



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

LUIZ FERNANDO AVANCI

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE
ARMAZENAMENTO DA LAGOA DO JACARÉ NO MUNICÍPIO DE VÁRZEA
GRANDE-MT**

CUIABÁ-MT

2023

LUIZ FERNANDO AVANCI

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE
ARMAZENAMENTO DA LAGOA DO JACARÉ NO MUNICÍPIO DE VÁRZEA
GRANDE-MT**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental, pela
Universidade Federal de Mato Grosso.

Orientado: Ana Rubia de Carvalho Bonilha Silva

Coorientador: Walter Corrêa Carvalho Junior

LUIZ FERNANDO AVANCI

**CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E ESTIMATIVA DA CAPACIDADE DE
ARMAZENAMENTO DA LAGOA DO JACARÉ NO MUNICÍPIO DE VÁRZEA
GRANDE-MT**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Sanitária e Ambiental, pela
Universidade Federal de Mato Grosso.

Cuiabá, 01 de junho de 2023

Banca Examinadora:

Prof. Msc Ana Rubia de Carvalho Bonilha Silva - Membro Interno
Universidade Federal de Mato Grosso - DESA/UFMT

Prof. Dr. Rafael Pedrollo de Paes - Membro Interno
Universidade Federal de Mato Grosso - DESA/UFMT

Prof. Msc Walter Corrêa Carvalho Junior - Membro
Secretaria de Estado do Meio Ambiente -SEMA/MT

Prof. Dr. Cristiano Gabriel Persch - Membro Interno
Universidade Federal de Mato Grosso - DESA/UFMT

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos
que sempre me incentivaram.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha orientadora Ana Rubia de Carvalho Bonilha Silva e ao meu coorientador: Walter Corrêa Carvalho Junior, ao professor Rafael Pedrollo de Paes, pelas orientações, suporte e contribuições para o desenvolver este trabalho. Aos colegas e amigos do projeto da Lagoa do Jacaré nas discussões durante o desenvolvimento do trabalho.

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

RESUMO

Ao longo dos anos vem aumentando significativamente a ocorrência de desastres naturais, como enchentes, alagamentos e inundações, nas áreas urbanas. Eles ocorrem devido a combinação de fatores como, intensas precipitações pluviométricas, falhas no planejamento urbano, impermeabilização do solo e degradação ambiental. O aumento da urbanização e a ocupação desordenada das áreas urbanas têm contribuído para a amplificação desses riscos. Mediante a isso, o presente estudo tem como objetivo caracterizar fisiograficamente a bacia e identificar a capacidade volumétrica de armazenamento da lagoa do jacaré, localizada em uma região urbana do município de Várzea Grande no Estado de Mato Grosso. O estudo foi dividido em três etapas, a primeira etapa consiste na caracterização e delimitação da microbacia por meio de um modelo digital de terreno. A segunda etapa envolve a interpolação dos dados de topobatimetria coletados em campo, utilizando técnicas de geoestatística, com a finalidade de obter uma representação mais precisa do fundo da lagoa. Na terceira e última etapa, são calculadas áreas e os volumes para cada curva de nível. A caracterização fisiográfica e identificação da capacidade de armazenamento da lagoa permitem a análise mais detalhada da ocorrência de enchentes e o gerenciamento adequado do espaço urbano. Conhecendo a topografia do fundo da lagoa permite identificar se existe algum tipo de assoreamento que possa comprometer sua capacidade real de amortecimento e tomar medidas para mitigação.

Palavras-chave: Ordenamento urbano, capacidade volumétrica, interpolação, topobatimetria.

ABSTRACT

Over the years, the occurrence of natural disasters, such as floods, floods and floods, has significantly increased in urban areas. They occur due to a combination of factors such as intense rainfall, flaws in urban planning, soil sealing and environmental degradation. The increase in urbanization and the disorderly occupation of urban areas have contributed to the amplification of these risks. Therefore, the present study aims to physiographically characterize the basin and identify the volumetric storage capacity of Lagoa do Jacaré, located in an urban region of the municipality of Várzea Grande in the State of Mato Grosso. The study was divided into three stages, the first stage consists of the characterization and delimitation of the watershed through a digital terrain model. The second stage involves the interpolation of topobathymetry data collected in the field, using geostatistical techniques, in order to obtain a more accurate representation of the bottom of the lagoon. In the third and final step, areas and volumes are calculated for each contour line. The physiographic characterization and identification of the lake's storage capacity allow a more detailed analysis of the occurrence of floods and the adequate management of the urban space. Knowing the topography of the bottom of the lagoon makes it possible to identify whether there is any type of siltation that could compromise its real damping capacity and to take mitigation measures.

Keywords: Urban planning, volumetric capacity, interpolation, topobathymetry.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Lagoa do Jacaré	18
Figura 2 - Levantamento dos pontos altimétricos.....	22
Figura 3 - Cálculo de área e o volume entre uma superfície e um plano de referência	24
Figura 4 - Delimitação da microbacia da Lagoa do Jacaré	25
Figura 5 - Detalhe tridimensional da topobatimetria da área de estudo.....	27
Figura 6 - Variação dos dados espaciais	27
Figura 7 - Validação cruzada espacial dos dados	29
Figura 8 - Curvas de nível da lagoa	30
Figura 9 - Perfil longitudinal da Lagoa do Jacaré.....	30
Figura 10 - Relação curva cota-área-volume da lagoa.....	31

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Características fisiográficas da microbacia da Lagoa do Jacaré	26
Tabela 2 - Parâmetros de ajuste da validação cruzada	28
Tabela 3 - Determinação das áreas e dos volumes acumulados na lagoa	31

LISTAS DE ABREVIACOES

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

MDT - Modelo Digital de Terreno

MMA - Ministério do Meio Ambiente

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SIG - Sistema de Informação Geográfica

UFMT - Universidade Federal de Mato Grosso

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	12
2.1. OBJETIVOS GERAL.....	12
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1. HIDROLOGIA.....	13
3.2. CICLO HIDROLÓGICO.....	13
3.3. PRECIPITAÇÃO	14
3.4. ESCOAMENTO SUPERFICIAL	15
3.4.1. Bacia hidrográfica	16
3.4.2. Características fisiográficas	16
4. MATERIAIS E MÉTODOS	17
4.1. ÁREA DE ESTUDO	17
4.2. DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA	18
4.3. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA MICROBACIA	19
4.4. AQUISIÇÃO DOS DADOS TOPOBATIMÉTRICOS E MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO	22
4.5. APLICAÇÃO DO MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO PARA REPRODUÇÃO DO MODELO DE TERRENO	22
4.6. MÉTODO DE ESTIMATIVA DO VOLUME DA LAGOA	24
4.7. GERAÇÃO DAS CURVAS COTA-ÁREA-VOLUME	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25
6. CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o Serviço Geológico do Brasil (2021) e o Ministério do Meio Ambiente (2018), os desastres naturais, tais como enchentes, alagamentos e inundações, têm se tornado cada vez mais frequentes em áreas urbanas no Brasil.

Fatores como a fisiografia da bacia associada a falhas no planejamento e ordenamento urbano podem favorecer a ocorrência desses eventos. A área de uma bacia, o formato e as características da rede drenagem são importantes para analisar o escoamento e a suscetibilidade a enchentes e inundações.

Além disso, é importante analisar o uso e ocupação do solo, a presença de infraestruturas urbanas, o sistema de drenagem urbana, a cobertura vegetal, a topografia, entre outros aspectos.

Em relação à ocupação urbana, áreas com alta densidade populacional próximas a corpos d'água, como lagos, lagoas e cursos d'água, representam uma preocupação significativa devido ao risco de inundações.

Portanto, para além da topografia do terreno onde estão localizadas as edificações é necessário conhecer a topografia do fundo dessas massas de água para determinar sua capacidade de armazenamento e auxiliar no planejamento e gestão urbana dos arredores.

Identificar a capacidade de armazenamento de uma lagoa é importante, pois permite o planejamento e gerenciamento adequados do espaço urbano ao seu redor. A capacidade volumétrica auxilia no controle do transbordamento da água identificando se existe algum tipo de assoreamento e tomando medidas para mitigação.

Portanto este trabalho tem o propósito de determinar as características fisiográficas da bacia e a capacidade volumétrica da Lagoa do Jacaré em Várzea Grande - MT.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Delimitação da microbacia hidrográfica da Lagoa do Jacaré e estimativa da capacidade de armazenamento de água da Lagoa do Jacaré em Várzea Grande - MT.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar fisiograficamente a microbacia da Lagoa do Jacaré em Várzea Grande - MT;

Interpolar matematicamente dos dados topobatimétricos obtidos para a lagoa;

Reproduzir o modelo da superfície com base na interpolação matemática no software ArcGIS 10.8;

Produzir a curva cota-área-volume para a lagoa assoreada.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 HIDROLOGIA

De acordo com Coelho Netto *et al.* (2018), a Hidrologia é a ciência natural que se dedica ao estudo dos fenômenos relativos à água em seus diferentes estados físicos, bem como da sua distribuição e ocorrência na atmosfera, na superfície terrestre e no solo, e da relação desses fenômenos com a vida e com as atividades do homem.

A água é um recurso fundamental para a sobrevivência humana e para diversas atividades aceleradas, como a agricultura e a indústria, tornando o conhecimento hidrológico essencial para profissionais de diversas áreas, como engenheiros, agrônomos, ecologistas, geógrafos e geofísicos. A preservação entre o progresso e o grau de utilização dos recursos hídricos evidencia também o importante papel da hidrologia na complementação dos conhecimentos necessários ao seu melhor aproveitamento (COELHO NETTO *et al.* 2018).

Diferentes regiões do Brasil apresentam desafios hidrológicos distintos, tornando o estudo da hidrologia ainda mais relevante e urgente.

Apesar de fenômenos hidrológicos como as chuvas e o escoamento dos rios serem relativamente comuns, Coelho Netto *et al.* (2018) afirmam que eventos extremos, como cheias e estiagens, ainda podem trazer consequências catastróficas.

Portanto, não considerar algumas questões do ciclo hidrológico pode levar a uma má gestão dos recursos hídricos, incluindo a construção inadequada de infraestruturas de drenagem. Isso aumenta o risco de inundações e enchentes em áreas urbanas, com impactos negativos para as comunidades e o meio ambiente.

Para entender o ciclo hidrológico, que é o processo de movimento da água na Terra, é necessário compreender as suas fases, conforme explicado por Coelho Netto *et al.* (2018). O ciclo hidrológico compreende a evaporação da água da superfície terrestre, a formação de nuvens, a precipitação na forma de chuva ou neve, a infiltração no solo, o escoamento superficial e subterrâneo e o retorno à atmosfera pela evapotranspiração das plantas.

3.2 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico é definido como a circulação contínua da água na atmosfera, nos estados sólido, líquido e gasoso, mantido pela força solar, energia do vento e pelo potencial de retenção de água do solo.

A água da chuva é infiltrada no solo ou escoar sobre a superfície para áreas mais baixas, acumulando-se em rios, lagos e oceanos, onde pode evaporar. As plantas absorvem água do solo por meio de suas raízes e liberam para a atmosfera pela transpiração.

As gotículas de água que se condensam formam nuvens e caem em forma de chuva, neve ou gelo, reiniciando o ciclo hidrológico. O ciclo é composto pelas fases de evaporação, condensação, precipitação e escoamento.

O estudo hidrológico está voltado às fases de escoamento superficial e subterrâneo e às precipitações atmosféricas.

A água que precipita sobre a superfície da terra pode escoar superficialmente ou infiltrar-se no solo, sendo chamada de água subterrânea, e fatores naturais e antrópicos podem afetar a taxa de infiltração.

A interferência humana por meio de desmatamentos e impermeabilização do solo compromete a capacidade de infiltração e pode causar erosões, alagamentos e inundações ou sobrecarregar o sistema de drenagem de águas pluviais.

3.3 PRECIPITAÇÃO

A Precipitação é definida como qualquer tipo de fenômeno relacionado à queda de água do céu, como neve, chuva e chuva de granizo (SALATI; MARQUES, 1986). É uma parte fundamental do ciclo hidrológico, já que é responsável por devolver a maior parte da água doce do planeta, sendo, portanto, a principal fonte de abastecimento dos sistemas hídricos (MARENGO *et al.* 2012).

A variabilidade temporal e espacial da precipitação influencia o comportamento da disponibilidade hídrica de uma bacia, constituindo um fator importante nos processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração e recarga dos aquíferos, sendo a base da vazão dos cursos de água, entre outros. (COELHO NETTO; OLIVEIRA; CARVALHO JÚNIOR, 2018)

A chuva pode ser classificada em três tipos: chuva convectiva, chuva frontal e chuva orográfica. A chuva convectiva é caracterizada por originar-se de nuvens formadas por convecção livre, sendo comum em regiões equatoriais, onde os movimentos de ar são naturalmente satisfatórios (ALVES *et al.* 2019).

Esse tipo de chuva é característico das regiões equatoriais, onde os ventos são flexíveis e os movimentos de ar são naturalmente ascendentes. Também pode ocorrer em regiões temperadas por ocasião do verão.

No Brasil, essas chuvas ocorrem mais nas regiões tropicais, geralmente com grande intensidade e de pequena duração. Chuvas ocorrem quando o ar úmido é forçado a subir sobre uma barreira, como uma montanha.

À medida que o ar sobe, ele se resfria e a umidade se condensa, formando nuvens e precipitação.

Esse tipo de chuva é característico das regiões montanhosas. A chuva frontal, que ocorre quando uma massa de ar quente e úmida encontra uma massa de ar frio.

O ar quente é forçado a subir e, à medida que se eleva, resfria e a temperatura se condensa, formando nuvens e precipitação. Esse tipo de chuva é característico das regiões temperadas.

3.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial é um fenômeno comum na engenharia hidráulica, que se refere à movimentação da água na superfície do solo ou em estruturas de superfície, como canais, rios e lagos. Esse tipo de escoamento é influenciado por diversos fatores, como a topografia do terreno, as condições climáticas e a rugosidade da superfície.

De acordo com Silva *et al.* (2019), o escoamento superficial pode ser dividido em dois tipos: o escoamento laminar e o escoamento turbulento. O escoamento laminar ocorre quando a água flui suavemente sobre a superfície do solo ou estrutura, enquanto o escoamento turbulento é caracterizado por movimentos caóticos da água, com a formação de redemoinhos e ondas.

O escoamento superficial tem grande importância na engenharia civil, especialmente na gestão de recursos hídricos e no controle de enchentes. Segundo Pinto e cols. (2016), uma análise do escoamento superficial é fundamental para o dimensionamento de sistemas de drenagem e para a previsão de riscos de inundação em áreas urbanas.

Além disso, o escoamento superficial também tem impacto na entrada do solo, na qualidade da água e no transporte de sedimentos. Conforme destacado por Souza *et al.* (2020), a influência do solo causada pelo escoamento superficial pode resultar em perda de nutrientes e matéria orgânica, além de afetar a estabilidade de encostas e taludes.

Portanto, a compreensão dos processos que satisfizeram o escoamento superficial é essencial para a elaboração de projetos e medidas de gestão que visem à conservação de recursos hídricos e à prevenção de desastres naturais.

3.4.1 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica pode ser definida como uma área onde a precipitação é coletada e escoada para um sistema de drenagem natural (MENDONÇA *et al.* 2020).

Segundo estes autores, ela pode ser considerada como a região de drenagem de um rio principal ou de seus afluentes. As bacias hidrográficas são separadas umas das outras por divisores de água, que são estruturas do relevo, tais como montanhas, serras e chapadas.

É comum que bacias menores despejem suas águas em bacias maiores, que correspondem ao curso d'água principal, que posteriormente descarregam nos oceanos (SOUZA *et al.* 2016).

Os principais elementos que compõem uma bacia hidrográfica são: nascente, rio principal, divisor de águas, afluentes e foz ou exutório.

A nascente é o local onde a água emerge da superfície terrestre, formando um pequeno riacho que pode se tornar um rio principal. O divisor de águas é a linha que separa duas bacias hidrográficas, definindo seus limites.

Os afluentes são os rios ou riachos que desaguardam no rio principal, contribuindo para o aumento do seu volume de água. Por fim, a foz ou exutório é o ponto onde o rio principal desaguarda no mar, em um lago ou em outra bacia hidrográfica (PAIVA, 2014).

3.4.2 Características fisiográficas

As características fisiográficas de uma bacia hidrográfica, tais como a topografia, a geologia, ou o uso do solo e a cobertura vegetal, têm influência significativa sobre o comportamento do escoamento superficial e, portanto, na resposta hidrológica da bacia.

A topografia, é muito importante para entender qual a direção a água se move na superfície, ela influencia para onde está seu deslocamento e sua velocidade. A geologia da bacia hidrográfica também é importante, pois influencia a capacidade do solo em armazenar água e a permeabilidade.

Solos com alta permeabilidade permitem que a água seja absorvida rapidamente pelo lençol freático, reduzindo o escoamento superficial. Em contrapartida, solos com baixa permeabilidade não conseguem absorver a água de forma adequada, o que resulta em maior escoamento superficial e aumenta o risco de enchentes.

O uso do solo e a cobertura vegetal são outros fatores que influenciam o escoamento superficial. Áreas urbanas, por exemplo, geralmente possuem maior quantidade de superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, que aumentam a velocidade e a quantidade de água escoada na superfície.

Por outro lado, a presença de vegetação, como florestas e pastagens, pode diminuir o escoamento superficial e aumentar a infiltração de água no solo (Lima *et al.* 2021).

A morfologia da bacia hidrográfica é uma variável importante a ser considerada, pois afeta tanto o tempo de concentração da água como a resposta hidrológica da bacia (Sharma *et al.* 2020).

Segundo os autores, bacias hidrográficas que possuem formas alongadas e estreitas apresentam tempos de concentração mais elevados, além de uma resposta hidrológica mais lenta. Em comparação, bacias hidrográficas com formas arredondadas costumam ter tempos de concentração menores e uma resposta hidrológica mais rápida.

Portanto, as características fisiográficas da bacia hidrográfica são fatores importantes a serem considerados na análise do comportamento do escoamento superficial e na gestão dos recursos hídricos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

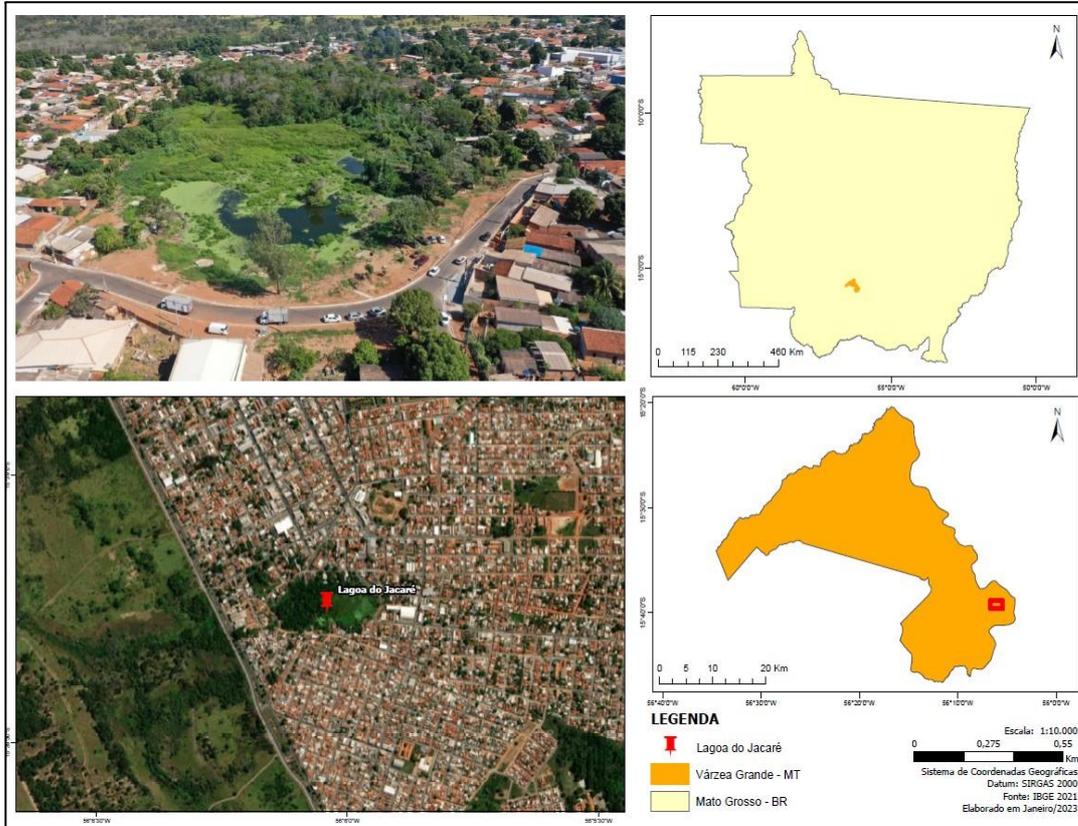
A Lagoa do Jacaré é uma das nascentes do Córrego Jacaré, localizada na região do Cristo Rei, área urbana de Várzea Grande, região metropolitana da capital de Cuiabá.

A microbacia hidrográfica do Córrego Jacaré está situada na Unidade de Planejamento e Gestão UPG-P4, correspondente ao Alto Rio Cuiabá, na região urbana do município de Várzea Grande, localizado no Estado de Mato Grosso.

Córrego é afluente do Rio Cuiabá, que por sua vez é um importante rio da Região Hidrográfica do Paraguai e um dos principais tributários do Pantanal Mato-grossense.

De acordo com o plano diretor do município de Várzea Grande-MT do ano de 2007, o solo predominante na região é o Plintossolo Pétrico, e a ocupação predominante consiste em áreas residenciais. A localização da lagoa está na figura 1.

Figura 1 - Localização da Lagoa do Jacaré



Fonte: Autoria própria (2023).

4.2 DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA

Para obtenção dos dados da área de estudo, foram utilizadas imagens raster geradas a partir de informações RADAR, com sensores a bordo do ônibus espacial Endeavour, conhecido como SRTM em inglês, Shuttle Radar Topography Mission, com resolução espacial de (30m), possuindo informações altimétricas.

Para diminuir o tamanho do Modelo Digital de Terreno (MDT), usou-se um software de sistema de informação geográfica (SIG) ArcGIS versão 10.8 e um, recorte em shapefile par reduzir o tamanho da área e o tempo de processamento dos dados, manuseando o MDT em tamanho reduzido ao limite do recorte, com uso da ferramenta “extract by mask”.

As operações para delimitação da microbacia hidrográfica foram a partir do MDT com auxílio de ferramentas computacionais de SIG que envolve os seguintes procedimentos: preenchimento de imperfeições no MDT pela ferramenta "Fill", para reduzir falhas que impedem o direcionamento do escoamento em áreas de cotas menores; cálculo das direções de fluxo "Flow Direction", que cria um raster de direção de fluxo de cada célula/pixel para seu vizinho de inclinação; cálculo do fluxo acumulado utilizando a função "Flow Accumulation", que indica o grau de confluência do escoamento e forma a rede de drenagem na direção do fluxo.

Por meio dos resultados obtidos na função de fluxo acumulado e a partir da direção de fluxo, usou-se a ferramenta “watershed”, para delimitação da área da microbacia.

Para isso, foi essencial a criação de um ponto shapefile no exutório do curso d’água sobre o arquivo raster de direção de fluxo.

A aplicação da ferramenta "Watershed" traça uma linha divisória em ângulo reto às curvas de nível em direção aos pontos cotados mais elevados em volta do curso d’água principal da microbacia e seus afluentes.

De acordo com informações da delimitação da microbacia, utilizou-se o Google Earth para auxiliar na identificação prévia da área e quais ruas fazem parte na limitação da microbacia, mediante a isso, definiu-se o caminho a ser percorrido em campo, para abranger os pontos onde se acredita ser o divisor de água.

Durante a atividade em campo, buscou identificar se na delimitação da microbacia o local de fato era um divisor de água.

4.3 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA MICROBACIA

Neste trabalho, as principais características fisiográficas e geométricas da microbacia do Jacaré, foram levantadas a partir do MDT gerado, extraindo os valores de área de drenagem, perímetro e o comprimento do leito principal para calcular os parâmetros fisiográficos.

A Rede de drenagem é constituída pelo rio principal acrescido de todos os seus tributários, expressa em km. Equação 1.

$$Rd = \sum_{i=1}^n li \quad (\text{Equação 1})$$

Onde: Rd = rede de drenagem, em km;

li = comprimento dos cursos d’água, em km.

Densidade de drenagem é a relação entre o comprimento total dos cursos d’água e a área de drenagem calculada pela equação 2, sendo expressa em km/km².

$$Dd = Rd/A \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: Dd = densidade de drenagem. km/km^2 ;

Rd = rede de drenagem, em km ;

A = área da bacia, em km^2 .

Fator de forma possui a relação entre a largura média e o comprimento axial da microbacia. De acordo com Silva e Mello (2008) o fator de forma pode admitir os seguintes valores: $1,00 - 0,75$ = bacia sujeita a enchentes; $0,75 - 0,50$ = bacia com tendência mediana; $< 0,50$ = bacia não sujeita a enchentes.

$$kf = A/L^2 \quad (\text{Equação 3})$$

Onde: kf = fator de forma (adimensional);

A = área da bacia, em km^2 ;

L = comprimento da bacia em km .

Coefficiente de compacidade (Kc), possui relação entre o perímetro da microbacia e a circunferência de um círculo de mesma área. Segundo Silva e Mello (2008) pode-se classificar as bacias hidrográficas com base nos seguintes valores: $1,00 - 1,25$ = bacia com alta propensão a grandes enchentes; $1,25 - 1,50$ = bacia com tendência mediana a grandes enchentes; $> 1,50$ = bacia não sujeita a grandes enchentes.

$$Kc = 0,28 \times (P/\sqrt{A}) \quad (\text{Equação 4})$$

Onde: Kc = índice ou coeficiente de capacidade;

P = perímetro da bacia, em km ;

A = área da bacia, em km^2 .

Índice de conformação (Ic) possui relação entre a área da microbacia e o quadrado de seu comprimento, medido ao longo do curso d'água, em linha reta, partindo do exutório até o ponto mais distante do divisor de águas.

$$Ic = A/L^2 \quad (\text{Equação 5})$$

Onde: Ic = índice de conformação;

A = área da bacia, em km^2 ;

L^2 = comprimento axial ao quadrado, em km .

Número de Ordem é a classificação que espelha o grau de ramificação do curso d'água principal de uma microbacia hidrográfica.

Tempo de concentração é tempo necessário para que toda a área da microbacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial na seção de saída.

De acordo com Silveira (2005) as bacias hidrográficas são classificadas em urbanas e rurais, para bacias urbanas ele recomenda quatro equações, justificando-se pela abrangência de bacias com bons resultados, pela representatividade original, e pelos erros avaliados.

Para o cálculo do tempo de concentração da microbacia, adotou-se a fórmula de Schaake, tendo em vista a disponibilidade de dados de entrada na microbacia da lagoa do jacaré, como: área (km^2), declividade (%) e comprimento axial. Outro fator para escolha da fórmula é a possibilidade de aplicação em bacias urbanas conforme aponta Silveira (2005).

$$tc = 0,0828 \times L^{0,24} \times S^{-0,16} \times A_{imp}^{-0,26} \quad (\text{Equação 6})$$

Onde: tc = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do talvegue, em km ;

S = declividade, em m/m ;

A_{imp} = porção de área impermeável.

A declividade média da microbacia é representada pela relação do desnível entre os pontos iniciais e finais pela extensão da microbacia, dada pela seguinte equação.

$$S = H/L \quad (\text{Equação 7})$$

Onde: S = declividade, em m/m ;

H = altura, em metros;

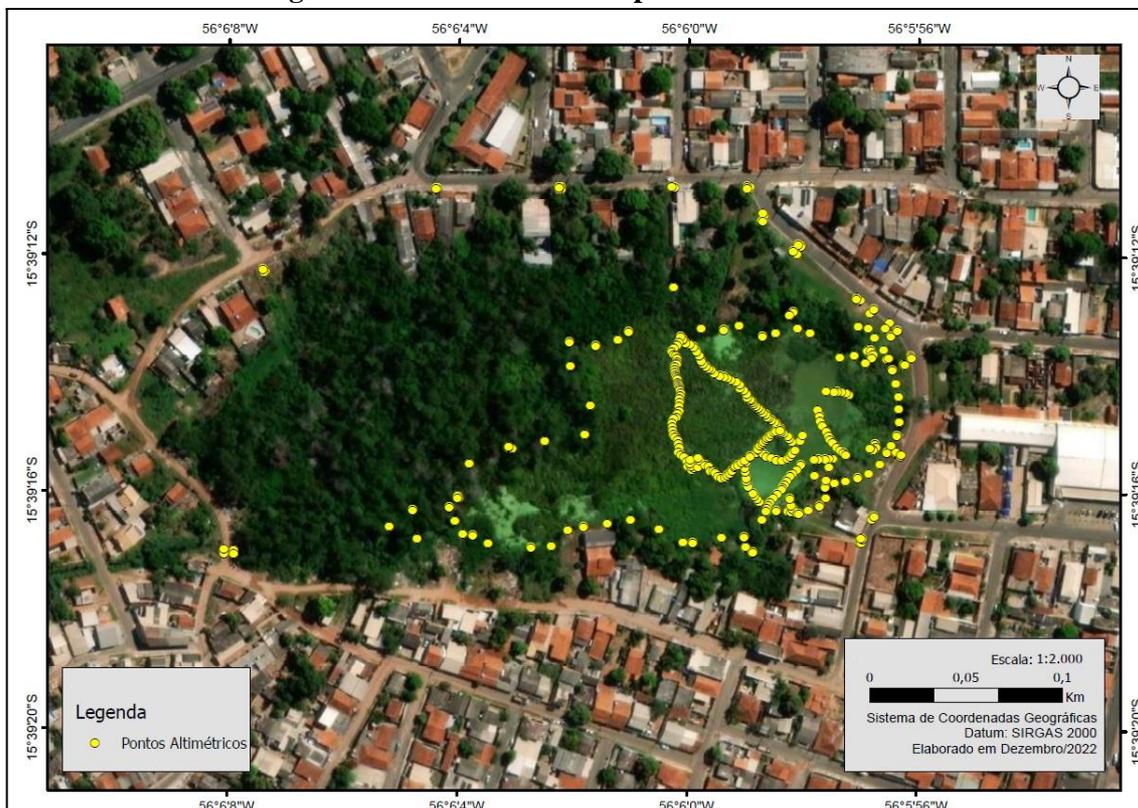
L = comprimento, em metros.

Para determinação da área impermeável da lagoa do Jacaré foi utilizada uma classificação supervisionada em software ArcGIS 10.8 a partir de imagem do Google Earth.

4.4 AQUISIÇÃO DOS DADOS TOPOBATIMÉTRICOS E MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO

Para a obter dos dados altimétricos no local de estudo, foram utilizados dados topobatimétricos coletados em campo no mês de maio de 2021, sob a responsabilidade do professor Ibraim Fantin-Cruz, lotado no departamento de pós-graduação em recursos hídricos na Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Foi realizado o levantamento de 366 pontos com valores altimétricos da profundidade e do entorno da lagoa. A distribuição espacial desses pontos pode ser visualizada na figura 2.

Figura 2 - Levantamento dos pontos altimétricos



Fonte: Autoria própria (2023).

De acordo com os valores altimétricos coletados, foi realizada a interpolação pelo método de krigagem ordinária, pois permite preencher lacunas dados, fornecendo estimativas confiáveis para locais não amostrados. Utilizando software Sistema de Informação Geográfica, visando apresentar o menor erro possível (CÂMARA *et al.* 2020).

Segundo Lima (2018), cada método de interpolação constrói um grid conforme o algoritmo específico, e esse procedimento é utilizado para a construção das linhas de contorno da superfície (curva de nível).

A krigagem, por sua vez, é um método que utiliza informações do variograma, permitindo que os dados obtidos por amostragem dos pontos possam ser usados para parametrizar a estimativa de pontos onde o valor da variável seja desconhecido, minimizando a variância do erro e gerando um modelo digital da superfície do fundo da lagoa (CÂMARA *et al.* 2020).

O objetivo do semivariograma é determinar o melhor ajuste para um modelo que cruza os pontos de semivariância, apresentando uma correlação espacial no conjunto de dados (Gonçalves *et al.* 2017).

4.5 APLICAÇÃO DO MÉTODO DE INTERPOLAÇÃO PARA REPRODUÇÃO DO MODELO DE TERRENO

Durante o processo de interpolação de dados espaciais, é importante avaliar a qualidade das estimativas geradas. Uma das técnicas utilizadas para esse fim é a validação cruzada, que consiste em amostrar cada ponto da base de dados e recalculá-lo para a mesma posição, levando em consideração os demais pontos (SILVA *et al.* 2018). Esse procedimento é simulado para os "n" pontos, permitindo detectar o erro entre os valores preditos e medidos.

Para a interpolação dos dados, foi utilizada a ferramenta "Geoestatistical Analyst", que oferece algumas opções de ajuste para o modelo semivariograma, como Exponencial, Gaussiano, Linear, Esférico, Quadrático, Cúbico, Pentaesférico, entre outros (ESRI, 2021). De acordo com a análise realizada, o modelo que melhor se ajustou foi o Esférico.

Para avaliar a precisão das previsões geradas pelo modelo, foram utilizadas diversas medidas de erro, como erro médio padrão, média, raiz quadrada média, média padronizada, raiz quadrada média padronizada e erro padrão médio.

Os resultados são considerados mais precisos quando a raiz quadrada média padronizada é mais próxima possível do valor 1 (um), e o erro padrão médio obtém valores mais próximos possível de 0 (zero) (GONÇALVES *et al.* 2017).

Após a aplicação do método estimador, os resultados são apresentados na forma de um mapa que engloba uma área maior do que aquela amostrada. Depois da criação do MDT, foi utilizado o recurso "contour" para gerar as curvas de nível, permitindo a criação de linhas de contorno com base nos dados de elevação do terreno.

4.6 MÉTODO DE ESTIMATIVA DO VOLUME DA LAGOA

Com base no Modelo Digital de Terreno (MDT) gerado, é possível obter informações relevantes sobre a elevação do terreno da área de interesse. Uma das informações obtidas é o cálculo do volume estimado da lagoa, por meio da ferramenta Storage Capacity.

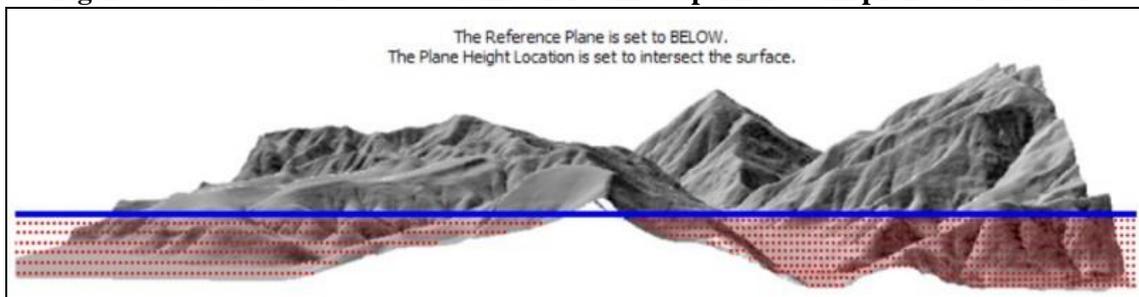
A ferramenta "Storage Capacity" é usada para estimar a capacidade de armazenamento de um reservatório ou lagoa com base em um Modelo Digital de Terreno (MDT). Essa ferramenta é parte do conjunto de ferramentas do Spatial Analyst e é especialmente útil para análises hidrológicas e de recursos hídricos.(ESRI, 2021).

No cálculo da capacidade de armazenamento, a ferramenta considera a elevação do terreno e a área de inundação para determinar a quantidade de água que pode armazenar em diferentes curvas de nível. Foi utilizado o MDT como entrada e especificou-se a elevação de referência com a finalidade de representar o nível máximo de água desejado e os intervalos entre as curvas de nível.

O cálculo do volume da lagoa foi realizado abaixo do plano de referência estabelecido, o que significa que a área projetada e a área da superfície foram calculadas no intervalo entre a superfície do MDT e a altitude desejada.

Conforme apresentado na figura 3, essa abordagem permite determinar o volume da lagoa (AUTODESK, 2021).

Figura 3 - Cálculo de área e o volume entre uma superfície e um plano de referência



Fonte: ESRI (2023).

4.7 GERAÇÃO DAS CURVAS COTA-ÁREA-VOLUME

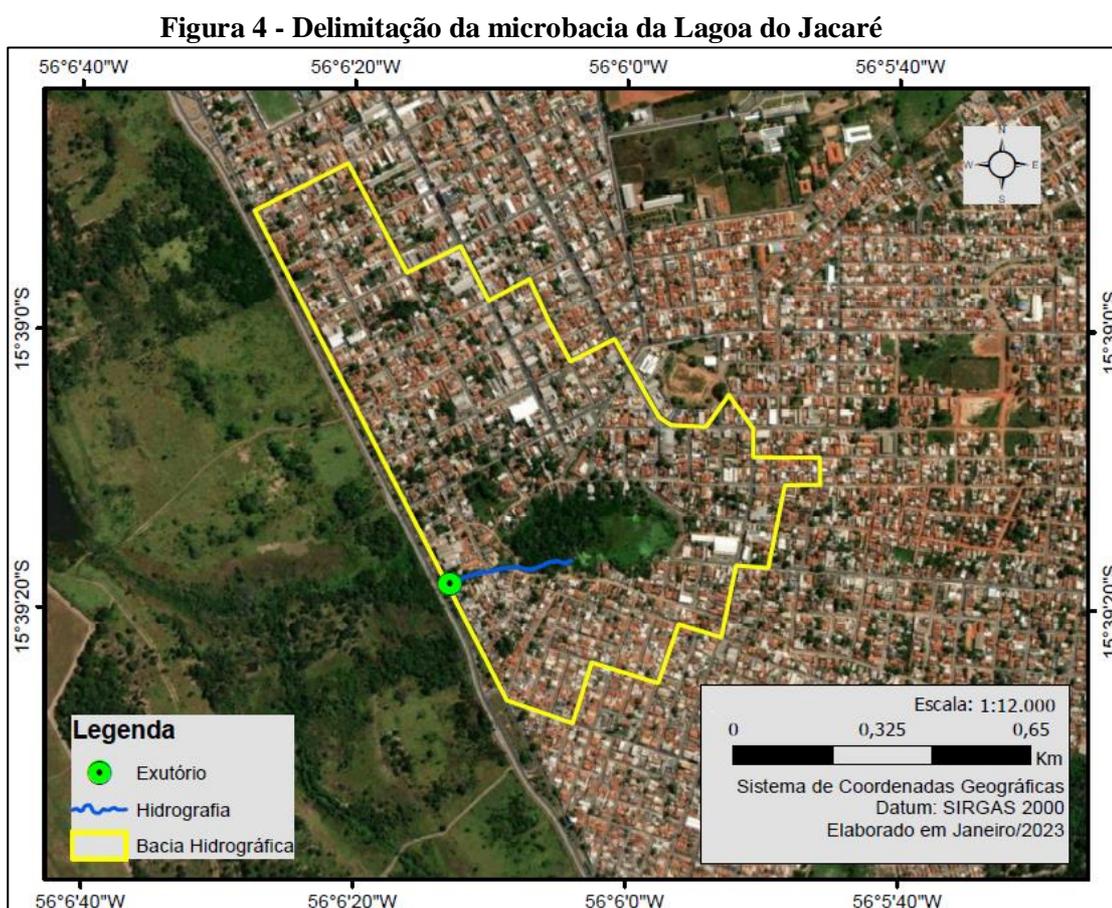
A partir do modelo digital de elevação obtido, foram geradas as curvas de nível do fundo da lagoa com o auxílio da ferramenta Storage Capacity.

A ferramenta é usada para calcular o volume de água que pode ser armazenado em uma determinada área. O cálculo é baseado no Modelo Digital de Terreno obtido pela topobatimetria, que descreve as características topográficas do terreno, o mesmo foi utilizado para estimar a elevação da água em diferentes pontos.

Para realizar o cálculo foi definido os parâmetros como: o limite do entorno da lagoa do Jacaré, a cota de referência da superfície da água, e os intervalos de cada curva de nível com distâncias de 0,1 em 0,1 metros. Após o processamento a ferramenta mostrou o resultado do cálculo da área e volume para cada intervalo definido nos parâmetros. Os valores de cota e área entre as curvas foram inseridos em uma planilha do Excel.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A imagem 4 apresenta a delimitação da bacia e as edificações que estão dentro da área de estudo, nela é possível observar que a lagoa ocupa uma área de 17.043 m² o que corresponde a aproximadamente 2,64% do total da bacia. Na referida imagem é possível observar que trata-se de uma bacia com bastante ocupações urbanas e elevada impermeabilização do solo, fatores que contribuem para a geração de escoamento superficial e minimizam a infiltração.



Fonte: Autoria própria (2023).

Na tabela 1 apresenta informações sobre as características fisiográficas e geométricas da microbacia da Lagoa do Jacaré, mostrando a forma da região que compõe essa área de drenagem. O comprimento do leito principal é o mesmo da extensão da rede de drenagem, haja visto que trata-se de uma bacia de ordem um, e a extensão da rede de drenagem é dada pela extensão do curso d'água da Lagoa do Jacaré.

De acordo com o valor baixo obtido para o fator de forma, é possível inferir que a bacia tem menor tendência a enchentes que outras de mesmo tamanho em relação à forma. O Coeficiente de compacidade diverge do valor unitário e considerando o valor do fator de forma, a tendência a enchentes é atenuada. Todavia a impermeabilização das áreas da bacia é um fator que gera maior escoamento e associado a ocupação desordenada pode acarretar problemas com alagamentos.

Em relação ao relevo, a microbacia possui um relevo plano com uma declividade média de 1,8 % de acordo com a classificação EMBRAPA (2018). Para o tempo de concentração encontrado de 10 minutos pela equação de Schaake indica que as águas pluviais atingirão o ponto mais baixo da bacia rapidamente. Isso implica no aumento de riscos de enchentes repentinas e inundações.

Tabela 1 - Características fisiográficas da microbacia da Lagoa do Jacaré

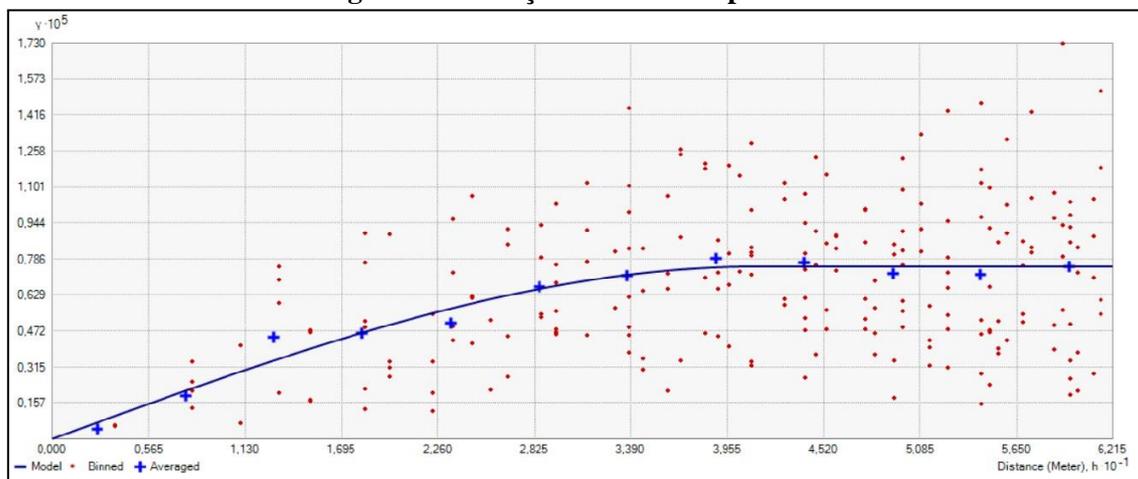
Parâmetros	Unidades	Valores
Área de drenagem	km ²	0,446
Perímetro	km	2,856
Comprimento do leito principal	km	0,277
Rede de Drenagem	km	0,277
Densidade de Drenagem	km/km ²	0,621
Fator de forma	-	0,39
Coeficiente de compacidade	-	1,197
Índice de conformação	-	1,345
Número de ordem	-	1 ^a
Tempo de concentração	min.	10
Declividade da microbacia	m/m	0,018
Comprimento máximo da microbacia	km	1,061
Largura máxima da microbacia	km	0,697

Fonte: Autoria própria (2023).

Os dados topobatimétricos foram ajustados para um modelo que cruza os pontos de semivariância, apresentando uma correlação espacial no conjunto de dados apresentado.

No gráfico do semivariograma, o eixo horizontal representa a distância entre os pontos de dados e o eixo vertical representa a diferença nos valores dos dados. Quando a diferença nos valores é pequena, o semivariograma é baixo, o que indica uma correlação espacial forte. Do contrário, quando a diferença nos valores é grande, o semivariograma é alto, indicando uma correlação espacial fraca. Dessa forma, o gráfico ajuda a identificar padrões espaciais. Ele pode mostrar se há uma tendência de os valores serem semelhantes ou diferentes quando estamos próximos ou distantes uns dos outros no espaço, como é exibido na figura 5.

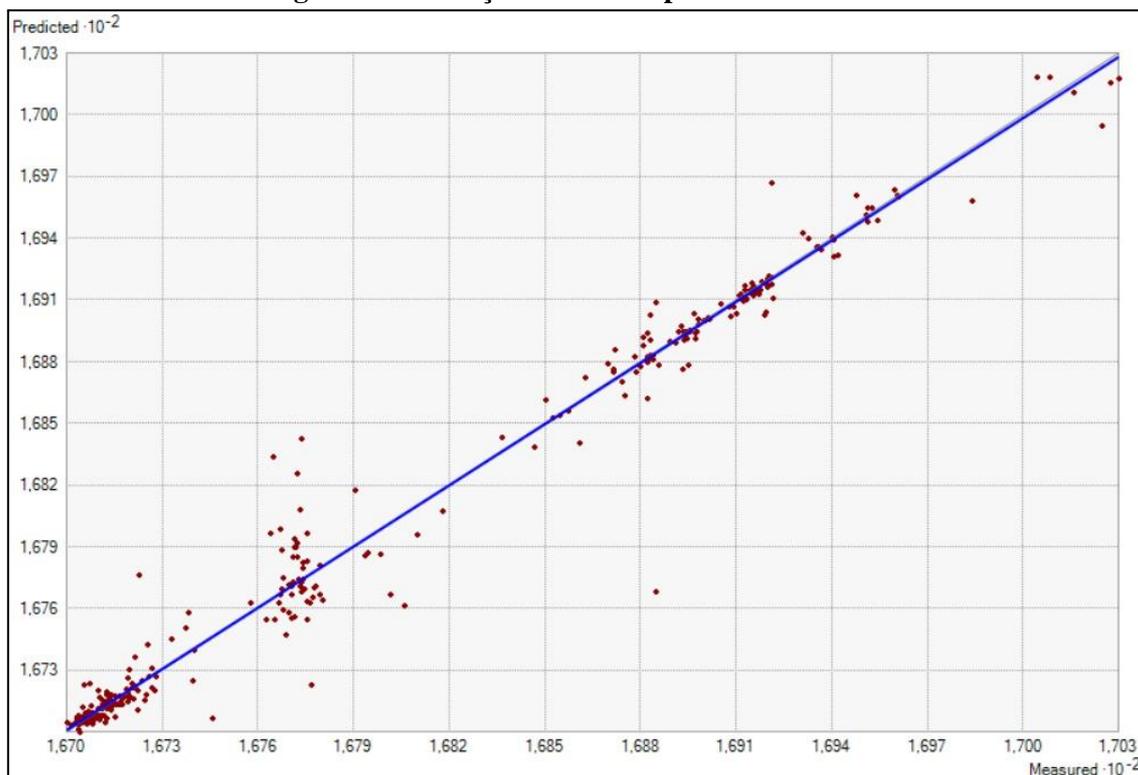
Figura 5 - Variação dos dados espaciais



Fonte: Autoria própria (2023).

No gráfico de validação cruzada, os valores observados nos locais de validação são plotados no eixo horizontal, enquanto as estimativas do modelo são plotadas no eixo vertical. Cada ponto no gráfico representa um local de validação. Ao observar o gráfico, é possível ver que as estimativas do modelo estão próximas dos valores reais, pois grande parte dos pontos estão alinhados em torno da linha diagonal, isso significa que as estimativas do modelo estão precisas e próximas dos valores reais, como é apresentado na figura 6.

Figura 6 - Validação cruzada espacial dos dados



Fonte: Autoria própria (2023).

A tabela a seguir mostra que, cada linha representa uma iteração da validação cruzada, ou seja, uma divisão dos dados em conjuntos de teste.

Os parâmetros de ajuste são calculados para cada iteração e ajuda a entender como o modelo está se comportando.

Dentre todos os parâmetros apresentados na tabela 2 os mais importantes a serem considerados para determinar o melhor modelo estimado, são comparar a diferença dos valores entre a Raiz Quadrada Média com o Erro Padrão Médio, quanto mais semelhantes esses dois parâmetros mais adequado é o semivariograma e a Raiz quadrada média padronizada, quando mais próximo de 1 (um) mais adequado é o modelo, como pode ser visto na tabela 2.

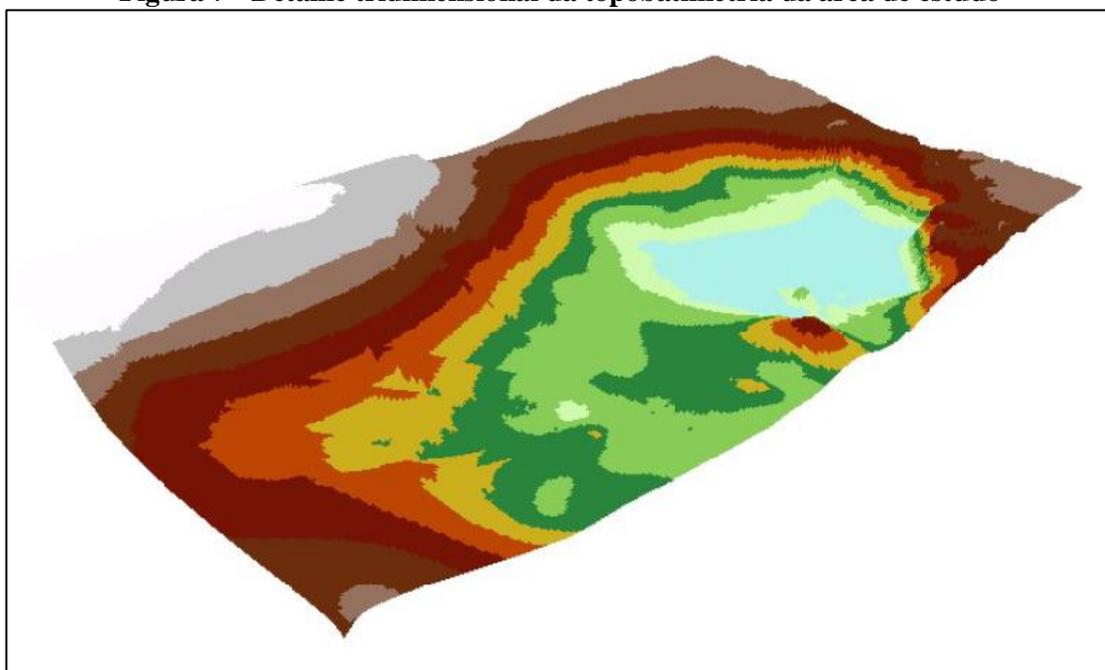
Tabela 2 - Parâmetros de ajuste da validação cruzada

Parâmetros	Valores
Função de regressão	$0,991819615891239 * x + 1,37424110165853$
Número de amostras	366
Média	0,004005986
Raiz-quadrada média	0,12694029
Média padronizada	0,017238455
Raiz quadrada média padronizada	1,594711647
Erro padrão médio	0,154304431

Fonte: Autoria própria (2023).

Com base nos dados obtidos por meio do levantamento topobatimétrico, foi possível também gerar uma representação tridimensional da Lagoa do Jacaré, proporcionando uma maior fidelidade do local, identificar possíveis obstáculos ou variações na topografia do fundo da lagoa. Observa-se que, à medida que as tonalidades das camadas de cores se tornam mais escuras, ocorre um aumento na elevação do terreno como é apresentado na figura 7.

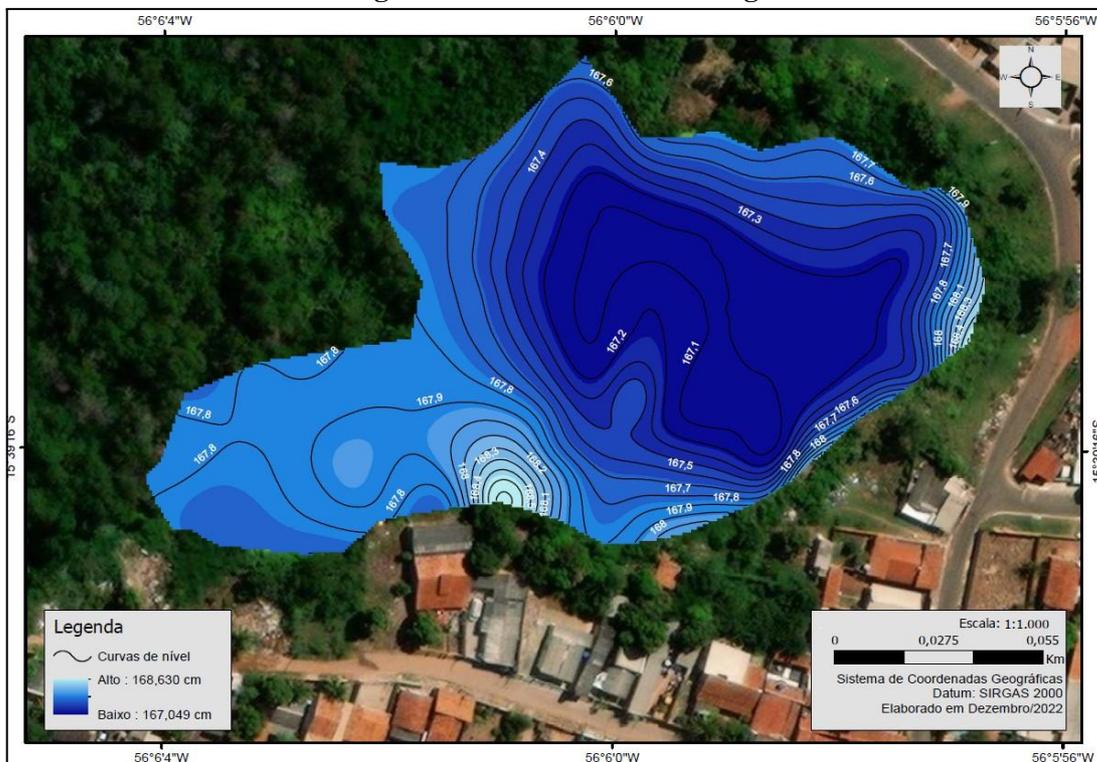
Figura 7 - Detalhe tridimensional da topobatimetria da área de estudo



Fonte: Autoria própria (2023).

Na figura 8 é apresentado o mapa representando o formato das curvas de nível do fundo da Lagoa do Jacaré, essas curvas foram obtidas por meio de interpolação das cotas levantadas em campo, ou seja, medições realizadas diretamente no local.

Figura 8 - Curvas de nível da lagoa



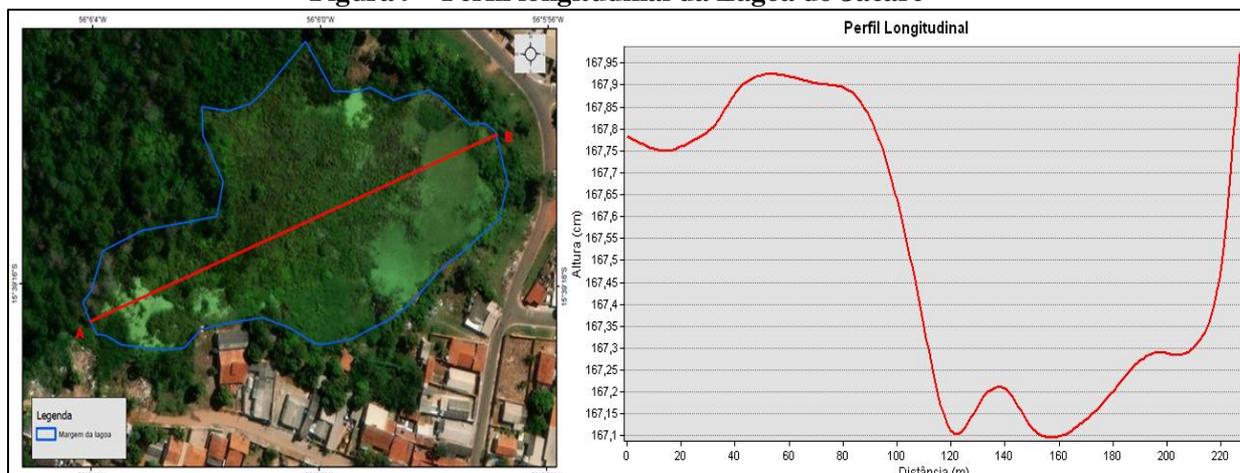
Fonte: Autoria própria (2023).

Para melhor detalhamento entre as distâncias, as curvas de nível estão espaçadas em intervalos de 0,1 metros. Isso significa que a cada 0,1 metros de elevação, há uma nova curva desenhada.

Essa escolha foi feita devido a profundidade ser baixa e com o intuito de fornecer um nível de detalhamento mais preciso do fundo da lagoa.

A partir das curvas de nível geradas, foi criado um gráfico do perfil longitudinal da lagoa, relacionando a distância horizontal ao longo do seu comprimento com a profundidade, permitindo uma análise precisa das mudanças na profundidade, como é observado na figura 9.

Figura 9 - Perfil longitudinal da Lagoa do Jacaré



Fonte: Autoria própria (2023).

Em seguida procedeu-se à identificação das áreas correspondentes a cada nível topográfico específico. Essas áreas foram determinadas com o auxílio da ferramenta "Storage Capacity, para identificar qual era o valor de cada área e volume entre as curvas.

Com todos os volumes calculados, foi possível determinar a capacidade volumétrica acumulada. Esses volumes acumulados indicam os diferentes níveis topográficos e suas referentes áreas e volumes associados.

Na tabela 3 observando os dados, é possível verificar que a capacidade de armazenamento total da lagoa é de aproximadamente 11600 m³ com base na cota de referência de 167,7 cm. Isso significa que a lagoa pode armazenar essa quantidade de água sem que a mesma ultrapasse sua margem, ou seja, sem transbordar para áreas circundantes.

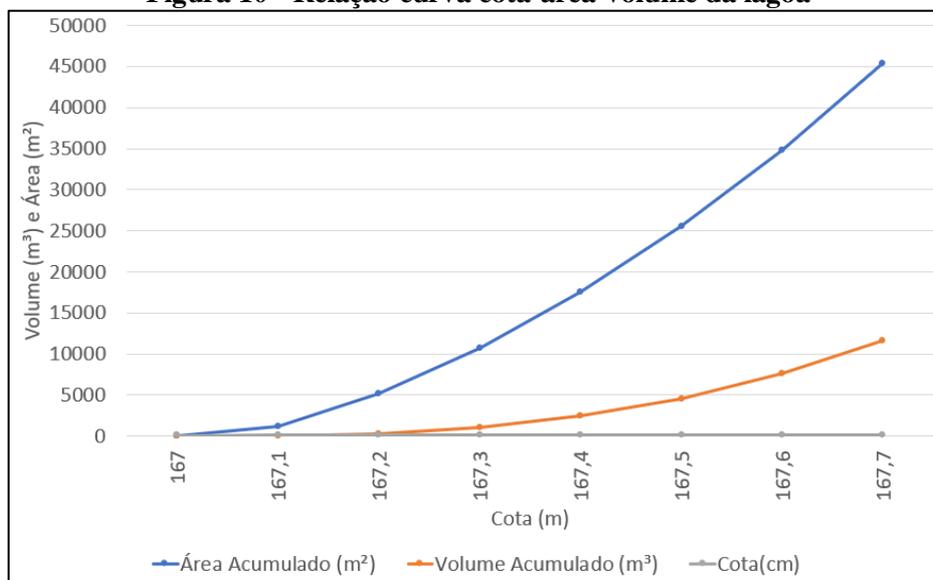
Tabela 3 - Determinação das áreas e dos volumes acumulados na lagoa

Cota(cm)	Área (m ²)	Área Acumulado (m ²)	Altura (m)	Volume (m ³)	Volume Acumulado (m ³)
167	0	0	0	0	0
167,1	1244	1244	0,1	18	18
167,2	3991	5236	0,1	291	309
167,3	5514	10749	0,1	773	1082
167,4	6763	17512	0,1	1386	2467
167,5	8059	25572	0,1	2129	4597
167,6	9279	34851	0,1	2996	7592
167,7	10535	45385	0,1	3985	11578

Fonte: Autoria própria (2023).

Uma vez que os volumes acumulados foram determinados, foi construído um gráfico para visualizar as relações entre as cotas, áreas e os volumes. Esse gráfico, denominado "Cota x Área x Volume", está representado na figura 10.

Figura 10 - Relação curva cota-área-volume da lagoa



Fonte: Autoria própria (2023).

Por meio desse gráfico, é possível observar e analisar as variações das áreas e dos volumes em função das diferentes cotas topográficas. Essa representação visual facilita a compreensão das relações entre essas variáveis e fornece uma visão mais clara das mudanças na área e no volume à medida que as cotas aumentam ou diminuem.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

A capacidade de armazenamento da Lagoa do Jacaré é extremamente importante, pois se encontra em uma região urbanizada, desempenhando um papel fundamental na gestão e no gerenciamento de recursos hídricos, principalmente nessas áreas onde a lagoa está sujeita a interferências antrópicas.

As aplicações das ferramentas de geoprocessamento são fundamentais para identificar e analisar a área em estudo, proporcionando uma melhor compreensão de como é definida a delimitação da microbacia da Lagoa do Jacaré, suas características fisiográficas, tipos de uso e ocupação do solo, capacidade volumétrica da lagoa entre outras.

Essas informações são essenciais para a tomada de decisões relacionadas à capacidade de armazenamento de água com o intuito de amortecimento de cheias, identificando qual a sua capacidade de armazenamento, conservação do ecossistema no local, planejamento urbano com a finalidade de evitar ocupações de forma irregular em torno da lagoa.

Na geração das curvas de nível do fundo da Lagoa do Jacaré e do modelo de superfície, é possível reconhecer que a mesma possui uma capacidade de armazenamento de água reduzida, isso se deve a grande quantidade assoreado, potencializando ainda mais o risco de enchentes e inundações em torno da área de estudo.

Como recomendação para estudos futuros, sugere-se a utilização de cenários de remoção de sedimentos em conformidade com os pontos de acúmulo apresentados nas curvas de nível valendo-se das ferramentas aqui apresentadas para estimativa retirada do volume de sedimentos. Essa recomendação torna-se possível pois os dados obtidos neste trabalho compõem um banco de informações disponíveis em endereço eletrônico: <https://lagoadojacare.com.br/>

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, J. M. B. e cols. **Climatologia de precipitação convectiva no Nordeste do Brasil com base em um conjunto de dados de reanálise**. *Jornal do Clima*, v. 32, n. 2, pág. 539-556, 2019.

AUTODESK. **Surface Volume**. Disponível em:

<https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2021/ENU/?guid=GUID-20DD4422-EC0D-4537-870F96C62AD66790>. Acesso em: 14 abr. 2023.

BATISTA, A. P. *et al.* Capacidade de suporte ambiental de lagoas urbanas: **O caso da Lagoada Pampulha**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 1, pág. 71-80, 2017.

CÂMARA, G. M. S. *et al.* **Avaliação da qualidade da água do Rio Anil (São Luís - MA) a partir de análises físico-químicas e de interpolação dos dados de profundidade**. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 8., 2020, São Luís. Anais [...]. São Luís: Universidade Federal do Maranhão, 2020.

COELHO NETTO, A. L.; DE OLIVEIRA, P. T. S.; DE CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Hidrologia aplicada**. Viçosa, MG: UFV, 2018.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

ESRI. (2021). **How Kriging works**. Disponível em:

<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-kriging-works.htm>. Acesso em: 12 mar. 2023.

ESRI. **Surface Volume**. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d/analyst/surface-volume.htm>. Acesso em: 14 abr. 2023.

FURQUIM, S. A.; REZENDE, R. **Estrutura da bacia hidrográfica**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 61-78.

GONÇALVES, F. A., SILVA, R. S., & PEREIRA, J. S. (2017). **Análise espacial do**

crescimento diamétrico de árvores de eucalipto usando geoestatística. Ciência Florestal, 27(2), 617-629. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/1980509827748>. Acesso em: 12 mar. 2023.

LIMA, C. C. A. **Análise comparativa de métodos de interpolação de dados espaciais em modelagem hidrológica.** Revista do Departamento de Geografia, v. 33, p. 129-144, 2018.

LIMA, L. R. *et al.* **Capacidade volumétrica de lagoas naturais em áreas urbanizadas: revisão da literatura.** In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2021. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2021. p. 1154-1160.

MARENGO, J. A. *et al.* **Mudança futura do clima na América do Sul no final do século XXI: intercomparação de cenários de três modelos climáticos regionais.** Dinâmica do Clima, v. 38, n. 9-10, p. 1829-1848, 2012.

MENDONÇA, T. M. e cols. **Caracterização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho em Goiânia-GO.** In: VII Encontro Nacional sobre Gestão Ambiental na Indústria, 2020. Ministério do Meio Ambiente. (2022). **Inundações e deslizamentos.** Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/ultimas-noticias/entenda-a-diferenca-entre-os-tipos-de-desastres-naturais-e-tecnologicos-registrados-no-brasil>. Acesso em: 01 mar. 2023.

NUNES, L. H. S. *et al.* **Análise comparativa do comportamento hidrológico de duas bacias hidrográficas urbanas no Sudoeste Goiano.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 2, pág. 153-166, 2014.

PAIVA, J. M. B. **Geoprocessamento aplicado à análise hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica do córrego São Gonçalo, Alto Paranaíba - MG.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

PINTO, F. A. F. *et al.* **Análise do escoamento superficial em área urbana: estudo de caso no bairro de Nova Descoberta, Recife-PE.** In: **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2016, Vitória.** Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2016.

SALATI, E.; MARQUES, J. **Ciclone na Amazônia e a situação da floresta.** Biotrópica, v. 18, n. 2, pág. 126-135, 1986.

Serviço Geológico do Brasil. (2021). **Inundações**. Disponível em:
<https://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Geologia-de-Engenharia-e-Geotecnia/Inundacoes-7104.html>. Acesso em: 03 mar. 2023.

SHARMA, A., ZHANG, L., & CHEN, X. (2020). **Influência da morfologia da bacia hidrográfica na resposta hidrológica**: uma revisão. *Journal of Hydrology*, 590, 125502.

SILVA, A. R. de C. B. **Monitoramento Hidrológico e Determinação dos Atributos Físico-hídricos do Solo de uma Microbacia do Rio São Lourenço**. 2012. Dissertação (Mestrado Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá-MT, 2012.

SILVA, D. G. D., FONSECA, V. B. D., GOMES, D. D. M., & LÔBO, F. A. M. (2018). **Comparação de métodos de interpolação espacial para análise de variáveis meteorológicas em Pernambuco**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(3), 200-206. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p200-206> Acesso em: 05 abr. 2023.

SILVA, J. A. e cols. Escoamento superficial em áreas urbanas: **influência das características do solo e do revestimento de pavimentos**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 23, n. 10, pág. 671-678, 2019.

SILVEIRA, A. L. L. da. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.

SOUZA, L. R. B. *et al.* **Dinâmica da água em bacias hidrográficas**. In: II Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos - II ENES, 2016.

SOUZA, W. L. *et al.* Erosão hídrica em estradas vicinais: **análise do escoamento superficial e transporte de sedimentos**. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n. 3, pág. 1 a 10 de 2020.

SILVA, A. M.; MELLO, C. R.; **Apostila de Hidrologia**. Universidade Federal de Lavras-MG, 2008. Disponível em:
<http://www.deg.ufla.br/Irriga%C3%A7%C3%A3o/Disciplinas/ENG%20170/> Acesso em: 06

mai. 2023.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2021). **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2021**. Disponível em: <https://gar.undrr.org/en/2021-chapter-1-introduction-context-and-overview-disaster-risk-reduction>. Acesso em: 11 mar. 2023.

VÁRZEA GRANDE. (2007). **Plano Diretor Participativo**. Várzea Grande-MT: Prefeitura Municipal de Várzea Grande.