com a história biogeográfica da América do Sul, tanto na regressão das geleiras quanto na formação da diagonal das áreas secas. No MH e UMG as áreas de adequabilidades ambientais se mostraram maiores que no presente. Muitos trabalhos sobre variações climáticas no continente sul americano confirmam as sugestões do modelos propostos.

### PALAVRAS-CHAVE:

*Mauritia flexuosa*, *Tabebuia aurea*, distribuição de espécies, médio holoceno e último máximo glacial.

**ABSTRACT:** *Mauritia flexuosa* L. f. arboreal species that occupied humid environments and acid soils. *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook. f. ex S. Moore, is a monodominant species in the Pantanal, generating extensive areas denominated locally as “paratudal”. Models of the potential distribution of both species with climatic data set of the Last Glacial Maximum (UMG, 22,000 years AP), Holocene Medium (MH, ca. 6000 years AP) and current scenario in two versions Worldclim 1.4 and 2.0, generated and evaluated by the algorithm of the MaxEnt program, which associates the geographical information of points of occurrence (biotic data) with environmental variables (abiotic data) of the present and the past. The species presented a

potential distribution according to the biogeographic history of South America, both in the regression of the glaciers and in the diagonal formation of the dry areas. In MH and UMG the areas of environmental adequacy were higher than at present. Many works on climatic variations in the South American continent confirm the suggestions of the proposed models.

**KEYWORDS:** *Mauritia flexuosa*, *Tabebuia aurea*, species distribution, mid-holocene and last glacial maximum.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Pantanal constitui-se uma das maiores extensões de terras alagadas, a região é uma planície aluvial influenciada por rios que drenam a bacia do Alto Paraguai, caracterizado por enchentes cíclicas. No Brasil, o Pantanal está localizado nos estados do Mato Grosso e Mato Grosso do sul compreendendo uma área de cerca de 168.000 km<sup>2</sup> sendo o restante de sua área situada em território boliviano e paraguaio (Carvalho 1986).

Segundo Noss, o estudo da vegetação é um dos indicadores sobre o estado de conservação da biodiversidade, já que fragmentação de habitats atua como a principal responsável pela perda da biodiversidade em ecossistemas florestais (Gardner et al. 2009). Porém nem sempre é possível obter registro de ocorrência, pois a distribuição real completa é difícil de ser obtida em virtude de fatores que impossibilitam a realização de inventários exaustivos (Schmidt 2007).

O conhecimento da vegetação é um importante indicador sobre a biodiversidade e do estado de conservação de uma determinada região (Noss 1990), porém nem sempre é possível obter registro de ocorrência, pois a distribuição real completa é difícil de ser obtida em virtude de fatores que impossibilitam a realização de inventários exaustivos (Schmidt 2007).

Além de produzir modelos de distribuição potencial em análises biogeográficas, a modelagem pode ser útil para o estudo da conservação de espécies raras ou ameaçadas, reintrodução de espécies, perda de biodiversidade, impactos de mudanças climáticas, avaliação do potencial invasivo de espécies exóticas, estudo das possíveis rotas de disseminação de doenças infecciosas, auxílio na determinação de áreas prioritárias para conservação, entre outros (Giannini et al. 2012).

A abordagem de modelagem de nicho ecológico (ENM), juntamente com paleoclimática simulações tem sido cada vez mais aplicada para prever a paleodistribuição de escalas regionais e globais (Nogués-Bravo 2009; Varela et al. 2011; Svenning et al. 2011). Além disso, tem sido usado para testar hipóteses biogeográficas, como Dinâmica da distribuição geográfica de espécies extintas e existentes através do último ciclo glacial (Martínez-Meyer e Peterson 2006; Nogués-Bravo et al. 2008; Waltari e Guralnick 2009; Varela et al. 2010).

O presente estudo teve como objetivo avaliar as variações sugeridas pelos modelos gerados com dados dos pacotes climáticos do Último Máximo Glacial, Médio Holoceno e presente de duas espécies de arbóreas comuns no Pantanal em Mato Grosso do Sul, com base em acervo dos herbários virtuais.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

*Mauritia flexuosa* L. f. espécie arbórea que preferencialmente ocupada ambientes úmidos e solos ácidos ficando confinada a leste do Pantanal, sendo citada como uma espécie de Biomas de Cerrado e Amazônico, contudo típica das regiões conhecidas como “buritizais” (Pott e Pott 2009). Habita os terrenos baixos alagáveis (igapós), às margens de rios e igarapés, formando os característicos miritizais ou buritizais (Ferreira 2005).

*Tabebuia aurea*(SilvaManso) Benth.&Hook.f.exS.Moore, é uma espécie pioneira e de ocorrência monodominante no Pantanal, gerando áreas extensas denominadas localmente como “paratudal” mesmo sendo encontrada em outros Biomas (Prado et al.1992,Pott e Pott 2009, Leitman et al 2015 e Lohmann 2018 ).

Para a obtenção dos dados de localização geográfica de presença das coletas (dados bióticos) e posterior modelagem da distribuição de espécies, foram utilizados dados dos herbários cadastrados no *Specieslink* (<<http://www.splink.org.br>> em 30 de março de 2018) e registros de viagens a campo. Totalizando para *M. flexuosa* 177 registros de ocorrência e para *T. aurea*300 registros.

Os dados do Médio Holoceno (MH - ca. 6.000 anos AP) e o cenário atual no sítio Worldclim (<<http://www.worldclim.org>> em 30 de março de 2017), foram utilizadas do tempo presente, 67 variáveis bioclimáticas da versão *WorldClim1.4*, com uma resolução espacial de 5 km, que refletem vários parâmetros da temperatura, precipitação e sazonalidade que possam ser importantes para determinar a distribuição das espécies, para o período do Médio Holoceno (MH) foram utilizadas 170 variáveis e no último máximo glacial (UMG) foram empregadas 55 variáveis na mesma resolução espacial (Hijmans et al. 2005). Além de 67 variáveis bioclimáticas do tempo presente na versão *WorldClim2.0* (Fick e Hijmans 2017). As camadas bioclimáticas foram extraídas numa amplitude onde abrangeu toda América do Sul.

A modelagem consiste em um processamento computacional que associa a informação geográfica de pontos de ocorrência (dados bióticos) com variáveis ambientais (dados abióticos) do presente e do passado, o que gera uma representação das condições requeridas pelas espécies. O uso de algoritmos tem sido aplicado para criar modelos que representam essas condições e que podem ser projetados sobre um mapa que exhibe as áreas potenciais de ocorrência dessas espécies (Giannini et al. 2012).

Os *shapes* das regiões ecológicas foram obtidos na *The Nature Conservancy*

(*TNCMaps*) (<[http://maps.tnc.org/gis\\_data.html#TerrEcos](http://maps.tnc.org/gis_data.html#TerrEcos)> em outubro de 2016)

*Mauritia flexuosa* é um importante indicador de áreas úmidas do Pantanal, e é encontrado no Paraguai e Brasil, geralmente em fisionomias de Chaco arborizado (Pott et al. 2011).

Os modelos foram processados através do algoritmo *Maxent*(Max) contido no aplicativo livre e de código aberto *Maxent* versão 3.4.1 (Phillips et al 2018). Para avaliar a qualidade dos modelos gerados, foi utilizado um conjunto de dados independente para cada uma das possibilidades testadas em dois conjuntos de formação (70% teste e 30% de treino) selecionados pelo próprio algoritmo.

Os resultados foram organizados com sistema de informação geográfica (SIG) no software livre QGIS 3.03.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ambas as espécies os modelos gerados apenas com dados do *Bioclim* versão 1.4 no presente, apresentaram áreas menores de adequabilidade ambiental que os modelos gerados com os dados do grupo de variáveis *Bioclim* versão 2.0. **Figura 1, 2, 3 e 4.**

No caso do MH e do UMG os modelos gerados sugerem áreas de adequabilidade ambiental maiores que o presente (*Bioclim* versão 2.0). Essas áreas maiores podem ser observadas no sentido sudoeste nordeste da América do Sul e em algumas regiões da Amazônia brasileira e sul americana.

Rossetti et al em (2017) concluíram que houveram mudanças climáticas e vegetacionais na Amazônia através de isótopos de carbono que podem confirmar as sugestões dos modelos propostos. Essas modificações climáticas do passado alteraram significativamente a temperatura e umidade do continente, alterando a ocupação das espécies vegetais.

*Mauritia flexuosa* apresenta uma ampla distribuição pela América do Sul e mais concentrada na região central do Brasil, além de apresentar registros de ocorrência no Nordeste e Norte do Brasil e na Amazônia pela América do Sul. Os registros de ocorrência são influenciados pela dificuldade de coleta do material e falta de investimento nos levantamentos da Flora do Brasil. **Figura 1 e 2.**

Para todos os modelos gerados em todos os períodos o AUC de *Mauritia flexuosa* foi de 0,96. Os valores de AUC dão uma estimativa de quão bem o modelo distingue a ocorrência das espécies de locais aleatórios, e modelos com valores acima de 0,75 são considerados potencialmente úteis (Elith et al. 2011).

No destaque da região pantaneira, *Mauritia flexuosa* não apresenta muitos registros, contudo a modelagem sugere áreas de adequabilidade ambiental favoráveis a ocupação. Além de sugerir que havia possibilidades de ambientes favoráveis a uma expansão da ocupação pelo Pantanal em direção Sul e Leste no MH e UMG.



*Tabebuia aurea* é uma espécie que tem uma alta capacidade de adaptação em ambientes pois apresenta uma distribuição por diversos Biomas. Os registros de ocorrência também são concentrados por locais onde há algum financiamento para pesquisa de Flora local, contudo muitas regiões do Brasil de na América do Sul são carentes de investimento para coletas e pesquisas. Por isso, a distribuição dos registros é mais concentrada numa diagonal ente o Pantanal até o Nordeste brasileiro preferencialmente. **Figura 3 e 4.**

Para todos os modelos gerados em todos os períodos o AUC de *Tabebuia aurea* foi de 0,90.

*Tabebuia aurea* no Pantanal apresenta mais registros que *Mauritia flexuosa* e por isso as áreas de adequabilidade ambiental são maiores. Nos períodos do MH e UMG a modelagem sugere que haviam possibilidades de ambientes favoráveis a uma expansão da ocupação pelo Pantanal em direção Norte e sentido Leste-Oeste.

Os modelos propostos para a espécie evidenciam baixa distribuição ao sul do continente, pois as áreas meridionais estavam em processo de formação, sem predominância de áreas inundadas e temperaturas extremas (Kruck et al. 2011).

Pelos modelos gerados, a distribuição é condizente com a história biogeográfica da formação da diagonal das áreas secas (Carvalho e Almeida 2011).

Mesmo num cenário de mudanças climáticas atualmente para ambientes mais secos e com uma perspectiva do Pantanal se tornar desértico, a tendência é a savana florestada (Pott 2000).

#### 4 | CONCLUSÕES

Há uma diferença entre os pacotes climáticos *Worldclim* nas versões 1.4 e 2.0 do presente, pois as áreas de adequabilidade ambiental dos modelos sugeridos são diferentes. As variáveis climáticas do MH e UMG apresentaram áreas de adequabilidade ambiental diferentes ressaltando as diferenças climáticas dos períodos segundo a distribuição das ocorrências das espécies.

Em ambas as espécies os modelos nos períodos passados (MH e UMG) sugerem áreas de adequabilidade ambiental maiores que no presente, sugerindo que possivelmente haviam ambientes favoráveis a expansão da ocorrência das duas espécies pelo Pantanal e Chaco.

A concentração dos registros de ocorrência de ambas as espécies, pode atrapalhar a construção dos modelos, como observado em *Tabebuia aurea*.

Os modelos sugeridos no MH para *Mauritia flexuosa* mostram áreas de adequabilidade ambiental na região do Pantanal e Chaco descontínuas. No UMG há uma continuidade maior de probabilidades de ocorrência de áreas de adequabilidade ambiental pelo Pantanal e Chaco.

Os modelos sugeridos no MH para *Tabebuia aurea* apresentam áreas de

adequabilidade ambiental na região do Pantanal e Chaco contínuas. No UMG, como em *Mauritia flexuosa*, os modelos sugerem áreas de adequabilidade ambiental maiores que o MH e o presente.

*Tabebuia aurea* por apresentar mais registros de ocorrência pelo Pantanal também apresenta maiores áreas de adequabilidade ambiental no presente e passado.

## REFERÊNCIAS

- Carvalho, N. O. Hidrografia da bacia do alto Paraguai. *in*: I Simpósio Sobre Recursos Naturais E Socioeconômicos do Pantanal. Anais do... Brasília: Embrapa, p.43-50, 1986.
- Carvalho, C.J.B.; Almeida, E.A.B. eds. **Biogeografia da América do Sul: padrões e processos**. São Paulo: Roca Ltda., 2011. 310 p.
- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y.E.; Yates, C.J. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. **Diversity and Distributions**, v.17, p. 43-57, 2011.
- Ferreira, M. G. R. **Buriti (*Mauritia flexuosa* L.)** Porto Velho, RO, Embrapa, 2005, p2-3.
- Fick, S.E. and R.J. Hijmans, 2017. Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 12, p 4302-4315, 2017.
- Giannini, T.C.; Siqueira, M.F.; Acosta, A.L.; Barreto, F.C.C.; Saraiva, A.M.; Alves dos Santos, A. Desafios atuais da modelagem preditiva de distribuição de espécies. **Rodriguesia**, v. 63, n. 3, p. 733-749, 2012.
- Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G.; Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, v. 25, n. 15, p. 1965-1978, 2005.
- Kruck, W.; Helms, F.; Geyh, M.A.; Suriano, J.M.; Marengo, H.G.; Pereyra, F. Late Pleistocene-Holocene History of Chaco-Pampa Sediments in Argentina and Paraguay. **Quaternary Science Journal**, v.60, n. 1, p 188-202, 2011.
- Leitman, P., Soares, K., Henderson, A., Noblick, L., Martins, R.C. 2015. *Arecaceae in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15723>>. Acesso em: 13 Jun. 2018.
- Lohmann, L.G. *Tabebuia in Flora do Brasil 2020 em construção*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB114257>>. Acesso em: 13 Jun. 2018.
- Martínez-Meyer, E. e Peterson, A.T. Conservatism of ecological niche characteristics in North American plant species over the Pleistocene-to-Recent transition. **Journal of Biogeography**, v.33,n.1, p. 1779–1789, 2006.
- Nogués-Bravo, D. Predicting the past distribution of species climatic niches. **Global Ecology and Biogeography**, v.18, n. 5, p.521-531, 2009.
- Nogués-Bravo, D., Ohlemüller, R., Batra, P., Araújo, M. Climate predictors of late quaternary extinctions. **Evolution; international journal of organic evolution**, v. 64, n. 8, p. 2442–2449, 2010.
- Nogués-Bravo, D.; Rodríguez, J.; Hortal, J.; Batra, P.; Araújo, M. Climate change, humans, and the extinction of the woolly mammoth. **PLoS Biology**, v.6, n. 4, p.685- 692, 2008.

Noss, R.F. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. **Conservation Biology**, v. 4, n.4, p.355-364, 1990.

Pott, A. Dinâmica da vegetação do Pantanal. In: Cavalcanti, T.C., Walter, B.M.T. (org.) **Tópicos atuais em Botânica**. Brasília: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia/Sociedade Botânica do Brasil, 2000. p. 172-182.

Pott, A.; Oliveira, A.K.M.; Damasceno-Junior, G.A.; Silva, J.S.V. Plant diversity of the Pantanal wetland. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n.1, p. 265-273, 2011.

Prado, D.E.; Gibbs P.E. Patterns of species distribution in the dry seasonal forest of South America. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, v.80, n.1, p. 902-927, 1993.

Rossetti, D. F., Cohen, M. C. L., Pessenda, L. C. R. . Vegetation change in southwestern Amazonia (Brazil) and relationship to the late Pleistocene and Holocene climate. **Radiocarbon**, v. 59, n. 1, p 69–89. 2017.

Schmidt, K. **Distribuição potencial de espécie de Isoptera e conservação do Cerrado**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade de Brasília, Brasília. 2007.

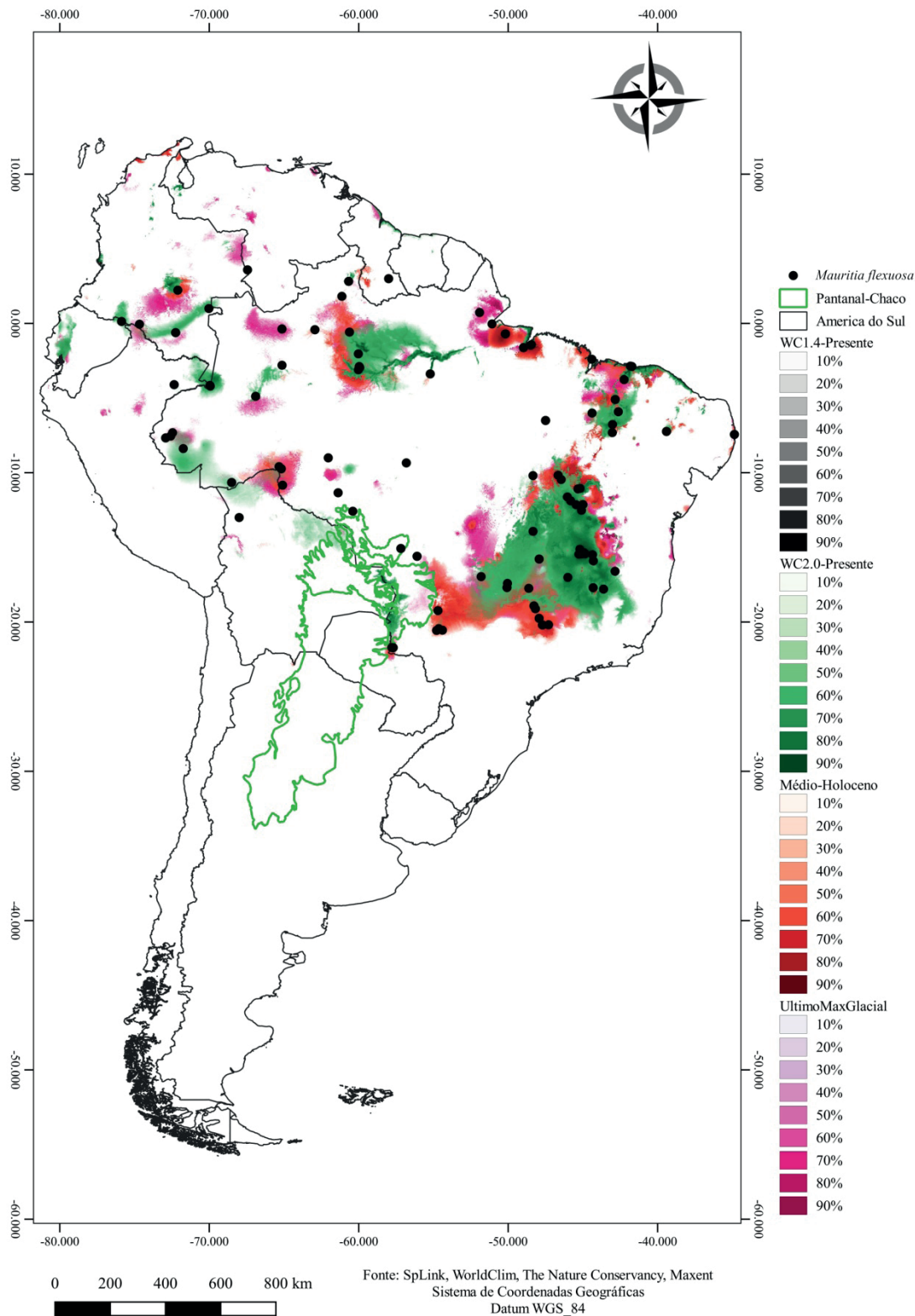
Steven J. Phillips, Miroslav Dudík, Robert E. Schapire. [Internet] Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Available from url: [http://biodiversityinformatics.amnh.org/open\\_source/maxent/](http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/). Accessed on 2018-6-13.

Svenning, J.-C., Fløjgaard, C., Marske, K.A., Nógues-Bravo, D. e Normand, S. Applications of species distribution modeling to paleobiology. **Quaternary Science Reviews**, v.30, n. 1, p. 2930–2947, 2011.

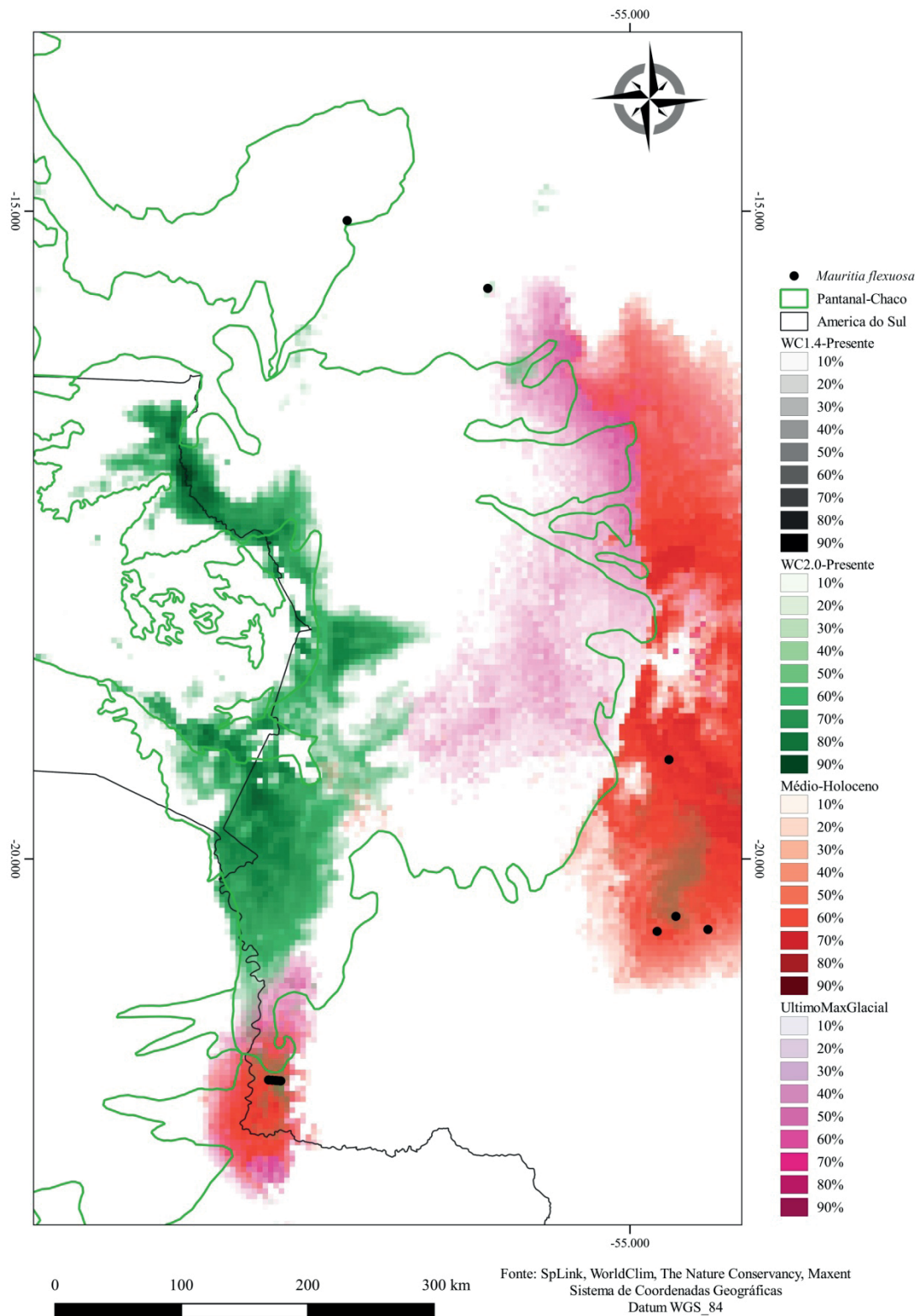
The Nature Conservancy (TNCMaps). Disponível em: [http://maps.tnc.org/gis\\_data.html#TerrEcos](http://maps.tnc.org/gis_data.html#TerrEcos). Acesso em 03.outubro.2016.

Varela, S.; Lobo, J.M.; Rodríguez, J.; Batra, P. Were the Late Pleistocene climatic changes responsible for the disappearance of the European spotted hyena populations? Hindcasting a species geographic distribution across time. **Quaternary Science Reviews**, v.29,n.1, p. 2027-2035, 2010.

Waltari, E. e Guralnick, R.P. Ecological niche modelling of montane mammals in the Great Basin, North America: examining past and present connectivity of species across basins and ranges. *Journal of Biogeography*, v. 36, n.1, p. 148–161, 2009.

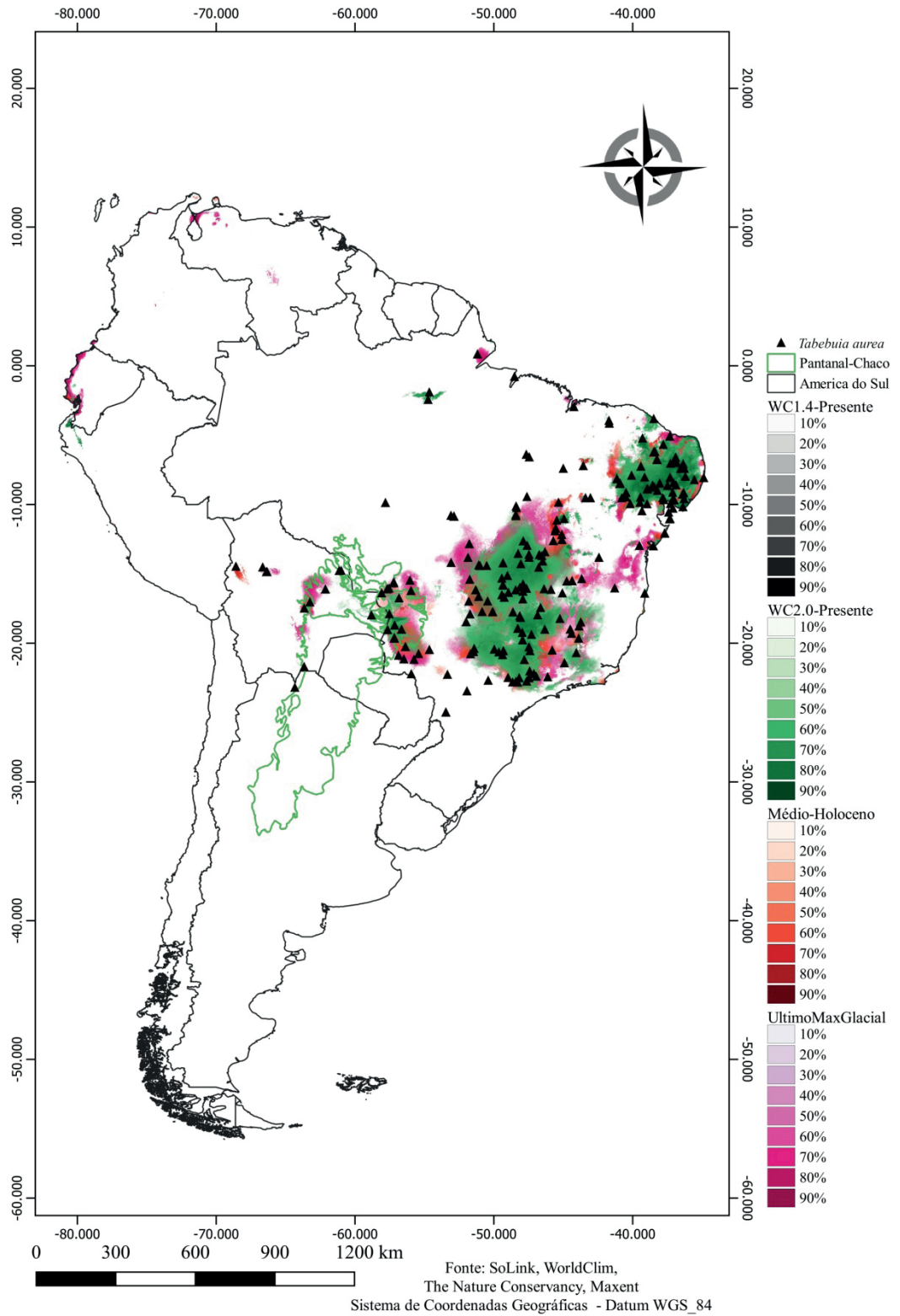


**Figura 1.** Ocorrências de *Mauritia flexuosa* L. f. e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial pela América do Sul.

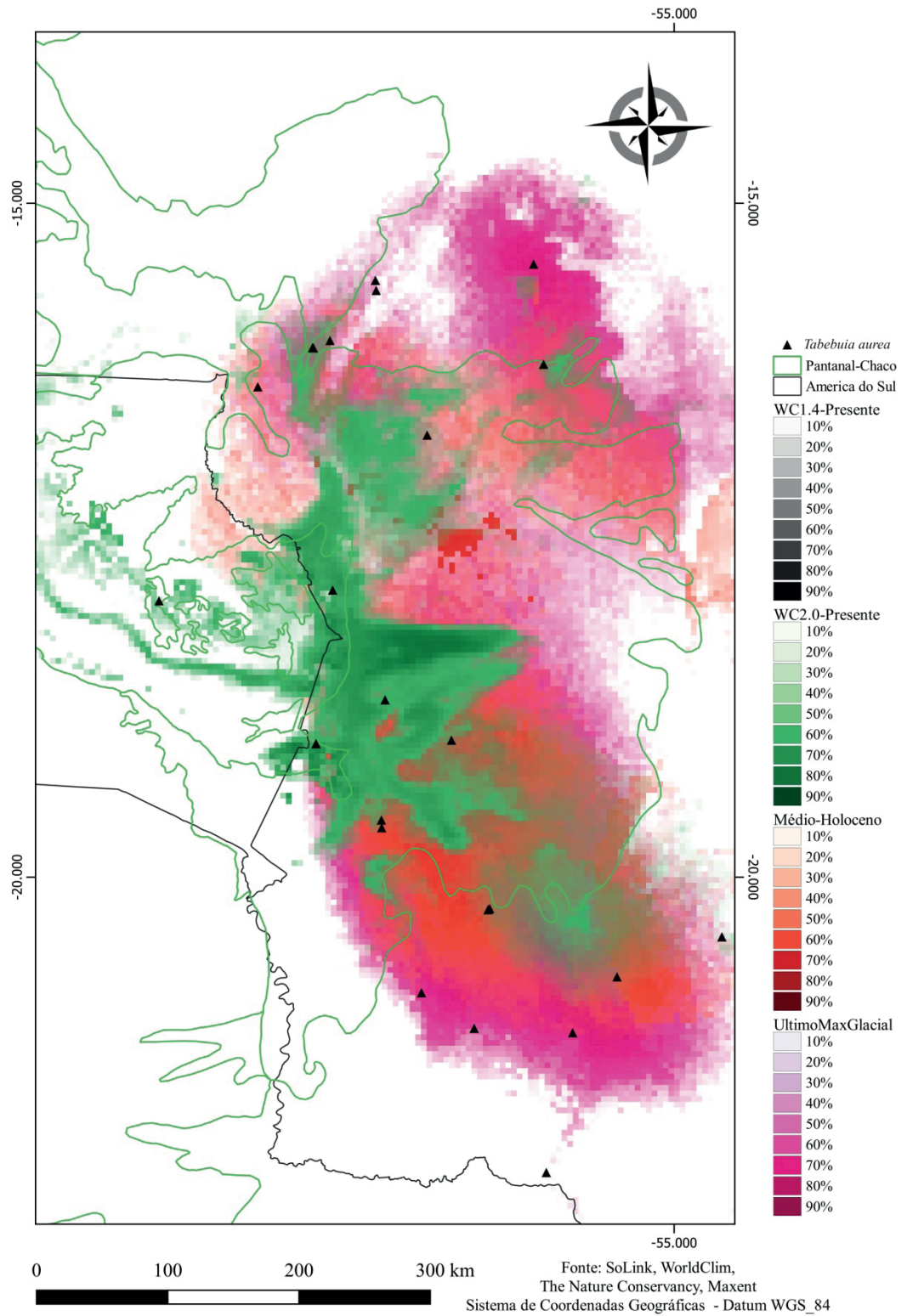


**Figura 2.** Ocorrências de *Mauritia flexuosa* L. f. e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial no Pantanal e áreas do Chaco.





**Figura 3.** Ocorrências de *Tabebuia aurea*(SilvaManso) Benth.&Hook.f.exS.Moore e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial na América do Sul.



**Figura 4.** Ocorrências de *Tabebuia aurea*(SilvaManso) Benth.&Hook.f.exS.Moore e modelos da distribuição da espécie baseados em pacotes climáticos do presente, médio Holoceno e último máximo glacial no Pantanal e áreas do Chaco.

## PROPOSTA DE MONITORAMENTO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIO CUIABÁ, COM O USO DE PROCESSOS ESTATÍSTICOS E DE GEOTECNOLOGIA, PREVENDO POSSÍVEIS IMPACTOS AMBIENTAIS À REGIÃO DO PANTANAL

**Claudionor Alves da Santa Rosa**

Faculdade de Tecnologia Victor Civita-FATEC  
São Paulo-SP

**RESUMO:** A proteção dos recursos hídricos envolve o monitoramento e avaliação de sua qualidade ao longo do tempo e em locais distintos dos rios, com o objetivo de controlar os lançamentos de poluentes e manter aceitável a qualidade da água para tratamento e de proteção à biota. Prevendo futuros impactos ambientais à Região do Pantanal, com lançamento de poluentes em suas águas, este trabalho tem como objetivo propor metodologia de monitoramento da qualidade das águas do rio Cuiabá, Estado de Mato Grosso, Região Hidrográfica do Paraguai, tendo como parâmetro as estações CBA406, CBA437, CBA464 e CBA561, com o uso de processos estatísticos e de geotecnologia. Concluiu-se que, a qualidade das águas nas estações está em crescente degradação, o que pode comprometer a qualidade futura das águas para tratamento e posterior distribuição à população da região, afetando, inclusive, a biota, se mantidas as condições atuais, o que requer metas e ações para reverter este processo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Rio Cuiabá, qualidade das águas, Pantanal, regressão linear, geotecnologia.

**ABSTRACT:** The protection of water resources involves monitoring and evaluation of their quality over time and in different places of the rivers in order to control pollutant releases and maintain acceptable water quality for treatment and protection of biota. Anticipating future environmental impacts to the Pantanal, with discharge of pollutants in their waters, this work aims to propose monitoring methodology of the quality of the river Cuiaba, Mato Grosso, Hydrographic Region of Paraguay, having as parameter the points CBA406, CBA437, CBA464 and CBA561, using statistical techniques and geospatial. It was concluded that the water quality at points is degradation, which can compromise the future quality of water for treatment and subsequent distribution to the population of the region, affecting the biota if kept current conditions, which it requires goals and actions to reverse this process.

**KEYWORDS:** Cuiabá River, water quality, Pantanal, linear regression, geospatial.

### 1 | INTRODUÇÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá localizada no Estado de Mato Grosso, compõe um importante manancial para a população. A sub-bacia do Alto Cuiabá corresponde ao trecho das cabeceiras do rio, enquanto a sub-

bacia do Médio Cuiabá abrange, em parte, área característica do Pantanal Mato-grossense (Chiaranda; Colpini; Soares, 2016).

O Rio Cuiabá, com cerca de 750 quilômetros de extensão, percorre os estados de Mato Grosso e de Mato Grosso do Sul até a confluência com o Rio São Lourenço. Este, com 230 quilômetros, segue até o Rio Paraguai (ANTAQ, 2013).

O rio Cuiabá, em virtude de sua importância no contexto regional, representa o principal polo de ocupação e desenvolvimento do estado de Mato Grosso, sendo um dos principais afluentes do complexo Pantanal (LIBOS; LIMA, 2002). Os usos da água na região são mais significativos para a agropecuária; no entanto, a demanda urbana cresce, com possível crescimento de uso para a agrícola irrigada (MMA, 2006).

A retirada da cobertura vegetal, inclusive das matas ciliares, agrava os processos erosivos, modifica o regime hidrológico, diminui a qualidade das águas e a quantidade disponível nos mananciais (VARGAS, 1999). E o lançamento de esgoto doméstico e industrial nos rios, modifica os ciclos naturais das águas, comprometendo a autodepuração (SANTA ROSA, 2013).

Os municípios polos da Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá, são os principais responsáveis pelo lançamento de efluentes de poluição doméstica e industrial lançados no rio Cuiabá, além da falta de esgotamento sanitário, limpeza urbana, coleta de lixo, drenagem (IPEA, 2015). A poluição das águas em regiões do Pantanal pode afetar o desenvolvimento econômico, social e ambiental de toda a região.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é propor metodologia de monitoramento da qualidade das águas do rio Cuiabá, tendo como modelo as estações de monitoramento CBA406, CBA437, CBA464 e CBA561, utilizando o IQA, senso National Sanitation Foundation (IQA/NSF) e respectivas tendências ao longo do tempo, por regressão linear, contribuindo com os órgãos competentes na adoção de medidas de proteção presente e futura de suas águas.

## 3 | MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais e métodos adotados para se atingir os objetivos propostos, estão a seguir apresentados segundo as atividades pesquisadas.

### 3.1 Estações de amostragem

As estações de amostragem CBA406, CBA437, CBA464 e CBA561, localizam-se na bacia do rio Cuiabá, Estado do Mato Grosso, Região Hidrográfica do Paraguai (Figura 1).



As duas primeiras estações localizam-se no município de Cuiabá, a terceira no município de Santo Antônio do Leverger e a última no município de Barão de Melgaço (Quadro 1).

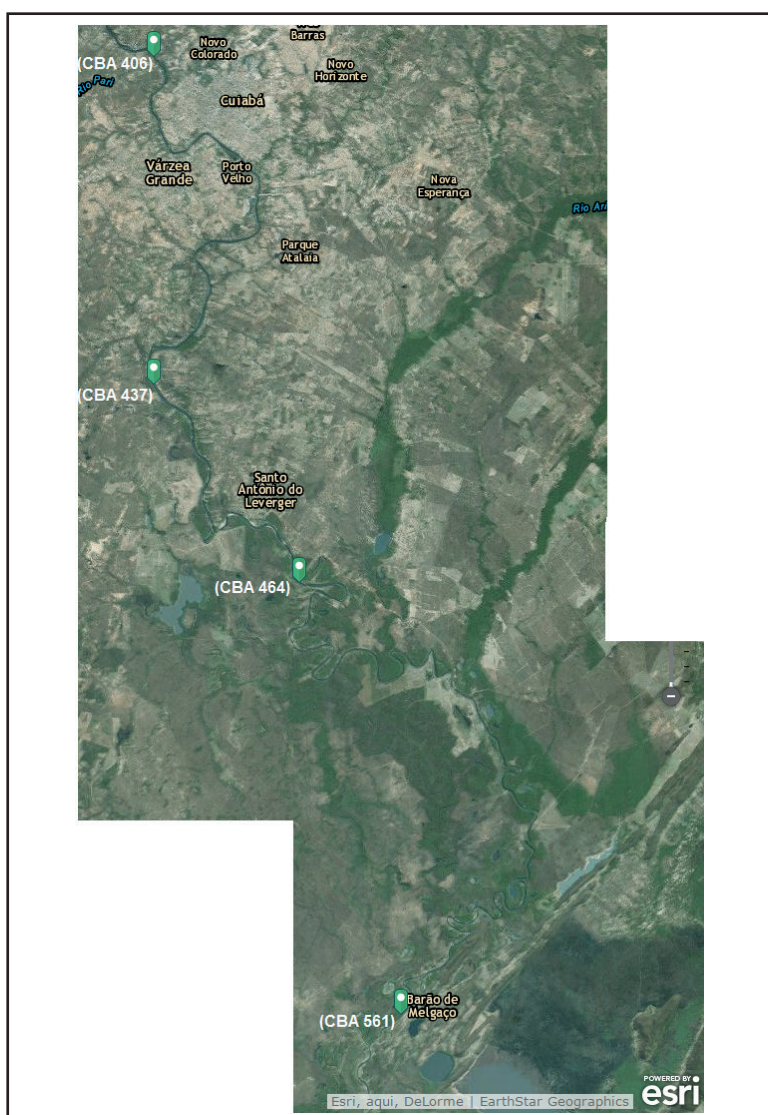


Figura 1 – Localização das estações de monitoramento no rio Cuiabá-MT. S/ escala.

Fonte: SEMA (2016); Landsat 7 (2016).

Nome da Estação	Município	Código da Estação	Altitude (m)	Coordenadas
Passagem da Conceição	Cuiabá	CBA406	156	15°33'53,52" S - 56°8'29,83" W
Jusante do Córrego Ribeirão dos Cocais	Cuiabá	CBA437	146	15°46'51,03" S - 56°8'34,59" W
Praia do Poço	Santo Antônio do Leverger	CBA464	142	15°54'48,22" S - 56°1'47,27" W
Jusante de Barão de Melgaço	Barão de Melgaço	CBA561	138	16°11'43,19" S - 55°58'7,27" W

Quadro 1 - Estações de monitoramento da qualidade das águas no Rio Cuiabá.

Fonte: SEMA (2016)



A distância percorrida pelas águas, seguindo o canal de escoamento do rio Cuiabá, entre as estações de monitoramento CBA406 e CBA437 é cerca de 38 km; entre as estações CBA437 e CBA464 é de cerca de 35 km e, entre as estações CBA464 e CBA561 é de cerca de 64 km.

### 3.2 Levantamento de dados da qualidade das águas

Os dados do IQA das águas do rio Cuiabá, nas estações de monitoramento CBA406, CBA437, CBA464 e CBA561, entre os anos 2003 e 2014, é uma coleção de dados disponibilizados pela Secretaria de Estado do Meio Ambiente de Mato Grosso (SEMA).

O Índice de Qualidade da Água (IQA) foi desenvolvido pela *National Sanitation Foundation* (NSF), com base no método DELPHI (da *Rand Corporation*), uma técnica de pesquisa de opinião que pode ser utilizada para extrair informações de um grupo de profissionais, buscando uma maior convergência nos dados dos parâmetros para avaliar a qualidade da água bruta, visando seu uso para o abastecimento público, cujas variáveis indicam, principalmente, o lançamento de esgotos domésticos. Este índice também pode indicar contribuições de efluentes industriais, desde que sejam de natureza orgânica biodegradável (CETESB, 2003; SEMA, 2005; ANA, 2013).

O IQA retrata através de um único índice, a qualidade das águas em determinada estação de monitoramento e podem ser interpretados como “notas”, retratando a qualidade das águas variando de “péssima” a “excelente”, ou que permitam inferências sobre alguns aspectos específicos sobre o curso d’água, tal como biodiversidade e toxicidade (SPERLING, 2007).

O IQA adotado pela SEMA define um conjunto de nove parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas, atribuído um peso para cada parâmetro, de acordo com sua importância relativa ao cálculo do IQA (Quadro 2)

Item	Parâmetro	Unidade	Peso (w)
1	Oxigênio Dissolvido	% saturação	0,17
2	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	0,15
3	pH	-	0,12
4	DBO5	mg O2/L	0,10
5	Nitrogênio Nitrato	mg N/L	0,10
6	Fósforo Total	mg P/L	0,10
7	Turbidez	UNT	0,08
8	Sólidos Totais	mg/L	0,08
9	Temperatura de Desvio	°C	0,10

Quadro 2 - variação dos parâmetros de qualidade das águas para o cálculo do IQA.

Fonte: SEMA (2016)

O IQA final é calculado como um produto das notas individuais de cada parâmetro,

elevadas aos respectivos pesos. Os valores do índice variam entre 0 e 100 (Quadro 3).

Classificação	Faixa de variação
<b>ÓTIMA</b>	<b>91 &lt; IQA ≤ 100</b>
<b>BOA</b>	<b>71 &lt; IQA ≤ 90</b>
<b>REGULAR</b>	<b>51 &lt; IQA ≤ 70</b>
<b>RUIM</b>	<b>26 &lt; IQA ≤ 50</b>
<b>PÉSSIMA</b>	<b>00 &lt; IQA ≤ 25</b>

Quadro 3 - Faixa de variação para avaliação do IQA.

Fonte: SEMA (2016)

Conforme SEMA (2016), a seguinte fórmula é utilizada para determinação do IQA:

$$IQA = \prod_{i=1}^n q_i^{w_i} \quad (2)$$

Onde:

**IQA:** Índice de Qualidade das Águas, um número entre 0 e 100;

**qi:** qualidade do i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 100, obtido da respectiva “curva média de variação de qualidade”, em função de sua concentração ou medida e

**wi:** peso correspondente ao i-ésimo parâmetro, um número entre 0 e 1, atribuído em função da sua importância para a conformação global de qualidade, sendo que:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (3)$$

Em que:

**n:** número de parâmetros que entram no cálculo do IQA.

No caso de não se dispor do valor de algum dos 9 parâmetros, o cálculo do IQA é inviabilizado.

A partir do cálculo efetuado, pode-se determinar a qualidade das águas brutas que, indicada pelo IQA, é classificada para abastecimento público.

Esse índice é usado como acessório na interpretação de dados, auxiliando na avaliação dos resultados, e representa a qualidade da água numa escala numérica, pois fornece um meio de julgar a efetividade de medidas de controle ambiental, podendo dar uma ideia geral da tendência de evolução da qualidade ao longo do tempo, além de permitir uma comparação entre diferentes corpos hídricos e também o comportamento do mesmo corpo hídrico em diferentes períodos (SEMA, 2016) e

locais.

É importante salientar que esse índice obtido através do IQA apresenta algumas limitações, uma vez que o índice não contempla outros parâmetros, tais como: metais pesados, compostos orgânicos com potencial mutagênico, substâncias que afetam as propriedades organolépticas da água e o potencial de formação de trihalometanos das águas de um manancial (CETESB, 2003; ANA, 2013).

A Resolução nº 357, de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), classifica as águas doces, salobras e salinas do Território Nacional em treze classes, segundo seus usos preponderantes. As águas doces são classificadas em: Classe Especial, Classe 1, Classe 2, Classe 3 e Classe 4. Segundo o artigo 42 da referida Resolução, enquanto não forem feitos os enquadramentos, as águas doces serão consideradas de Classe 2. Portanto, os corpos d'água das sub-bacias do rio Paraguai, devem ser considerados como de Classe 2 até que sejam realizados os enquadramentos de seus trechos. As águas da Classe 2 são destinadas ao abastecimento para o consumo humano, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho e, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000, à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto, à aquicultura e à atividade de pesca.

### 3.3 Análise de dados

Neste trabalho foi aplicada a estatística descritiva conforme Kurata et al., (1989); a previsão, predição, tendências futuras e comportamentos conforme Rubio (2012). As séries temporais segundo Teixeira (2008), Reboita (2005) e Migon (2013). A regressão linear conforme Toledo e Ovalle (1985), Teixeira (2008) e Iezzi et al. (1978).

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As séries temporais analisadas, por meio de regressão linear, nas quatro estações de monitoramento apresentam tendências ao longo do período de coleta de dados (Figura 2).

Observa-se na Figura 2, tendência de decréscimo do IQA em todas as estações de monitoramento.

A Tabela 1 apresenta a equação da reta, o ano de probabilidade das respectivas classificações do IQA e variação percentual durante o período de monitoramento

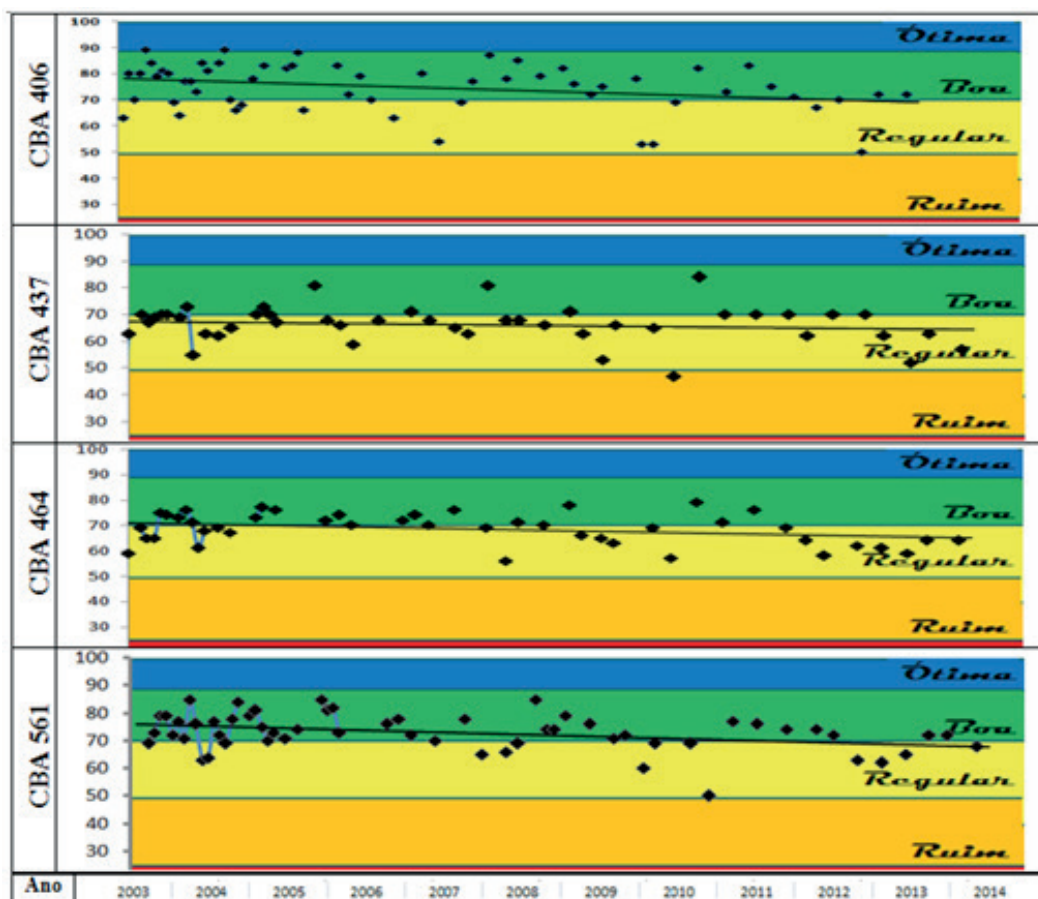


Figura 2 – Estações de monitoramento no rio Cuiabá: Séries temporais e regressão linear do IQA (2003 a 2014).

Fonte: SEMA (2005, 2006, 2010, 2014, 2016). Dados trabalhados pelo autor.

Estações de monitoramento	Equação da reta (regressão linear)	Varição durante o período de monitoramento (%)	Ano em que atingiu a classificação boa	Ano em que atingiu a classificação regular	Ano em que atingirá a classificação ruim	Ano em que atingirá a classificação péssima
CBA406	$y = -0,065x + 78,23$	-11,96	1987	2013	2039	2071
CBA437	$y = -0,022x + 67,55$	-4,68	1917	1993	2069	2164
CBA464	$y = -0,045x + 71,36$	-9,08	1968	2005	2042	2088
CBA561	$y = -0,057x + 76,11$	-10,78	1982	2012	2041	2077

Tabela 1 – Regressão linear do IQA e respectivas variações percentuais (2003 a 2014)

Fonte: SEMA (2005, 2006, 2010, 2014, 2016). Dados trabalhados pelo autor.

Na Tabela 1 nota-se a aproximação entre os anos em que as estações CBA406, CBA464 e CBA561 atingirão a classificação ruim: 2039, 2042 e 2041, respectivamente. O que representa um tempo muito curto em que as águas nessas estações tornar-se-ão impróprias para tratamento para rios de classe 2.

O Gráfico 1 é uma representação gráfica da Tabela 1, apresentando a previsão dos limites de classificação do IQA nas estações de monitoramento, ao longo do tempo, obedecendo as distâncias entre estações.

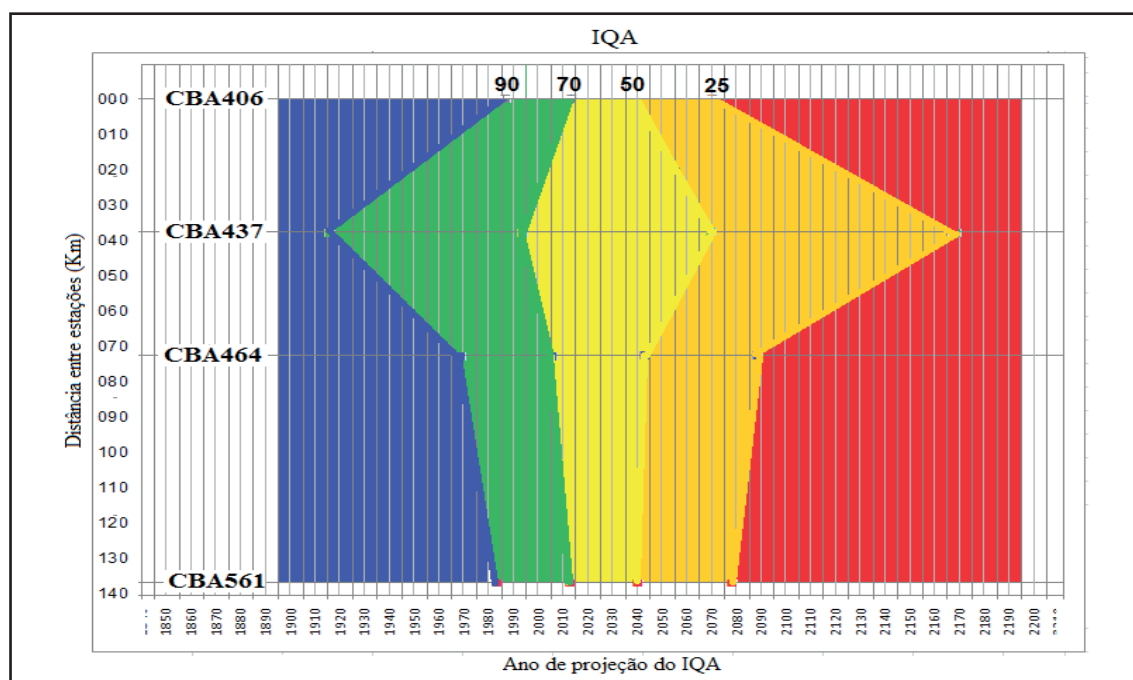


Gráfico 1 – Previsão e predição dos limites de classificação do IQA (por estação de monitoramento)

Fonte: SEMA (2005, 2006, 2010, 2014, 2016). Dados trabalhados pelo autor.

No Gráfico 1, pode-se analisar por estação de monitoramento:

- as águas na estação CBA406 possuem baixa eficiência no processo de *autodepuração*. Isto é observado pelo estreitamento entre a aproximação dos períodos de probabilidade de mudança de classificação do IQA;
- na estação CBA437, nota-se maior afastamento dos períodos de probabilidade de mudança de classificação do IQA, demonstrando maior eficiência na autodepuração no tempo presente;
- na estação CBA464, o período de mudança de período de probabilidade é bem menor em relação ao anterior, porém maior do que a estação CBA406; e
- A estação CBA561 assemelha-se à estação CBA406.

## 5 | CONCLUSÕES E SUGESTÕES

As estações de monitoramento CBA406, CBA464 e CBA561 estão em plena degradação da qualidade de suas águas, podendo tornar-se imprópria para tratamento, se mantidas as condições atuais, atingindo a classificação ruim, em média, dentro de 25 anos.

Mesmo que ocorra o tratamento, as altas concentrações de poluentes, leva



ao uso de produtos químicos em excesso, como o cloro. Este pode reagir com outros compostos na água e produzir substâncias impróprias à saúde humana, conforme Branco (1965) citado por Bittencourt (1966), Carneiro e Leite (2008) e Marmo, Santos e Bresaola Jr (2009).

Além da possibilidade de trazer riscos à saúde pública, água bruta com alta concentração de poluentes determina os custos de tratamento para abastecimento público, face às inúmeras substâncias lançadas nos cursos d'água, tornando o tratamento cada vez mais oneroso.

A mancha de poluição que surgirá ao longo do rio Cuiabá poderá atingir a área do pantanal. Caso semelhante ocorre no rio Tietê, na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Em 2015, a mancha de poluição chegou a 157 km (G1.GLOBO, 2015). E este não é o principal fator. Uma das fontes de poluição nos rios e que gera preocupação, são os sedimentos contaminados por substâncias tóxicas e potencialmente tóxicas.

Conforme Mortatti, Hissler e Probst (2010), os metais pesados lançados no rio Tietê na RMSP, como Cr, Cu, Ni, Zn e Pb, foram encontrados em elevadas concentrações nos sedimentos da Barragem de Barra Bonita, a 300 km de São Paulo.

Casos semelhantes foram relatados por Heinrich (2011) no Rio Belém; por Sampaio (2003) na bacia do Alto Paraguai; por FEAM; IGAM e IEF (2005) no rio São Francisco; no rio das Velhas por Minas Gerais (2013) e tantos outros.

Os metais como o cobre, zinco, cádmio, níquel, mercúrio e chumbo lançados no ambiente, atingem os lençóis freáticos, córregos, riachos e ficam depositados no fundo dos rios, afetando as espécies bentônicas além de poder retardar ou inibir o processo biológico aeróbico ou anaeróbico e serem tóxicos aos organismos vivos. O uso de defensivos agrícolas contribui na acumulação de metais pesados nos sedimentos devido ao arraste da camada do solo por processo de erosão (MEDEIROS, 2005).

Durante o período de chuvas, eleva-se a vazão dos rios e aumenta a capacidade de transporte dos sedimentos contaminados, o que pode comprometer a qualidade das águas, tanto para consumo humano como para a sobrevivência da biota aquática.

No sentido de interromper o processo de degradação das águas do rio Cuiabá e com possibilidade de atingir os rios do pantanal à jusante, são propostas as seguintes recomendações:

1. Estabelecer metas e controle das descargas de poluentes, até reverter o processo de queda do IQA, até chegar a um nível aceitável de qualidade da água, restabelecendo os principais processos de autodepuração e equilíbrio no meio aquático.
2. Montar uma agenda de vistorias periódicas em toda extensão do rio Cuiabá, pelos municípios que fazem parte de sua bacia, acompanhados pela SEMA, avaliando possíveis assoreamentos, lançamentos de dejetos sólidos, líquidos e fertilizantes, com o objetivo de fiscalizar possíveis irregularidades cometidas por indústrias, inclusive agropecuária, municipais e o próprio poder público;

3. Elaboração de um plano de gestão e manejo da bacia do rio Cuiabá, com planejamento urbano e ambiental, envolvendo um programa de despoluição do rio, pela SEMA e prefeituras locais, com afastamento, coleta e tratamento de 100% dos resíduos líquidos e sólidos, seja doméstico ou industrial, objetivando a manutenção da qualidade do efluente final, dentro dos padrões de lançamento da legislação brasileira, com metas anuais;
4. Incluir nesse Plano a recuperação da mata ciliar, na área de APPem toda sua extensão, preservando a mata existente e recuperando as áreas desprotegidas;
5. Ampliar o estudo da qualidade das águas do rio Cuiabá, para melhor avaliar o grau de degradação;
6. O uso de geotecnologias, com o mapeamento cadastral e distribuição geográfica georreferenciada das fontes de poluição, identificando-as e classificando-as, para auxiliar no monitoramento e possíveis soluções quanto à qualidade da água ao longo do rio Cuiabá;
7. Criação de uma rede de estações de monitoramento georreferenciadas de qualidade das águas, utilizando o IQA, ao longo do rio Cuiabá e de seus afluentes;
8. Criação de um arquivo histórico com os dados obtidos nos pontos georreferenciados de qualidade das águas em toda a bacia do Cuiabá;
9. Implantação de campanhas de educação ambiental para toda a população, especialmente nas redes escolares, conscientizando dos impactos negativos ao meio ambiente, decorrente do lançamento de resíduos sólidos e líquidos na bacia do rio Cuiabá.

## REFERÊNCIAS

ABELHO, M. **Manual de monitorização microbiológica ambiental: Qualidade microbiológica da água**. Lisboa: 2010. [Curso de Especialização Tecnológica em Qualidade Ambiental]. Disponível em [http://www.esac.pt/Abelho/Monitor\\_ambiental/Manual%20parte%202.pdf](http://www.esac.pt/Abelho/Monitor_ambiental/Manual%20parte%202.pdf). Acesso em 13/03/2012.

ANA. Agência Nacional da Água. Índice de Qualidade das Águas. Disponível <http://pnqa.ana.gov.br/indicaresQA/IndiceQA.aspx>. Acesso em 23/02/2013.

ANTAQ. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Bacia do Paraguai: Plano Nacional de Integração Hidroviária**. Laboratório de Transportes e Logística - LABTRANS/Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC. 2013.

AZEVEDO NETTO, J. M. Poluição e desenvolvimento. **Revista DAE – Sabesp**. São Paulo, SP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – Sabesp, São Paulo, SP, v.35, n.101, p. 9-57, s.d., 1975.

BITTENCOURT, A. J. Aspectos higiênicos: Aspectos de qualidade. In: GUIMARÃES, Fausto Pereira. **Hidrobiologia**. Curitiba, PR: Escola de Engenharia da Universidade Federal do Paraná e Organização Pan-Americana de Saúde, 1966. 313 p.

BRANCO, Samuel Murgel. **Limnologia sanitária, estudos de La polucion de águas continentales**. Washington, D.C.: Secretaria General de La Organización de los Estados Americanos; 1984. 121 p.

CARNEIRO, T. G.; Leite, F. Cianobactérias e suas toxinas. **Revista Analytica**. São Paulo, SP. N. 32, p. 36 a 41, jan. 2008. Disponível em [http://www.revistaanalytica.com.br/ed\\_anteriores/32/Art02.pdf](http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/32/Art02.pdf). Acesso em 24/03/2011.

CETESB. Centro Tecnológico de Saneamento Básico. Relatório de qualidade das águas interiores do estado de São Paulo: 2003 / CETESB. - São Paulo: CETESB, 2004. 266 p.

CHIARANDA, R.;; Colpini, C.; Soares, T. S. Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Cuiabá. **Advances in Forestry Science**. ISSN: 2357-8181. Adv. For. Sci., Cuiabá, v.3, n.1, p.13-20, 2016

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. IGAM. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. IEF. Instituto Estadual de Florestas. Relatório Técnico: mortandade de peixes: rio São Francisco. 2005. Disponível em <http://www.worldfish.org/PPA/PDFs/Semi-Annual%20VI/E-11a.pdf>. Acesso em 14 agos. 2016.

G1.GLOBO. Mancha de poluição no rio Tietê mais que dobra em um ano, diz ONG. 2015. Disponível em <http://g1.globo.com/sao-paulo/sorocaba-jundiai/noticia/2015/09/mancha-de-poluicao-no-rio-tiete-mais-que-dobra-em-um-ano-diz-ong.html>. Acesso em 04/06/2016.

HEINRICH, Alessandra Belotserkovets. **Avaliação prévia de contaminantes químicos para decisão de destinação de sedimentos do desassoreamento do Rio Belém**. 2011. Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do Paraná, SENAI - PR, *Universität Stuttgart*, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial. 124 f. Curitiba, 2011.

IEZZI, Gelson et al. **Matemática**. São Paulo: Atual, 1978.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Governança Metropolitana no Brasil: Região Metropolitana do Vale do Rio Cuiabá**. Rio de Janeiro, 2015. Relatório.

KURATA, K. et al. Estatística: Notas de Aula e Exercícios. Faculdade de Tecnologia de São Paulo-FATEC-SP. São Paulo, SP, 1989. 56 f.

LANDSAT 7 ETM + SLC-off (2003-presente): imagem de satélite. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1 fotografia aérea. s/ escala. Banda 3, 4, 5 e composição colorida.

LIBOS, M. I. P. C.; Lima, E. B. N. R. Impactos das contribuições de efluentes domésticos e industriais na qualidade da água na bacia do rio Cuiabá – perímetro urbano. In: VI Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002, Vitória, Brasil. Anais. p. 1-6. Disponível na biblioteca digital <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/sibesa6/ccxxii.pdf>. Acesso em: 08 agos. 2016.

MARMO, C. R.; Santos, B. V. A. P. ; Bresaola Jr, R. Formação de trihalometanos em águas contendo ácidos húmicos, tratadas com cloro livre na pré-oxidação. **Revista DAE**, São Paulo: SABESP. Número 179. ISSN 0101 – 6040. p. 51 a 54, Janeiro 2009.

MIGON, H. **Análise de Séries Temporais**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Matemática. Departamento de Métodos Estatísticos. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <http://acd.ufrj.br/~dani/pdf/slidespartefrequentista.pdf>. Acesso em 23/02/2013.

MINAS GERAIS (Estado). **Identificação de municípios com condição crítica para a qualidade de água na bacia do rio das Velhas**. Governo do Estado de Minas Gerais. Sistema Estadual de Meio Ambiente. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Gerência de Monitoramento Hidrometeorológico. Relatório 2013. Belo Horizonte, 2013.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraguai**. Ministério do

Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos– Brasília: MMA, 2006. 140 p. : il. color. ; 27cm. ISBN 85-7738-063-7

MORTATTI, J. Hissler, C. Probst, J. Distribuição de Metais Pesados nos Sedimentos de Fundo ao Longo da Bacia do Rio Tietê. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 10, n. 2, p. 3-11, julho 2010.

Reboita, M. S. Introdução à Estatística Aplicada à Climatologia. Parte III – Análise de Séries Temporais. Universidade de São Paulo-USP: 2005. São Paulo, SP, 2005. 39 p. Disponível em <http://mirabeli.meteo.furg.br/aulas/Poligrafos/PoligrafoMichelleIII.pdf>. Acesso em 25/02/2013.

ROSEGRANT, M. W.;Cai, X.; Cline, S. A. Global Water Outlook to 2025: Averting an Impending Crisis. The International Food Policy Research Institute (IFPRI). International Water Management Institute (2002). Disponível em <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/16144/1/fp02ro01.pdf>. Acesso em 01/08/2015.

RUBIO, A. L. Administração de materiais: a logística na cadeia do fornecimento e dos estoques. Pagina 10. Sorocaba, SP. 284 p. Disponível em <http://www.pagina10.com.br/downloads/4.pdf>. Acesso em 04/07/2012.

SAMPAIO, Antônio Carlos Silva. **Metais pesados na água dos rios da bacia do Alto Paraguai**. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. Programa de pós-graduação em tecnologias ambientais. 2003. *Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos)*. 56 p. Campo Grande, dezembro de 2003.

SANTA ROSA, Claudionor Alves da. **Evolução da qualidade das águas do Rio Cotia DE 1970 a 2010, Região Metropolitana de São Paulo, SP**. 2013. 232 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Análise Geoambiental) – Universidade de Guarulhos, Centro de Pós-Graduação e Pesquisa. Guarulhos, SP. 2013.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. **Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia do Rio Cuiabá 2003 – 2004**. Cuiabá: SEMA; SURH, 2005. 78 p. color; 29cm.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. **Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia das águas da Sub-Bacia do Rio Cuiabá-MT**, 2005. Cuiabá: SEMA; SURH, 2006. 55 p. color; 29cm.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. **Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia das águas da Região Hidrográfica do Paraguai –MT 2007 - 2009**. Cuiabá: SEMA; SURH, 2010. 93 p. color; 29cm.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. **Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia das águas da Região Hidrográfica do Paraguai - MT 2010 – 2011**. Cuiabá: SEMA; SURH, 2014. 129 p. color; 29cm.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. Superintendência de Recursos Hídricos – SURH. **Relatório de Monitoramento Qualidade da Água Bacia das águas da Região Hidrográfica do Paraguai - MT 2012 – 2014**. Cuiabá: SEMA; SURH, 2016. 147 p. color; 29cm.

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água rios**. Belo Horizonte, MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. 2007. 507 p.

TEIXEIRA, Daniel Mandim. **Estatística descomplicada**. Brasília, DF: Vestcon, 2008. 234 p.

TOLEDO, Geraldo Luciano; Ovalle, Ivo Izidoro. **Estatística Básica**. São Paulo, SP: Atlas, 1985. 460 p.

VARGAS, M. O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema sócio-ambiental. **Ambiente & Sociedade**. Ano II. No 5. p. 109-134. 2o Semestre de 1999.



## RELAÇÃO SÓLIDOS/TURBIDEZ NO RIO GRANDE VERMELHO - MT: AFLUENTE DO RIO PARAGUAI NA CABECEIRA DO PANTANAL

### Jéssica Ramos de Oliveira

Universidade do Estado de Mato Grosso,  
Programa de Pós-Graduação em Ambiente e  
Sistemas de Produção Agrícola  
Tangará da Serra – Mato Grosso

### Tadeu Miranda de Queiroz

Universidade do Estado de Mato Grosso,  
Faculdade de Arquitetura e Engenharia  
Barra do Bugres – Mato Grosso

**RESUMO:** O incorreto uso e ocupação de bacias hidrográficas contribui para a remoção de florestas nativas, e conseqüentemente o aumento no transporte de sedimentos e erosão, tal como ocorre no Pantanal, causando longas e intensas enchentes. As análises de turbidez e sólidos totais são capazes de mensurar a quantidade de sólidos presentes na água, contudo, a análise de sólidos totais requer um longo tempo e maior investimento em equipamentos. Logo, faz-se importante verificar a correlação entre ambas variáveis, para contribuir na diminuição de custos com equipamentos e tempo, melhorando o monitoramento da qualidade da água das bacias que desaguam no Pantanal. Diante do exposto, o objetivo do estudo foi verificar a correlação entre as variáveis sólidos totais e turbidez da água do rio Grande Vermelho. As amostragens de água do rio foram realizadas mensalmente,

no período de outubro de 2017 a setembro de 2018, em um ponto localizado próximo à sua foz. A análise de turbidez foi realizada através de turbidímetro e a de sólidos totais pelo método gravimétrico. Posteriormente, verificou-se a correlação dos dados através do teste de correlação de Pearson, e aplicou-se testes de regressão do tipo linear, exponencial e potencial, para verificar qual o melhor ajuste para os dados. A correlação de Pearson apresentou um coeficiente muito baixo, demonstrando ausência de correlação. O mesmo foi observado nas regressões, em que nenhuma apresentou grau de regressão satisfatório. Sendo assim, não há correlação entre sólidos e turbidez na bacia do rio Grande Vermelho para o período estudado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Transporte de sedimentos, erosão, qualidade da água, Pantanal.

**ABSTRACT:** The incorrect use and occupation of river basins contributes to the removal of native forests and, consequently, the increase in sediment transport and erosion, as occurs in Pantanal, causing long and intense floods. Turbidity and total solids analyzes are able to measure the amount of solids present in the water, however, the analysis of total solids requires a long time and greater investment in equipment. Therefore, it is important to verify the correlation between the two variables, in

order to contribute to the reduction of costs with equipment and time, improving the monitoring of the basins water quality that flow into Pantanal. So, the objective of this study was to verify the correlation between the total solid variables and turbidity of Grande Vermelho river's water. River water samplings were performed monthly, from October 2017 to September 2018, at a point located near its mouth. Turbidity analysis was performed by turbidimeter and total solids by gravimetric method. Subsequently, the correlation of the data was verified through the Pearson correlation test, and linear, exponential and potential regression tests were applied to verify the best fit for the data. Pearson's correlation showed a very low coefficient, showing no correlation. The same was observed in the regressions, in which none presented a satisfactory degree of regression. Thus, there is no correlation between solids and turbidity in Grande Vermelho basin for the period of this study.

**KEYWORDS:** sediment transport, erosion, water quality, Pantanal.

## 1 | INTRODUÇÃO

A água é o recurso essencial a vida no planeta, sustenta a biodiversidade e mantém em funcionamento os ciclos no ecossistema, comunidades e populações. Contudo, a presença humana, o desenvolvimento industrial, agrícola, principalmente a agricultura irrigada, entre outros múltiplos usos da água, produziram novos tipos de apropriação dos recursos hídricos, os quais geraram o estresse hídrico, caracterizado pelos conflitos nos usos da água, e a escassez hídrica, causada pelo desequilíbrio entre disponibilidade e demanda (TUNDISI, 2014).

De acordo com Andrietti et al. (2016) até as bacias hidrográficas rurais têm demonstrado sofrer com a degradação ambiental, cujas consequências são observadas na deterioração da qualidade das águas superficiais. Conforme Chaves e Santos (2009) os cursos d'água associam as características da paisagem terrestre e seus possíveis poluentes, em que a qualidade depende de fatores geomorfológicos, hidrológicos, biológicos e climáticos, cujo o tipo do manejo e uso do solo são determinantes para a qualidade da água de bacias hidrográficas.

O uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas geram alteração da paisagem com a retirada da floresta, aliado ao regime hídrico, proporcionando um potencial de degradação relevante considerando os eventos intensos de precipitação (ANDRIETTI et al., 2016). Wittman et al. (2013) ressaltam que estes contribuem para o transporte de sedimentos e carreamento de nutrientes e matéria orgânica para os cursos d'água, causando transtornos irreversíveis, podendo superar a capacidade de autodepuração dos rios.

Galdino et al. (2002) afirmam que os processos de remoção de vegetação nativa nos planaltos na Bacia do Alto Paraguai, impulsionado pelos avanços da agropecuária, muito provavelmente foi o causador dos aumentos do escoamento superficial, favorecendo o aumento do deflúvio e o transporte de sedimentos para a planície,

contribuindo para a ocorrência de longas e intensas enchentes no Pantanal.

Durante eventos chuvosos, o escoamento carrega partículas do solo, conduzindo os poluentes até o corpo hídrico receptor. A erosão hídrica é um dos principais agentes de poluição difusa, constituindo o mais importante meio de transporte de sedimentos e nutrientes das culturas das lavouras para os cursos d'água (BERTOL et al., 2007). Os materiais particulados em suspensão na água estão em constante mobilidade por conta da turbulência, correntes convectivas e pela repulsão causada pelas cargas elétricas presentes nas partículas, cujas partículas menores permanecem em suspensão, enquanto as maiores tendem a sedimentar gradualmente (TOMAZONI et al., 2005).

A turbidez corresponde a redução da transparência da água, uma propriedade óptica que mede como a água dispersa a luz, a quantificação de luz refletida aumenta em conformidade com a quantidade de material particulado em suspensão, assim, a turbidez aumenta com a carga de sedimento suspenso (TEIXEIRA; SENHORELO, 2000; TOMAZONI et al., 2005).

O parâmetro de sólidos totais possui comportamento semelhante ao da turbidez, seu valor reflete a condição local, aumentando conforme o grau de poluição. O excesso dos sólidos altera as condições de luminosidade, interferindo no metabolismo de organismos autótrofos, por conta da dificuldade para a realização da fotossíntese, e nos organismos heterótrofos que dependem do oxigênio produzido durante a fotossíntese, afetando assim a comunidade aquática. Além de contribuir para processos de sedimentação e assoreamento, gerando o aumento do risco de enchentes em decorrência da diminuição da calha do rio (ANA, 2009; CESTESB, 2012).

A análise de turbidez é realizada pelo método nefelométrico, baseado na comparação da intensidade da luz dispersa em amostra, com a intensidade de luz dispersa em uma solução padrão. Este método requer de um equipamento, o turbidímetro, em que o resultado é obtido instantaneamente. Enquanto a análise de sólidos totais é realizada pelo método gravimétrico, um método analítico quantitativo que fornece a massa de sólidos de determinado composto. Este método requer o uso de balança de precisão e uma estufa ou mufla, contudo seu resultado demora cerca de 48 horas para ser obtido.

Sendo assim, faz-se importante estudar e avaliar a correlação de ambos os parâmetros, para que desta forma utilize-se apenas um método de análise, poupando-se recursos financeiros e tempo, possibilitando melhorias para o monitoramento do transporte de sedimentos das bacias hidrográficas, principalmente as bacias que desaguam no Pantanal, de forma a contribuir na gestão e planejamento de eventos de enchentes. Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivo demonstrar a correlação entre as variáveis físicas de sólidos totais e turbidez da água do rio Grande Vermelho durante a estação chuvosa.

## 2 | MATERIAL E MÉTODOS

A delimitação da bacia foi realizada no software de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), por meio de dados topográficos do Modelo Digital de Elevação (MDE), retroprojetado para o Sistema de Coordenadas Planas, através de extensões foi possível delimitar área e perímetro da bacia, e a formatação de figuras.

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho, localizada no município de Barra do Bugres, no estado de Mato Grosso, entre as coordenadas 14°55'50" e 15°11'10" de latitude S e 57°41'40" e 57°12'30" de longitude O, conforme apresentado na Figura 1. A bacia do rio Grande Vermelho possui uma área de 867,76 km<sup>2</sup>, com perímetro de 242,98 km. O rio Grande Vermelho é um afluente da margem direita do rio Paraguai, um dos principais formadores do Pantanal matogrossense.

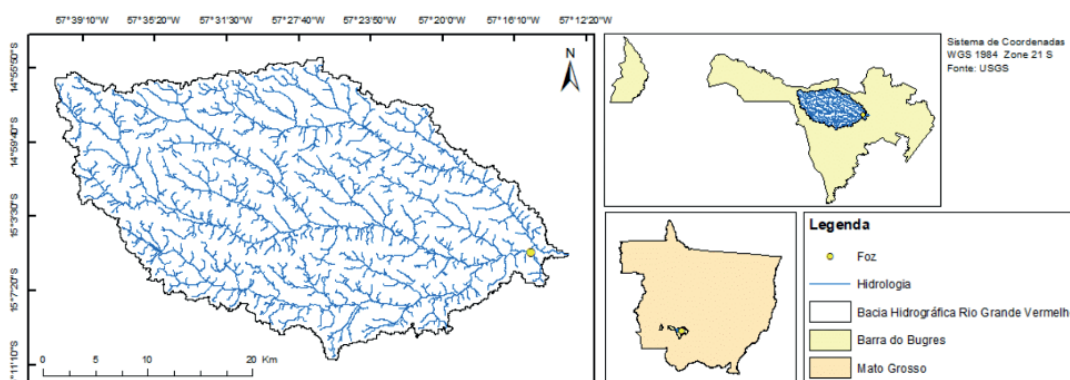


Figura 1: Localização da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho e ponto de coleta

A região da bacia é caracterizada por um clima tropical quente e subúmido, a precipitação média anual é de cerca de 1.800 mm, o período de maior precipitação ocorre nos meses de dezembro a março, e concentrações menores nos meses de junho a agosto (MARTINS et al., 2011). O relevo é caracterizado por extensões de planícies, com algumas áreas levemente onduladas. A bacia do rio Grande Vermelho está acentada em relevo plano com leves ondulações onde se predominam os solos classificados como areias quartzosas considerados de baixa a média fertilidade natural, como relatado por Pessoa et al. (2014).

As amostragens de água do rio foram realizadas mensalmente, durante doze meses, no período de outubro de 2017 a setembro de 2018, em um ponto localizado próximo à foz do rio Grande Vermelho, situado nas coordenadas geográficas 15°05'24.5"S e 57°15'16.9"O, para tanto utilizou-se de GPS para a determinação. Escolheu-se a foz do rio por esta representar a qualidade da água após receber todos os seus contribuintes, possibilitando dessa forma avaliar todas as possíveis intervenções sofridas em seu percurso. As amostras foram coletadas em garrafa de polietileno de 1 litro, após a ambientação da mesma, imersa a cerca de 30 cm do curso d'água. Em seguida, foram refrigeradas em caixas isotérmicas contendo gelo

até serem encaminhadas ao laboratório.

No Laboratório de Qualidade de Água da Universidade do Estado de Mato Grosso no campus de Barra do Bugres-MT, foi feita a caracterização das variáveis físicas de turbidez e sólidos. A turbidez foi obtida através do turbidímetro Hanna HI93102 (devidamente calibrado conforme recomendações do fabricante, utilizando soluções padrões de calibração do mesmo fabricante do aparelho), enquanto sólidos totais foi obtido pelo método gravimétrico, conforme as orientações da ABNT/NBR 10664 (1989).

Os resultados das variáveis físicas foram analisados conforme sua normalidade pelo teste de Anderson-Darling, indicado para amostras menores, a um nível de significância de 95% ( $p\text{-valor} > 0,05$ ), através do software RStudio.Version (1.0.143), o qual revelou uma distribuição normal dos dados. Sendo assim, aplicou-se o teste de correlação de Pearson indicado para dados paramétricos, para verificar a correlação entre dois parâmetros quantitativos. Em seguida, aplicou-se a regressão baseando-se na avaliação de coeficientes de determinação  $R^2$ . Testou-se regressões do tipo linear, exponencial e potencial. Os cálculos e gráficos foram gerados em planilha eletrônica.

### 3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises das variáveis de sólidos e turbidez da bacia hidrográfica do rio Grande Vermelho do período de outubro de 2017 a maio de 2018 estão apresentados na Tabela 1.

Meses	Sólidos Totais ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )	Turbidez (UNT)
Outubro	73,00	19,30
Novembro	54,00	21,50
Dezembro	44,00	18,70
Janeiro	13,00	31,03
Fevereiro	35,00	44,00
Março	56,00	42,30
Abril	51,00	49,70
Maio	73,00	16,63
Junho	37,00	25,27
Julho	38,00	54,00
Agosto	123,00	65,67
Setembro	74,00	79,47
Média	55,92	38,96
Máximo	123,00	79,47
Mínimo	13,00	16,63

Tabela 1: Resultados mensais dos parâmetros de sólidos e turbidez da água do rio Grande Vermelho

A maior concentração de sólidos totais foi observada no mês de agosto de 2018.



Nos dias anteriores a data da coleta houve alguns episódios de chuva, durante a noite e madrugada, conforme os dados telemétricos da estação pluviométrica de Barra do Bugres, fornecidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), em agosto de 2018 houve 13,40 mm de precipitação. Conforme Martins et al. (2011), agosto é o último mês da estação seca na região, caracterizado como em fase de transição do período seco para chuvoso. Portanto, mesmo com chuvas, o solo provavelmente encontrava-se muito seco, não garantindo o escoamento superficial, sendo assim, há pouca possibilidade que as chuvas tenham provocado aumento na concentração de sólidos da água do rio Grande Vermelho. O aumento pode estar relacionado com o uso e ocupação da terra na região, predominantemente agrícola e pecuário, por meio da frequência de gado nas margens do rio e lançamento de efluentes agroindustriais, haja vista o rio conter menor vazão no mês citado decorrente da estação seca.

Enquanto a turbidez teve maior concentração no mês de setembro de 2018, um mês caracterizado por ser a transição entre o período seco para o chuvoso, com algumas chuvas intensas, de acordo os dados telemétricos da estação pluviométrica de Barra do Bugres, fornecidos pela ANA, o mês de setembro teve precipitação de 78,80 mm. Portanto a elevação na concentração da turbidez da água pode estar associada com o aumento da precipitação na região, haja vista no dia anterior ter ocorrido chuvas intensas com fortes ventos. O aumento na turbidez geralmente ocorre na estação chuvosa, decorrente da movimentação de sedimentos em áreas mais rasas, a erosão das margens decorrente da ausência de vegetação, ação dos ventos que levam folhas, galhos e detritos para dentro dos corpos hídricos (CETESB, 2009). A sedimentação é um grande fator de risco aos corpos hídricos, pois pode danificar o leito dos rios, que possui papel de substrato para diversas espécies, e aumentar a carga de detritos orgânicos nas águas, aumentando os processos de decomposição, assim seu depósito pode gerar o assoreamento, causando problemas de navegação e riscos de enchentes (ANA, 2009; CESTESB, 2012). O estudo de Buzelli e Cunha-Santino (2013), no reservatório de Barra Bonita (SP), obteve uma concentração de turbidez quase três vezes maior na estação chuvosa em comparação com a estação seca, confirmando a tendência observada no presente estudo.

A menor concentração de sólidos totais na água foi obtida no mês de janeiro de 2018, o qual foi um mês em que não houve chuvas nos dias próximos da coleta, mantendo as águas do rio mais paradas, podendo interferir na redução da movimentação de sólidos e sedimentos do rio, que causou a diminuição de sólidos totais, refletindo na redução da concentração de sólidos totais. Enquanto a turbidez teve menor concentração no mês de maio de 2018, em que nos dias próximos a coleta houve uma queda na temperatura, caracterizando um clima frio na região, havendo chuvas leves, estas podem ter sido insuficientes para alterar ou movimentar os sólidos e detritos na água, apresentando assim menor turbidez, que possibilitou melhor dissipação de luz, fornecendo condições adequadas de vida as comunidades aquáticas.

A turbidez da água pode ser interferida por detritos orgânicos, como algas,

bactérias e plânctons, como também pela ação antrópica, por meio do desmatamento, despejo de esgotos e efluentes industriais, agropecuários e de mineração. Sendo assim, aumenta-se o escoamento superficial, resultando em diversas alterações no ecossistema aquático, na redução da ação fotossintética dos organismos e diminuição da produtividade dos peixes, interferindo negativamente o uso doméstico, industrial e recreacional (CETESB, 2012). O estudo de Gutierrez et al. (2016) sobre a qualidade da água em um manancial durante o período ativo de um depósito de lixo no entorno, demonstrou que os valores de turbidez se elevaram com o início das atividades no depósito, podendo estar relacionado com a geração de chorume, evidenciando a contribuição da ocupação das margens e do entorno da bacia na elevação da turbidez e consequente deterioração da qualidade da água.

A partir do mês de fevereiro é possível observar um aumento nos valores de sólidos totais e turbidez, fato que pode estar relacionado com o início da estação chuvosa na região contribuindo para a movimentação de sedimentos e erosão hídrica. Contudo, os aumentos na quantificação de sólidos totais e turbidez podem relacionar-se também aos usos da água na região, pois Pessoa et al. (2014) estudando o uso e ocupação da terra na região constataram evidente uso inadequado das terras, principalmente com atividades de desmatamento devido ao aumento da população e da produção de cana-de-açúcar, este é um fator extremamente importante para a contribuição dos aumentos de sólidos e turbidez nas águas, colaborando para a sedimentação.

O estudo de Menezes et al. (2016) demonstrou que áreas de mata nos arredores da bacia hidrográfica mantinham forte relação com as concentrações de sólidos e turbidez, devido a ação de decomposição do material autóctone. Casarin et al. (2008) em seu estudo na interbacia do rio Paraguai Médio, na qual encontra-se a área de estudo deste trabalho, detectou indícios de pesticidas na qualidade da água, indicando as interferências das atividades agropecuárias na região, em áreas que deveriam ser ocupadas por mata ciliar, demonstrando os impactos das ocupações nos arredores de bacias hidrográficas.

### 3.1 Correlação de Pearson

O teste de correlação de Pearson demonstrou que não há correlação entre os valores das variáveis sólidos totais e turbidez da água da bacia hidrográfica do rio Vermelho, considerando suas condições e o período estudado. O teste apresentou coeficiente de correlação de 0,3603, indicando a ausência de correlação entre os dados, fato comprovado pelo p-valor, que foi de 0,25, sendo superior a 0,05, devendo-se rejeitar a hipótese de correlação entre os dados. Sendo assim, pode-se inferir que não há possibilidade de melhorias em quesitos financeiros e disponibilidade de tempo em relação as análises de qualidade da água de turbidez e sólidos totais, na bacia do rio Grande Vermelho, como forma de contribuição para o planejamento de enchentes

em bacias que desaguam no Pantanal.

A ausência de correlação pode estar relacionada as condições físicas e químicas da bacia hidrográfica em estudo, como exemplo os usos e ocupação da terra em seus arredores, interferindo no equilíbrio natural do ecossistema presente, o estudo de Pinto et al. (2012) comprovam que as atividades agrícolas e pecuárias, sem práticas conservacionistas, favorecem o assoreamento de nascentes, formação de processos erosivos e o desmatamento de vegetação nativa, conseqüentemente aumentando a descarga de sedimentos. Bucci e Oliveira (2014) também destacam que maiores valores de turbidez estão relacionados com as características lóxicas do ambiente, estas também são observadas no rio Vermelho.

Estudo semelhante foi realizado por Piccolo et al. (1999), onde verificaram a correlação entre sólidos suspensos totais com a turbidez e de cor aparente da água do rio Jucu, Espírito Santo. Diferentemente do presente estudo, o trabalho dos referidos autores demonstrou melhor correlação entre os parâmetros de sólidos em suspensão e turbidez, indicando que a turbidez é a mais apropriada para a determinação indireta da quantidade de sólidos na água captada do rio Jucu.

### 3.2 Testes de regressão

Os resultados das regressões aplicadas as variáveis de sólidos totais e turbidez estão apresentados na Tabela 2.

Regressão aplicada	R <sup>2</sup>
Linear	0,1298
Exponencial	0,0777
Potencial	0,0244

Tabela 2: Valores obtidos para R<sup>2</sup> a partir dos diferentes tipos de regressão

As regressões aplicadas demonstraram que não há correlação entre os dados obtidos de sólidos e turbidez da água da bacia do rio Grande Vermelho, durante o período estudado, verificado por meio do R<sup>2</sup>, cujo valor representa a qualidade do ajuste na função de equação. Todos os valores obtidos encontram-se distantes da unidade, o que representaria uma correlação perfeita.

A regressão linear apresentou R<sup>2</sup> de 0,1298, portanto a curva linear não se ajustou aos dados, conforme apresentado na Figura 2a. Contudo, dentre as regressões aplicadas, a regressão linear foi que teve melhor ajustamento dos dados.

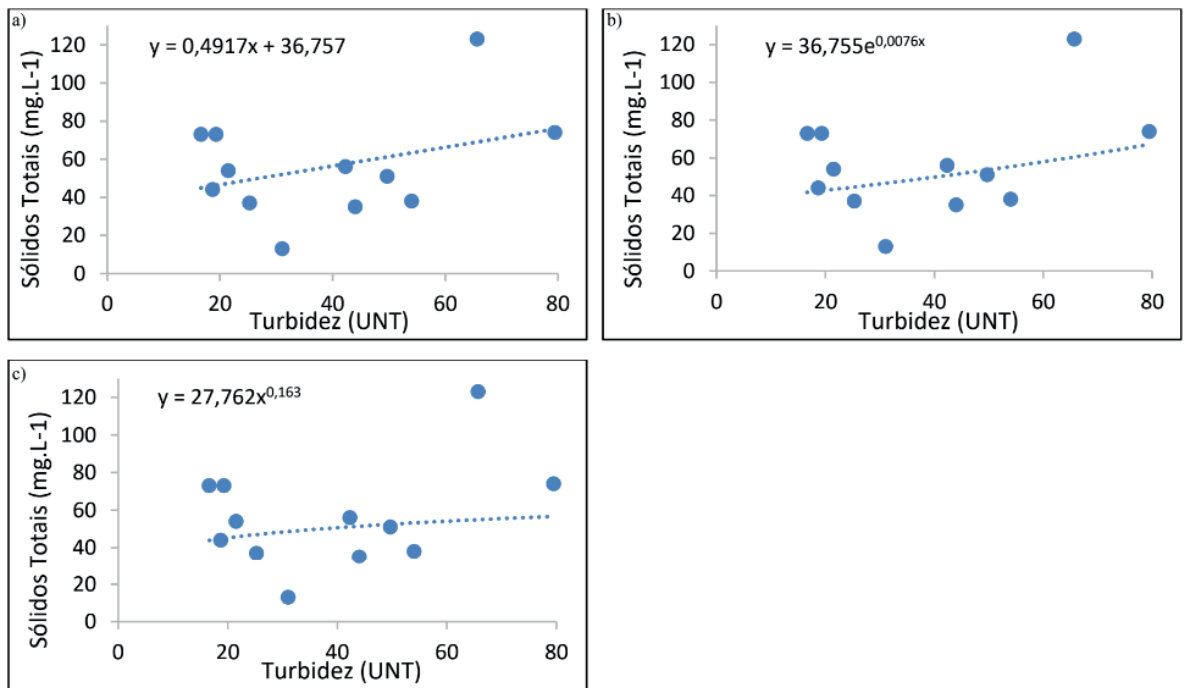


Figura 2: a) Regressão linear entre sólidos e turbidez b) Regressão exponencial entre sólidos e turbidez c) Regressão de potência entre sólidos e turbidez

De acordo com Tomazonni et al. (2005) a linha de tendência linear demonstra o melhor ajuste ao conjunto de dados lineares simples, apresentando que algo está aumentando ou diminuindo com uma taxa fixa. Os referidos autores verificaram a correlação linear entre os valores de material particulado suspenso e turbidez nos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau no Paraná, obtendo-se ajustes satisfatórios com graus de correlação linear de 0,98 e 0,82, demonstrando a correlação linear como um melhor ajustamento dos dados.

Piccolo et al. (1999) em seu estudo também testou as correlações entre sólidos suspensos totais e turbidez no rio Jucu em Espírito Santo com dados de chuva e sem chuva, verificaram que o melhor ajuste de todos os dados e dados de chuva foi determinado na regressão linear, representado por um  $R^2$  de 0,7970 e 0,8859, respectivamente. Já a regressão exponencial demonstrou ser o melhor ajuste aos dados sem chuva, apresentando  $R^2$  de 0,5329. Resultado semelhante foi obtido no estudo de Teixeira e Senhorelo (2000), em cinco sub-bacias do Espírito Santo, em que a correlação para dados da estação seca é verificada pela regressão exponencial, representada por grau de correlação de 0,9169. Diferentemente dos estudos apresentados, a correlação exponencial na presente pesquisa evidenciou ajuste ruim, apresentando  $R^2$  de 0,0777, demonstrando que a turbidez pode não ser o parâmetro indicado para a determinação indireta dos sólidos totais na água da bacia do rio Vermelho.

O estudo de Piccolo et al. (1999) também testou a regressão em potência entre dados de sólidos e turbidez, e obteve valores insatisfatórios, a qual foram caracterizados como o pior ajuste dentre as regressões aplicadas. Caso semelhante ao presente

estudo, cujo a regressão em potência também apresentou o pior ajuste, com  $R^2$  de 0,0244. Já no estudo de Teixeira e Senhorelo (2000) observou-se que a regressão em potência teve um bom ajuste, com graus de regressão satisfatórios, principalmente para os dados da estação chuvosa, representado por  $R^2$  de 0,9734.

## 4 | CONCLUSÕES

O presente estudo constatou que não há correlação entre as medições turbidez e sólidos totais da água da bacia do rio Grande Vermelho durante o período estudado. Desta forma, não é possível poupar recursos financeiros e de tempo por meio da exclusão de um método de análise, na presente bacia, como uma forma de melhoria e contribuição da gestão e planejamento de enchentes de bacias que desaguam no Pantanal. Este resultado pode estar relacionado as características geológicas e hidrológicas da região. As regressões utilizadas não apresentaram um bom ajuste dos dados, com graus de correlação muito baixos.

## 5 | AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso – FAPEMAT (Edital 041/2016).

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Índice de qualidades das águas**. Portal da qualidade das águas. Brasil, 2009. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/IndicadoresQA/IndiceQA.aspx>> Acesso em: 24 abr. de 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Séries Históricas de Estações**. Portal HidroWeb. Brasil. Disponível em: <[http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes\\_historicas\\_abas.jsf](http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/medicoes_historicas_abas.jsf)> Acesso em: 01 ago. de 2018.

ANDRIETTI, G.; FREIRE, R.; AMARAL, A. G.; ALMEIDA, F. T.; BONGIOVANI, M. C. SCHNEIDER, R. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 162-175, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10664: **Águas - Determinação de resíduos(sólidos)** - Método gravimétrico. Rio de Janeiro, p. 7., 1989.

BERTOL, O.; RIZZI, N. E.; BERTOL, I.; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 4, p. 781-792, 2007.



- BUCCI, M. H. S.; OLIVEIRA, L. F. C. Índices de Qualidade da Água e de Estado Trófico na Represa Dr. João Penido (Juiz de Fora, MG). **Revista Ambiente e Água**, v. 9 n. 1, p. 130 -148, 2014.
- BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água**, v. 8, n.1, p. 186-205, 2013.
- CASARIN, R.; NEVES, S. M. A. S.; NEVES, R. J. Caracterização fisiográfica e qualidade da água da bacia hidrográfica Paraguai/Jauquara-MT, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**. v. 2, n. 1, p. 33-42, 2008.
- CHAVES, H. M. L.; SANTOS, L. B. Ocupação do solo, fragmentação da paisagem e qualidade da água em uma pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.922–930, 2009.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Índices de qualidade das águas**. São Paulo: CETESB, 2012. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/agua /%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas](http://www.cetesb.sp.gov.br/agua/%C3%A1guas-superficiais/108-%C3%ADndices-de-qualidade-das-%C3%A1guas) Acesso em: 24 abr. de 2018.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Variáveis de qualidade de água**. São Paulo, 2009. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/ Agua/rios/variaveis.asp#transparencia](http://www.cetesb.sp.gov.br/Agua/rios/variaveis.asp#transparencia). Acesso em: 01 ago. de 2018.
- GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; OLIVEIRA, H.; CARDOSO, E. L. Impactos da Agropecuária nos Planaltos sobre o Regime Hidrológico do Pantanal. **Embrapa Circular Técnico**, v. 37, n. 1, 2002.
- GUTIERREZ, C. B. B.; RIBEIRO, H. M. C.; MORALES, G. P.; SANTOS, L. S.; GUTIERREZ, D. M. G. Análise da qualidade da água no ponto de captação dos mananciais de uma capital amazônica durante o período ativo de um lixão situado no entorno. **Revista Caribeña de Ciencias Sociales**, nov., 2016.
- MARTINS, J. A.; DALLACORT, R.; INOUE, M. H.; GALVANIN, E. A. S.; MAGNANI, E. B. Z.; OLIVEIRA, K. C. Caracterização do regime pluviométrico no arco das nascentes do rio Paraguai. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 4, p. 639 - 647, 2011.
- MENEZES, J. P. C.; BITTENCOURT, R. P.; FARIAS, M. S.; BELLO, I. P.; FIA, R.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Revista Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016.
- PESSOA, S. P. M.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Mapeamento do uso e ocupação da floresta aluvial no Rio Paraguai - Barra do Bugres/Mato Grosso. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 6, p. 1295-1303, 2014.
- PICCOLO, E. C.; PINTO, A. C.; TEIXEIRA, E. C. Correlação entre sólidos em suspensão, cor e turbidez para água captada no rio Jucu – ES. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20., 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999.
- PINTO, L. V. A.; ROMA, T. N.; BALIEIRO, K. R. C. Avaliação qualitativa da água de nascentes com diferentes usos do solo em seu entorno. **Revista Cerne**, v. 18, n. 3, p. 495-505, 2012.
- RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA.
- TEIXEIRA, E. C.; SENHORELO, A. P. Avaliação de correlação entre Turbidez e concentração de Sólidos Suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2002.
- TOMAZONI, J. C.; MANTOVANI, L. E.; BITTENCOURT, A. V. L.; ROSA FILHO, E. F. Utilização

de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau – sudoeste do estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**, n. 57, p. 49-56, 2005.

TUNDISI, J. G. (Org.) **Recursos hídricos no Brasil: problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2014. 90p.

WITTMAN, J.; WECKWERTH, A.; WEISS, C.; HEYER, S.; SEIBERT, J.; KUENNEN, B.; INGELS, C.; SEIGLEY, L.; LARSEN, K.; ENOS-BERLAGE, J. Evaluation of land use and water quality in an agricultural watershed in the USA indicates multiple sources of bacterial impairment. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 185, p. 10395–10420, 2013.

## USO DE SENSORES REMOTOS PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS DE AMOSTRAGEM EM CAMPO PARA ANÁLISE DA MORFOLOGIA DO RELEVO NO PANTANAL DA NHECOLÂNDIA

### **Frederico dos Santos Gradella**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,  
Curso de Geografia  
Três Lagoas-MS

### **Paola Vicentini Boni**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,  
Curso de Geografia  
Três Lagoas-MS

### **Amanda Moreira Braz**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,  
Curso de Geografia  
Três Lagoas-MS

### **Hermiliano Felipe Decco**

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul,  
Curso de Geografia  
Três Lagoas-MS

**RESUMO:** O Pantanal, localizada no interior da Bacia do Alto Paraguai, é uma extensa planície de acumulação sedimentar com inundações anuais. Dentre os vários ambientes de deposição, tem-se os leques fluviais, sendo o leque do Taquari o maior dos leques do Pantanal, onde sua porção sul é chamada de Nhecolândia. A Nhecolândia é internacionalmente conhecida pela existência de inúmeras lagoas, sendo algumas de pH elevado, que são as lagoas salinas. Apensar dessa generalização, as áreas a leste da Nhecolândia não possui lagoas, é formada na maioria por amplas planícies coberta

por gramíneas nativas e conjuntos alongados de vegetação arbórea. Diante desses aspectos, o trabalho objetiva apresentar a aplicação de sensores remotos para determinação de áreas para realização de levantamento de campo para estudos da morfologia do relevo na Nhecolândia. Utilizou-se dados SRTM para criação de modelos digitais de elevação (MDE) e imagens Landsat dos anos de 1985, 2000 e 2015. Após as análises em gabinete, foi realizado trabalhos de campo para validação das informações levantadas em gabinete e coleta de amostras para análise granulométrica. Como resultado identificou-se que os MDEs são eficientes para verificação das feições do relevo, porém, foi possível identificar que o efeito dossel pode sugerir elevações que em campo se provaram inexistente. A análise multitemporal com as imagens Landsat permitiu em gabinete corroborar com o indicativo dessas interferências arbóreas na identificação do relevo com dados SRTM. A presente proposta de análise sugere que o uso consorciado dos dois tipos de sensores contribui para levantamentos em campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Interpretação de imagem; geomorfologia; efeito dossel.

**ABSTRACT:** Pantanal wetland is located within Upper Paraguay River Basin. This region is a extensive plain of sedimentation and annual

floods and. Exist any environment of deposition like a Taquari fan and this southern part is named Nhecolândia. This region is internationally known for many lakes, some of them with a high pH (saline lakes). An Eastern part of Nhecolândia does not have lakes. This area is formed by large plain covered with native grass specie and arboreal vegetation. The study aimed to applicate remote sensing to delimit fieldwork areas for relief analysis. Digital Elevation Models (DEM) were obtained from SRTM date and used Landsat imagens from 1985, 2000 and 2015. Fieldwork is realized to confirm the analysis and to collect samples for granulometric analysis in laboratory. The results indicated a DEM as an efficient way to identify relief map. However the effects of canopy cover may suggest elevations model that were not detected in fieldwork. Multitemporal analysis based on Landsat images also suggested arboreal interferences from SRTM dates in laboratory. The finding of this study indicated that Landsat images and SRTM dates used mutually contribute for to collecting samples in field;

**KEYWORDS:** Image interpretation; Geomorphology, canopy effect.

## 1 | INTRODUÇÃO

O Pantanal é caracterizado por ser uma bacia sedimentar ativa, deprimida e plana que recebe sedimentos dos rios tributários do rio Paraguai, os quais cruzam os planaltos transportando sedimentos, em sua maioria arenosos das formações geológicas da Bacia do Paraná (Assine, 2003).

A planície pantaneira faz parte, portanto, do sistema hidrográfico da Bacia do Alto Paraguai (BAP), ocupando área no território brasileiro de aproximadamente 138.183km<sup>2</sup>, sendo 89.318km<sup>2</sup> no estado de Mato Grosso do Sul e 48.865km<sup>2</sup> de Mato Grosso (Silva e Abdon, 1998).

O Pantanal possui diversas compartimentações realizadas por autores conforme algumas características, como tempo de inundação, relevo, vegetação. Do ponto de vista geomorfológico, existem os compartimentos definidos por Franco e Pinheiro (1982), que são as planícies de inundação e os leques aluviais, sendo um dos compartimentos o leque do Taquari.

Regionalmente o leque pode ser dividido em duas porções, norte e sul, as quais recebem nomenclaturas de Pantanal do Paiaguás ao norte do rio Taquari e ao sul do Taquari como Pantanal da Nhecolândia. Essa segunda região é caracterizada pelas unidades de paisagem associadas com a morfologia do relevo, sendo as baías, salinas, cordilheiras, vazantes e corixos (Sakamoto et al., 1996).

A existência das lagoas salinas na Nhecolândia proporcionaram várias hipóteses quanto a gênese do relevo, como Clapperton (1993) que considera que a formação da Nhecolândia está associado ao último intervalo árido e a junção dos ciclos interglaciais, e Assine e Soares (2004) acreditam que a formação da paisagem é composta através de forma eólica. Ou ainda, segundo Ab'Sáber (1988) que considera que os lagos da Nhecolândia são formas que surgiram de sistema fluviais meandranes que se

cortavam restando lagoas isolado de diques marginais.

Diante dessas afirmações, tem-se necessidade de conhecer melhor a morfologia do relevo e as características granulométricas associadas a essas formas, além de se refinar os levantamentos topográficos, com vias de compreensão da dinâmica e dos processos de formação, assim, podendo corroborar ou refutar as hipóteses de gênese já propostos.

A utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento no Pantanal aplicada aos estudos geomorfológicos tem se esbarrado em algumas dificuldades devido as limitações dos sensores. Por ser uma área plana a utilização de dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) tem apresentado efeito dossel, assim, amplificando ou gerando formas segundo Valeriano (2008) e Valeriano e Abdon (2007).

A porção SW da Nhecolândia onde há as lagoas salinas já foi amplamente explorada cientificamente e claramente explicada a existência de espécies arbórea de grande porte ocupando as áreas elevadas (cordilheiras) (Allen e Valls, 1987; Pott, 1995; Sakamoto et al., 1996). Contudo, as áreas leste na Nhecolândia que é onde não ocorrem lagoas e é composta principalmente de amplas planícies cobertas por gramíneas e cordões alongados de vegetação arbórea pouco foram estudadas, principalmente na busca de se definir correlações relevo-vegetação e/ou sistematizar pesquisa no entendimento de processos de formação do relevo e as características sedimentares e granulométricas.

## 2 | OBJETIVO

O objetivo da presente pesquisa é utilizar dados de sensores remotos para definir áreas para coleta em campo e realização de análise granulométrica de modo a colaborar com os estudos da morfologia do relevo.

## 3 | MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente foram utilizados os dados de elevação das imagens do radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 30 metros da porção leste da Nhecolândia (Figura 1), adquiridos junto ao *site* EarthExplorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos-USGS. Os dados foram processados no *software* Global Mapper com elaboração de modelos digitais de elevação (MDE) para serem testados com diferentes fatiamentos de classes altimétricas, que foram de 10, 5, 3 e 1 metro de equidistância. Também foram traçados perfis topográficos.



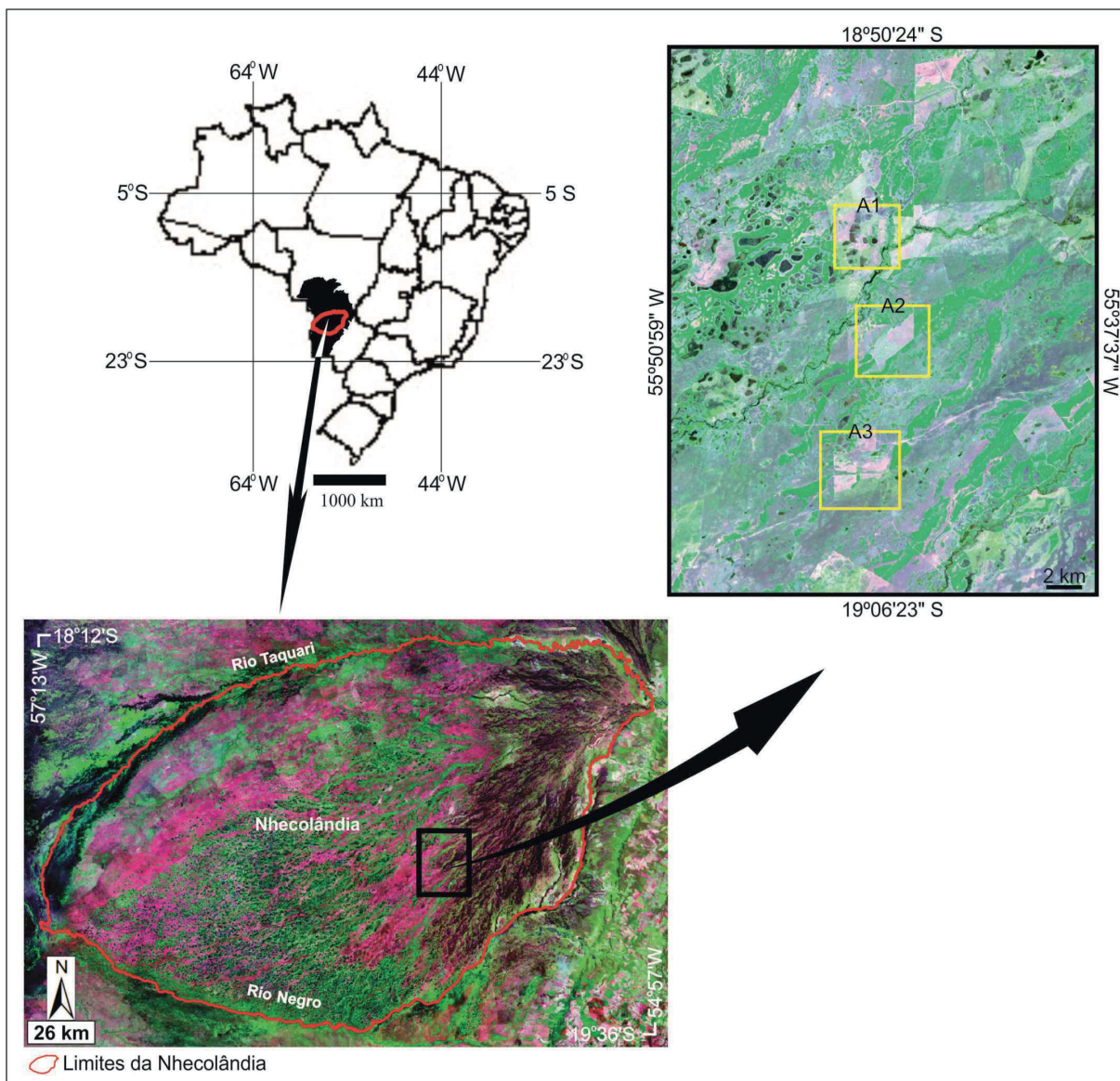


Figura 1. Localização da área de estudo. Região da Nhecolândia no texto do Brasil e da BAP com o recorte da área estudada.

Para correlacionar as interpretações com os produtos extraídos do SRTM, foram utilizadas imagens do satélite Landsat de 3 anos diferentes, que são: 1985, 2000 e 2015, todos da órbita 226 e ponto 073 adquiridas juntas ao catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE. Também utilizou imagem Landsat do projeto Geocover, esta foi utilizado como parâmetro de comparação com os dados SRTM.

As imagens foram georreferenciadas e equalizadas no *software* ArcGis, sendo que a imagem de 1985 (Landsat 5) utilizou-se as bandas R3G4B5, a imagem de 2000 (Landsat 5) também foram as bandas R3G4B5, e a imagem de 2015 (Landsat 8) as bandas utilizadas foram as R4G5B6.

As imagens foram interpretadas definindo assim 3 áreas para ser realizado o trabalho de campo, o qual ocorreu entre os dias 22 e 24 de setembro de 2015. Em campo foram coletadas amostras com trado do tipo holandês, quando era tomada

a cor da amostra com tabela de Münsell e acondicionadas em sacos identificados com as profundidades. Também foi mensurada a altura das árvores, separando-as em grupos de grande, médio e pequeno porte.

Em laboratório as amostras foram organizadas e preparadas para análise granulométrica. As amostras foram colocadas para secagem utilizando o método TSFA (terra fina seca ao ar). Em seguida ocorreu o destorroamento e o peneiramento no agitador de análises granulométricas para separação das frações dos grãos.

Após o peneiramento, procedeu-se com a classificação dos grãos em areia grossa, areia média, areia fina, areia muito fina, silte e argila. Essa classificação granulométrica foi baseada na proposta de Wentworth adaptada por Suguio (1980).

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises iniciais dos MDEs demonstraram eficiência considerável, pois é possível identificar feições elevadas, deprimidas e planas. Feições elevadas são evidentes, como pode ser observado na Figura 2, onde são presentes formas alongadas no sentido NE-SW.

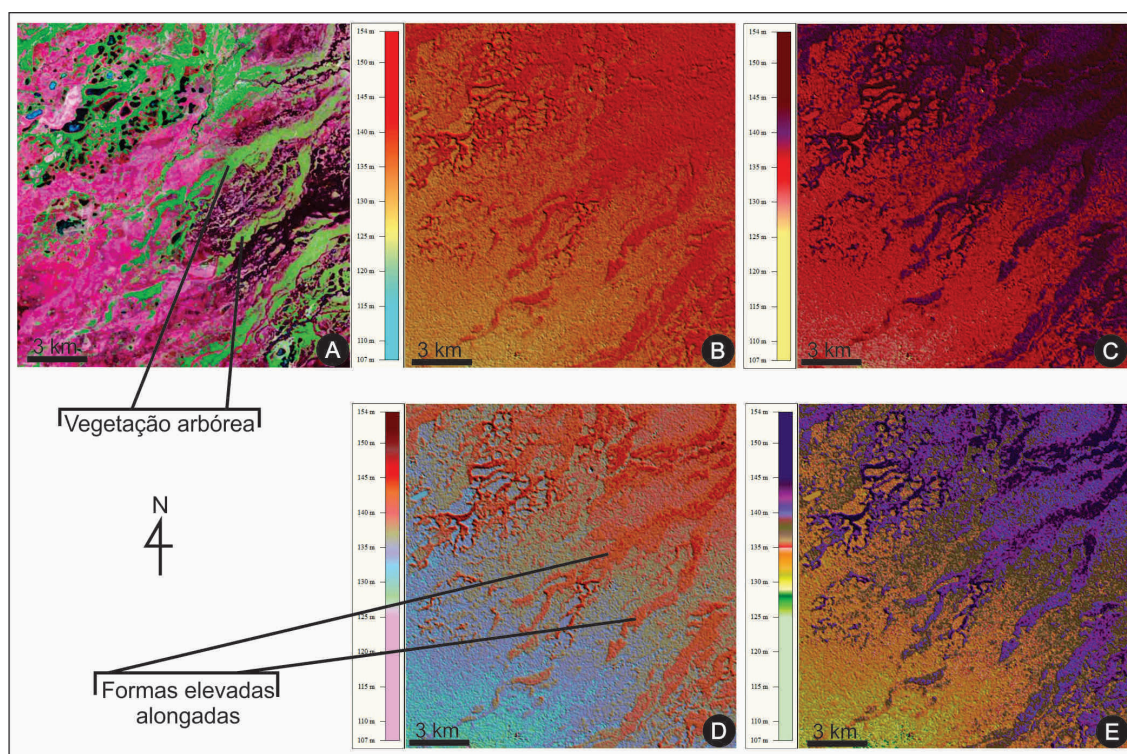


Figura 2. Modelos digitais de elevação. A-Imagem Geocover (2000) do mesmo ano do levantamento de dados SRTM. B-MDE 10 m. C-MDE 5 m. D-MDE 3 m. E-MDE 1 m.

Com a elaboração do MDE, percebe-se que em 1 metro de equidistância não evidenciou as formas com melhor qualidade, pois criou muita variação, que numa visão regional, causa confusão na interpretação. Já com a equidistância de 3 metros foi satisfatório o resultado, pois torna visíveis as formas sem causar possíveis

artificialidades, como com 1 metro.

Quanto ao MDE de 5 metros, quando as formas são maiores esse apresenta como uma boa opção, pois homogeneiza as áreas, possibilitando interpretações de conjuntos mais amplos. Já com a equidistância de 10 metros o MDE se mostrou ineficiente devido à variação topográfica no sentido distal do leque (NE-SW), pois existem patamares topográficos de aproximadamente 10 metros.

Quando comparado essas formas identificadas nos MDEs com as imagens Landsat, nota-se claramente que essas feições elevadas estão sobrepostas por vegetação arbórea e, em maioria das áreas, com denso agrupamento.

Com a análise evolutiva da área baseado nas três imagens utilizadas do Landsat que totalizam 31 anos, foi possível identificar o desmatamento em algumas áreas. Quando comparado com os MDEs, nota-se que as áreas onde ocorreu o desmatamento antes da passagem da missão SRTM se configuram planas. Já as áreas que foram desmatadas após o levantamento SRTM se apresentam como feições elevadas.

Com a análise consorciada de sensores remotos possibilitou definir 3 áreas para serem realizados os trabalhos de campo, que são: A1, borda de uma área deprimida com presença de água e parcialmente desmatada antes e outra parcela desmatada após o levantamento da missão SRTM; A2, vegetação desmatada após o levantamento SRTM; A3, vegetação desmatada antes da passagem SRTM.

Em campo foi possível refinar a descrição, sendo elas então definidas como: A1 localiza-se próximo a área deprimida contendo água, com presença de vegetação rasteira e arbórea de grande porte, porém a área está desmatada, com pequeno declive no sentido da área deprimida com água. A A2 é plana, apresenta gramínea exótica introduzida para pastagem com algumas árvores de médio e grande porte que foram deixadas durante o desmatamento, no entorno há variação na concentração da vegetação, pois em alguns pontos é esparsa e em outros pontos há vegetação arbórea densa. A3 é plana, também com gramíneas exóticas introduzidas para pastagem com poucas árvores, porém, de grande porte e densa.

Quando analisado as áreas desmatadas (A2 e A3) e o seu entorno, nota-se claramente que não há elevação, portanto plana, seja no sentido dos cordões alongados dos conjuntos vegetacionais (NE-SW) ou nas áreas que naturalmente já existiam gramíneas nativas. Em A2 as árvores de maior porte chegavam a medir 13 metros, demonstrando correlação com os dados SRTM, pois a variação entre as áreas arbóreas e as gramíneas variam entre 4 e 6 metros. Na A3 as árvores mais altas chegam a 15 metros e a diferença das áreas de gramíneas nativas nos dados SRTM chegam a 8 metros, devido o adensamento arbóreo da área (Figuras 3 e 4).



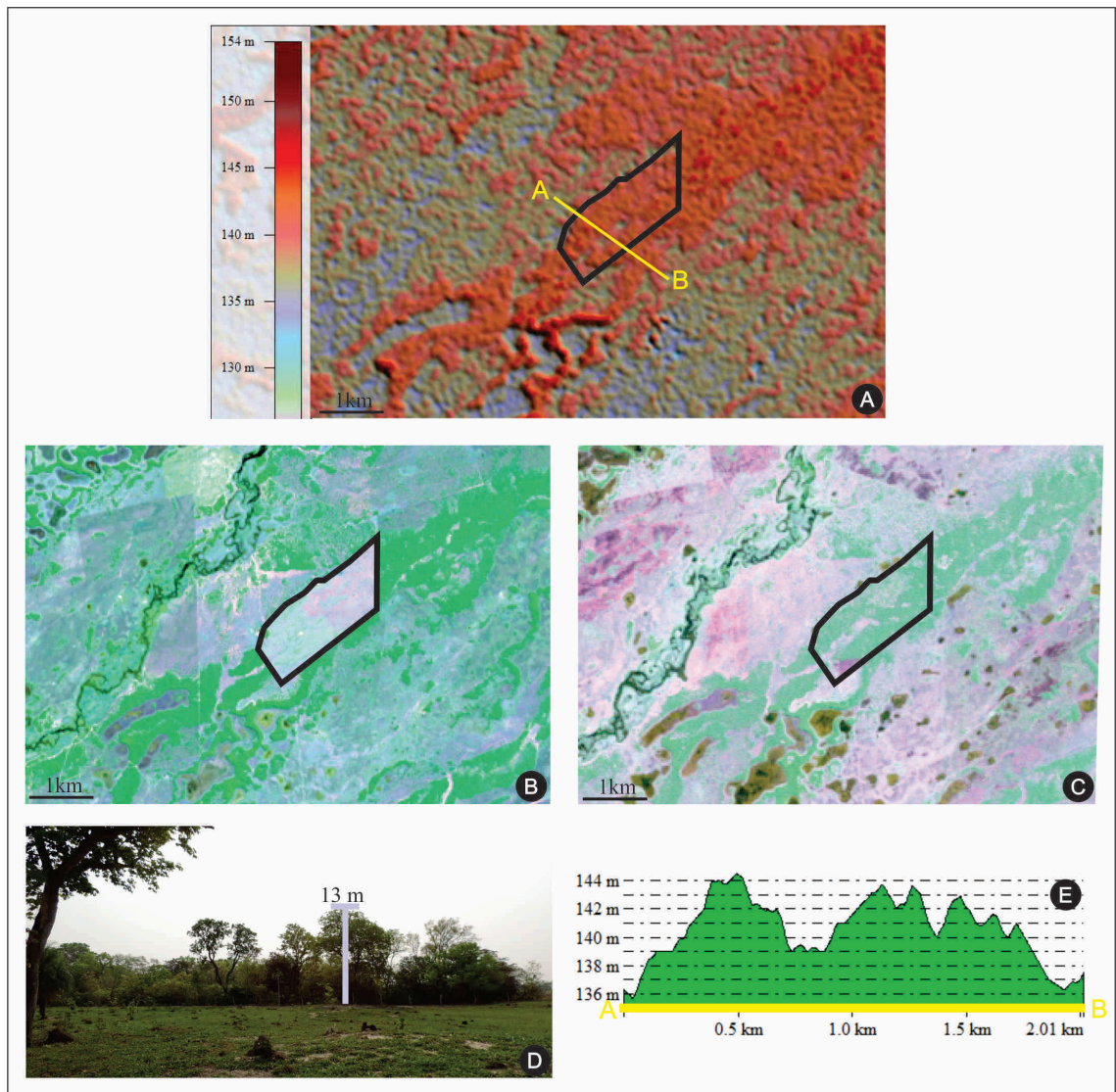


Figura 3. Imagens da A2. A-Dados SRTM, em destaque em amarelo onde foi traçado o perfil topográfico digital, em destaque o polígono em preto onde ocorreu o desmatamento. B-Imagem de 2015, em destaque o polígono em preto onde ocorreu o desmatamento. C- Imagem de 1985, em destaque o polígono em preto antes de ter ocorrido o desmatamento. D-Foto tirada em 23/09/2015, em destaque a altura das árvores no fragmento florestal a leste. E-Perfil topográfico digital com dados SRTM.

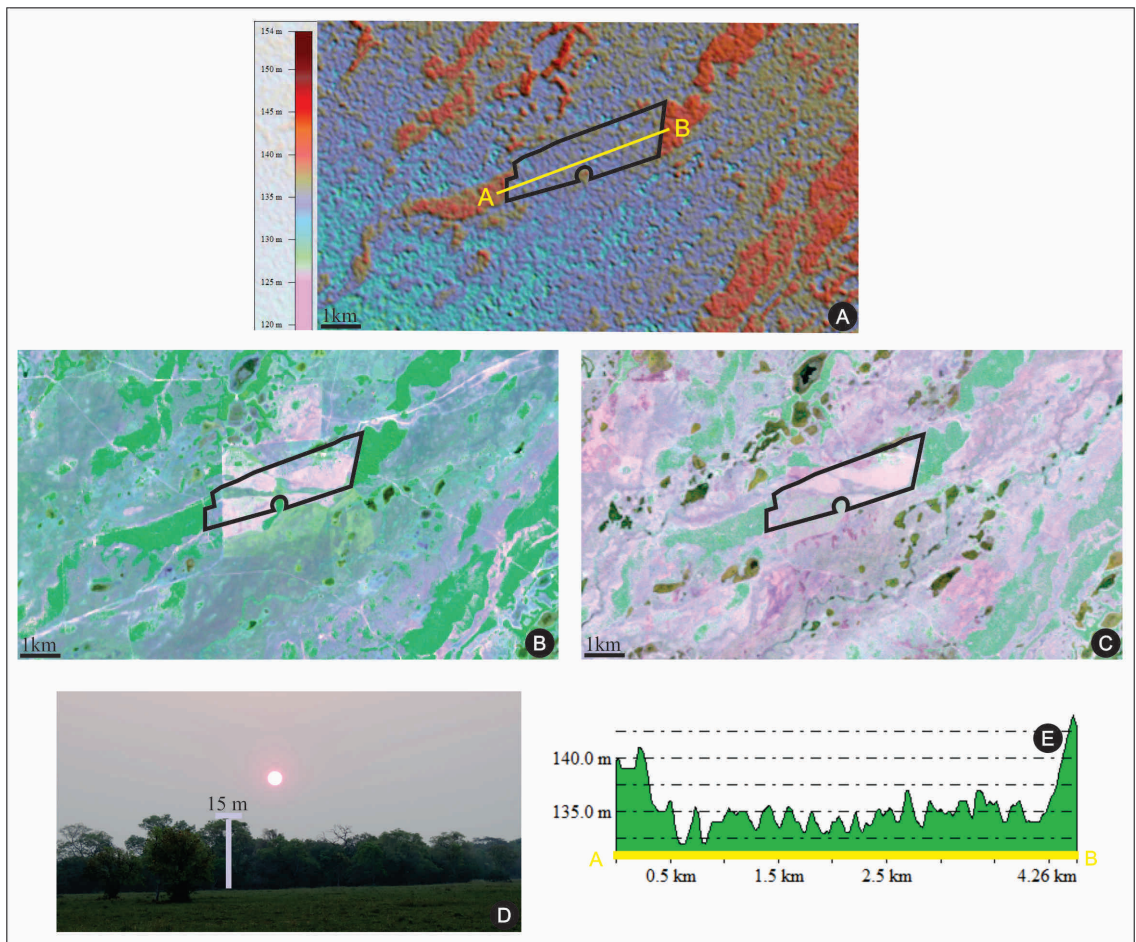


Figura 4. Imagens da A3. A-Dados SRTM, em destaque em amarelo onde foi traçado o perfil topográfico digital, em destaque o polígono em preto onde ocorreu o desmatamento. B-Imagem de 2015, em destaque o polígono em preto onde ocorreu o desmatamento. C- Imagem de 1985, em destaque o polígono em preto onde ocorreu o desmatamento. D-Foto tirada em 23/09/2015, em destaque a altura das árvores no fragmento florestal a oeste. E-Perfil topográfico digital com dados SRTM.

Na A1 por apresentar áreas desmatadas em dois momentos diferentes, os dados SRTM evidenciam claramente a interferência da vegetação. Na Figura 5A é possível notar uma elevação circundada por área plana, na Figura 5B verifica-se a vegetação existente na imagem de 1985 e na Figura 5C imagem de 2015 a vegetação retirada após a missão SRTM, e na Figura 5D visualiza-se a vegetação atualmente retirada confirmada em campo, onde as árvores chegavam a medir 14 metros e nos dados SRTM a diferença altimétrica alcança 10 metros (Figura 5E).



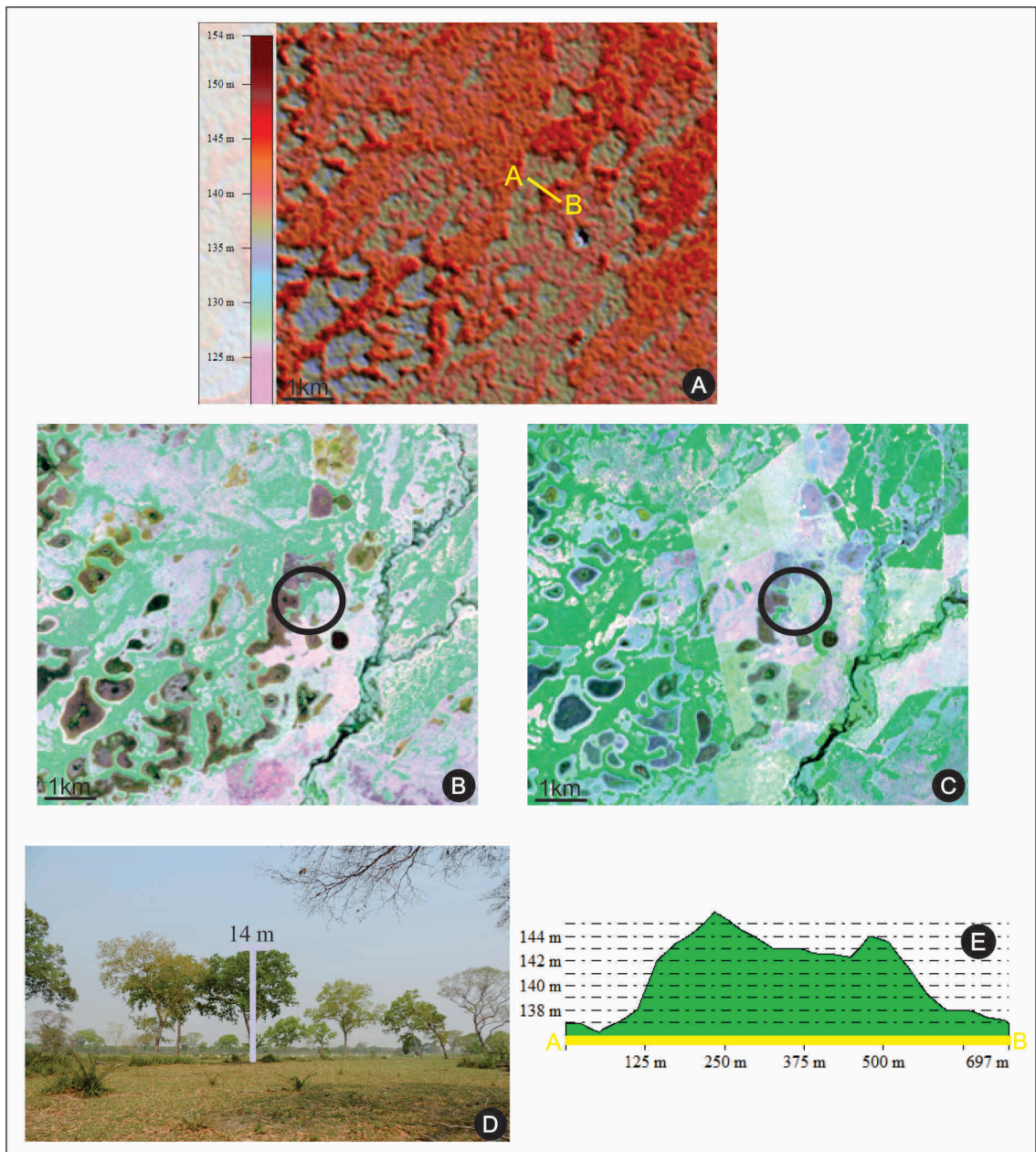


Figura 5. Imagens da A1. A-Dados SRTM, em destaque em amarelo onde foi traçado o perfil topográfico digital. B-Imagem de 1985, em destaque circulado de preto a existência da vegetação. C-Imagem de 2015, em destaque circulado de preto a inexistência da vegetação. D-Foto tirada em 22/09/2015, em destaque a altura da árvore deixada após no desmatamento. E-Perfil topográfico digital com dados SRTM.

As análises granulométricas apresentam de modo geral que em A1(110 cm de profundidade) há concentração em areia em todas as profundidades, sendo a maior concentração em areia fina com variação de 38% a 50%. A segunda maior concentração dos grãos ficou em areia muito fina entre 35% a 22%. A terceira maior parte dos grãos está classificada em areia média variando entre 17% a 20%. As demais espessuras de grãos não possuem quantidade significativa, variando de 1% a 8%.

Em A2 (200 cm de profundidade), ocorreu semelhante a A1, com maior concentração dos grãos em areia com aproximadamente 95% em cada amostra e as demais espessuras variando entre 1% e 5%. A maior quantidade de grãos foi

também classificada como areia fina com oscilação de 35% a 50%. A segunda maior concentração em areia média, variando entre 18% a 27%. A terceira maior concentração dos grãos foi areia muito fina, variando no intervalo de 10% a 21%.

AA3 apesar de acompanhar o grupo das areias, demonstrando também grãos bem selecionados, diferentemente das áreas anteriores, apresentou maior concentração em areia média, com concentrações variando entre 46% e 48%. Seguidamente, a segunda maior concentração entre 30% a 33% foi classificada como areia fina.

## 5 | CONCLUSÕES

Análises geomorfológicas de um modo geral são bem conduzidas com uso do sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento, porém, quando se trata de áreas de planície, como é o caso do Pantanal, tem-se necessidade de maior atenção quando realizada a fotointerpretação. Diante disso, a presente pesquisa demonstra claramente a necessidade de validação em campo dos dados e informações levantadas em gabinete.

A utilização de multissensores, no caso o SRTM consorciado ao Landsat, se apresentou extremamente importante e eficiente, principalmente quando a utilização das imagens Landsat foi feita com análise multitemporal, permitindo identificar falsas interpretações do SRTM, como o caso de sobre-elevação causada pela vegetação arbórea, criando efeito dossel, corroborando com outros estudos sobre efeito dossel no Pantanal.

Os testes de fatiamento topográfico dos MDEs demonstraram que para essa área na Nhecolândia deve ser utilizada a equidistância de 3 metros, pois potencializou a identificação de microformas do relevo, diminuindo a percepção de elementos artificiais, mas também permitiu delinear as formas maiores.

Por fim, a presente pesquisa foi importante, pois sugere que em novos estudos de cunho geomorfológico na região da Nhecolândia, mais especificamente na porção leste, seja utilizada a presente proposta de análise para definição dos pontos para levantamentos em campo, visto que essa aperfeiçoa os trabalhos de campo e diminui a probabilidade de incoerência de interpretação dos dados SRTM.

## 6 | AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento do Ensino, Ciência e Tecnologia do Estado de Mato Grosso do Sul-FUNDECT pelo financiamento da pesquisa e à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação-PROPP/UFMS pela concessão de bolsa de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. O Pantanal Mato-Grossense e a Teoria dos Refúgios e Redutos, 1988. *In: Brasil: Paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal Mato-grossense - patrimônios básicos*. Ateliê Editorial: São Paulo, 2006.
- ALLEM, A. C.; VALLS, J. F. M. **Recursos Forrageiros nativos do Pantanal mato-grossense**. v. 8, EMBRAPA-CENARGEN, Brasília, 1987.
- ASSINE, M. L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-grossense, Centro-oeste do Brasil**. UNESP, Rio Claro, 2003. (Tese de Livre Docência).
- ASSINE, M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, 2004.
- CLAPPERTON, C. **Quaternary Geology and Geomorphology of South America**. Amsterdam. Elsevier, 1993.
- FRANCO, M. S. M.; PINHEIRO, R. **Geomorfologia**. In: Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. Folha SE 21 Corumbá e parte da Folha SE 20: Rio de Janeiro, 1982. 72.
- POTT, A. Relações da vegetação com ambientes do Pantanal. In: Encontro Sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal, 1995, Corumbá. **Anais...** São Jose dos Campos: INPE, 1995. p. 5-7.
- SUGUIO, K. **Rochas sedimentares: Propriedade, Gênese, Importância econômica**. 1980.
- SILVIA, J. S. V.; ABDON, M. M. **Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas Sub-Regiões**. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v. 33, Numero Especial, p. 1703-1711, out. 1998.
- SAKAMOTO, A. Y.; QUEIROZ NETO, J. P., FERNANDES, E., LUCATI, H. M.; CAPELLARI, B. Topografia de Lagoas Salinas e seus Entornos no Pantanal da Nhecolândia. In: II SIMPÓSIO SOBRE RECURSOS NATURAIS E SÓCIOECONÔMICOS DO PANTANAL, 1996. **Anais...** Corumbá. EMBRAPA, 1996.
- VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em <<http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>>.
- VALERIANO, M. M.; ABDON, M. M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. Revista Brasileira de Cartografia, v.1, n. 59, 2007.

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**ALAN MARIO ZUFFO** - Engenheiro Agrônomo (Universidade do Estado de Mato Grosso – UNEMAT/2010), Mestre em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal do Piauí – UFPI/2013), Doutor em Agronomia – Produção Vegetal (Universidade Federal de Lavras – UFLA/2016). Atualmente, é professor visitante na Universidade Federal do Mato Grosso do Sul – UFMS no Campus Chapadão do Sul. Tem experiência na área de Agronomia – Agricultura, com ênfase em fisiologia das plantas cultivadas e manejo da fertilidade do solo, atuando principalmente nas culturas de soja, milho, feijão, arroz, milheto, sorgo, plantas de cobertura e integração lavoura pecuária. E-mail para contato: alan\_zuffo@hotmail.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-222-7

