



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO
EM ENGENHARIA CIVIL (SANEAMENTO AMBIENTAL)

DAVID ERMERSON FARIAS EUGÊNIO

USO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DOS
RESERVATÓRIOS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE.

FORTALEZA

2024

DAVID ERMERSON FARIAS EUGÊNIO

USO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DOS
RESERVATÓRIOS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia civil em. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro.

Coorientador: Prof. Dr. Luís Henrique Magalhães Costa

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

ESSu Eugênio, David Ermerson Farias.
Uso da regressão linear múltipla na predição do nível dos reservatórios a partir de imagens de satélite /
David Ermerson Farias Eugênio. – 2023.
81 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2023.

Orientação: Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro.

Coorientação: Prof. Dr. Luis Henrique Magalhães Costa.

1. Regressão linear múltipla. 2. Google Engine. 3. Nível de reservatórios. I. Título.

CDD 628

DAVID ERMERSON FARIAS EUGENIO

USO DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA NA PREDIÇÃO DO NÍVEL DOS
RESERVATÓRIOS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 12/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Marco Aurélio Holanda de Castro (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Luís Henrique Magalhães Costa (Coorientador)
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UEVA)

Prof. Dr. Alessandro de Araújo Bezerra
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof. Dr. Paulo Roberto Lacerda Tavares
Universidade Federal do Cariri (UFCA)

A Deus.

A toda minha família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente quero agradecer a Deus por ter me dado sabedoria e determinação o suficiente para que eu pudesse redigir toda essa dissertação, dando-me forças e me iluminando nos momentos de cansaço. Agradeço imensamente todo seu amor e paciência.

Em seguida, agradeço ao meu grande pai, seu José Edvandro Eugênio, este homem que sempre me ensinou como deve ser um caráter de uma pessoa, como um verdadeiro homem deve se portar diante das dificuldades da vida, buscando me ensinar que nas adversidades e obstáculos eu poderia sair vitorioso. Obrigado meu pai por tudo que o senhor fez até hoje por mim e por nossa família.

Agradeço também minha genitora, minha mãe, dona Maria Iraídes Farias Eugênio, mãe esta que sempre cuidou de mim, incentivando-me em todos os momentos da minha vida acadêmica, dando suporte para que pudesse lograr êxito nos estudos. Sempre me dando carinho, atenção e o aconchego do lar. Obrigado mãe por tudo isso, essa conquista é para você e a você eu agradeço por me ajudar a se tornar o homem que sou hoje.

Por conseguinte, um agradecimento todo especial aos meus irmãos, Jonas Matheus Farias Eugênio e Maria de Fátima Farias Eugênio, posso dizer que eles são o motivo do meu sorriso diário, que me dão coragem para enfrentar as dificuldades da vida, com eles eu aprendi o que é verdadeiramente o amor, a amizade e acima de tudo pensar mais no próximo. Amo vocês.

E eu não poderia esquecer da mulher que me acompanha no meu dia a dia, que está sempre comigo me encorajando a me superar cada vez mais nos estudos e na vida profissional, Edilmara Kayt Silveira Fernandes, é com ela que quero passar o resto da minha vida junto de nossas filhas Maíra Fernandes Eugênio e Ravena Fernandes Eugênio. Amo de todo coração vocês três.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Marco Aurelio Holanda de Castro e ao meu coorientador professor Dr. Luís Henrique Magalhães Costa, por toda a paciência que tiveram comigo, orientando-me neste trabalho, diga-se de passagem, eu não teria conseguido se não fosse pela ajuda deles, pela atenção e determinação de me ensinar. Obrigado por todo o ensinamento que me passaram.

A vida assemelha-se a uma fotografia; se não ajustarmos o foco, tudo se torna borrado.

RESUMO

O presente estudo teve como foco principal a aplicação da plataforma Google Earth Engine (GEE) para a delimitação das áreas inundadas em sete reservatórios localizados no estado do Ceará. Essa análise abrangeu distintas datas ao longo do ciclo operacional desses reservatórios. Por meio da utilização dos dados relativos aos níveis de água, adotou-se uma abordagem fundamentada na regressão linear múltipla, direcionada a cada um dos reservatórios em questão. Essa metodologia, complementada pela contribuição do ambiente de programação Scilab, viabilizou a estabelecer vínculos entre a elevação da cota do reservatório, os pixels que compõem a área interna do reservatório e os pixels de contorno (perímetro). Tais relações visaram à criação de uma ferramenta de gerenciamento com notável potencial. Essa ferramenta desenvolvida, por sua vez, ostenta a capacidade de estimar os níveis hídricos correntes nos reservatórios, a partir da análise de imagens obtidas por satélite. Os desdobramentos da análise culminaram na formulação de equações de regressão linear múltipla que exibiram coeficientes de determinação (R^2) que ultrapassaram o valor de 0,89, chegando até 0,99. Esse elevado grau de correlação realça a robustez e a eficácia inerentes à metodologia adotada, notabilizando a associação dos dados da plataforma GEE ao ambiente de programação Scilab.

Palavras-chave: Regressão linear múltipla; Google Earth Engine; Nível dos reservatórios.

ABSTRACT

The present study focused on the application of the Google Earth Engine (GEE) platform for delineating flooded areas in seven reservoirs located in the state of Ceará. This analysis covered various dates throughout the operational cycle of these reservoirs. By using water level data, an approach based on multiple linear regression was adopted for each of the reservoirs in question. This methodology, complemented by the contribution of the Scilab programming environment, facilitated the establishment of links between the reservoir water level, the pixels composing the internal area of the reservoir, and the boundary pixels (perimeter). These relationships aimed at creating a management tool with significant potential. This developed tool, in turn, has the ability to estimate current water levels in reservoirs based on the analysis of satellite images. The outcomes of the analysis led to the formulation of multiple linear regression equations that exhibited determination coefficients (R^2) exceeding 0.89, reaching up to 0.99. This high degree of correlation highlights the robustness and effectiveness inherent in the adopted methodology, emphasizing the association of GEE platform data with the Scilab programming environment.

Keywords: Multiple linear regression; Google Earth Engine; Reservoir level.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Estrutura básica dos reservatórios	16
Figura 2– Gráfico da curva CAV	19
Figura 3– Página do GEE	22
Figura 4 – Matriz do Método Euclidiano	24
Figura 5 - Matriz do Método Cityblock.....	25
Figura 6 - Mapa de cores da Matriz do Método Cityblock.....	25
Figura 7 - Matriz do Método Chessboard.....	26
Figura 8 - Mapa de cores da Matriz do Método Chessboard.....	27
Figura 9 - Regressão Linear Múltipla.....	29
Figura 10 - Localização dos Açudes.....	33
Figura 11 - Localização do Açude Castanhão	34
Figura 12– Nível Histórico do Reservatório Castanhão	35
Figura 13– Açude Edson Queiroz	36
Figura 14 - Nível Histórico do Reservatório Edson Queiroz	37
Figura 15 – Açude Forquilha.....	38
Figura 16– Nível Histórico do Reservatório Forquilha	39
Figura 17– Açude Jaburu I	40
Figura 18– Nível Histórico do Reservatório Jaburu I.....	41
Figura 19– Açude Jaburu II	42
Figura 20– Nível Histórico do Reservatório Jaburu II	43
Figura 21– Açude Lima Campos.....	44
Figura 22– Nível Histórico do Reservatório Lima Campos	45
Figura 23 – Açude Poço do Barro	46
Figura 24– Nível Histórico do Reservatório Poço do Barro	47
Figura 25– Etapas de aquisição e processamento das imagens pelo Google Earth Engine	48
Figura 26– Exemplo de imagem binária.....	51
Figura 27– Exemplo da Matriz gerada pelo código 1	52
Figura 28– Exemplo da Matriz gerada pelo código 2	52
Figura 29– Resumo do processo de criação dos gráficos	53
Figura 30– Gráfico do Reservatório Castanhão	54
Figura 31- Gráfico do Reservatório Edson Queiroz.....	55
Figura 32 – Gráfico do Reservatório Forquilha.....	56

Figura 33 – Gráfico do Reservatório Jaburu I	58
Figura 34 – Gráfico do Reservatório Jaburu II.....	59
Figura 35 – Gráfico do Reservatório Lima Campos.....	60
Figura 36 – Gráfico do Reservatório Poço do Barro	61

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
1.1	Problematização e Contextualização.....	12
1.2	Objetivo geral.....	14
1.2.1	<i>Objetivos específicos</i>	<i>14</i>
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1	Reservatórios	15
2.1.1	<i>Reservatório para controle de cheias.....</i>	<i>16</i>
2.1.2	<i>Reservatório para aproveitamento hidrelétrico.....</i>	<i>17</i>
2.1.3	<i>Reservatório para abastecimento.....</i>	<i>17</i>
2.1.4	<i>Curvas cota-área e cota-volume de um reservatório.....</i>	<i>18</i>
2.2	Google Earth Engine.....	19
2.3	Métodos de cálculo de distância em imagens binárias... ..	23
2.3.1	<i>Método Euclidean.....</i>	<i>23</i>
2.3.2	<i>Método Cityblock.....</i>	<i>24</i>
2.3.3	<i>Método Chessboard.....</i>	<i>25</i>
2.4	Regressão Linear Múltipla.....	27
2.4.1	<i>Coefficiente de Correlação de Pearson</i>	<i>30</i>
2.4.2	<i>Coefficiente de Determinação R².....</i>	<i>31</i>
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Área de estudo.....	32
3.1.1	<i>Açude Castanhão</i>	<i>33</i>
3.1.2	<i>Açude Edson Queiroz.....</i>	<i>35</i>
3.1.3	<i>Açude Forquilha.....</i>	<i>37</i>
3.1.4	<i>Açude Jaburu I.....</i>	<i>39</i>
3.1.5	<i>Açude Jaburu II.....</i>	<i>41</i>
3.1.6	<i>Açude Lima Campos.....</i>	<i>43</i>
3.1.7	<i>Açude Poço do Barro.....</i>	<i>45</i>
3.2	Aquisição e processamento das imagens.....	47
3.3	Coleta de dados do nível de água dos reservatórios	49
3.4	Uso do Scilab na leitura de imagens	50
3.5	Uso do programa MATLAB online para o desenvolvimento dos gráficos	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	54

4.1	Açude Castanhão	54
4.2	Açude Edson Queiroz	55
4.3	Açude Forquilha	56
4.4	Açude Jaburu I	57
4.5	Açude Jaburu II.....	58
4.6	Açude Lima Campos	59
4.7	Açude Poço do Barro	60
4.8	Visão Geral dos Resultados.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
	REFERÊNCIAS	65
	APÊNDICE	69
	ANEXO.....	79

1 INTRODUÇÃO

1.1 Problematização e Contextualização

As regiões semiáridas do Brasil, caracterizadas por baixos índices pluviométricos e condições climáticas adversas, enfrentam desafios significativos em relação ao abastecimento de água. Nessas áreas, a disponibilidade de água é frequentemente limitada e sujeita a variações imprevisíveis, tornando o monitoramento dos recursos hídricos uma questão de extrema importância e complexidade.

O monitoramento dos recursos hídricos desempenha um papel crucial na coleta de dados em tempo real sobre os níveis dos corpos d'água, a qualidade da água, a quantidade armazenada em reservatórios e aquíferos, bem como as tendências de longo prazo. Essas informações não apenas fornecem uma compreensão mais profunda dos padrões hidrológicos, mas também auxiliam na identificação de ameaças iminentes, permitindo respostas proativas. Por exemplo, ao detectar uma diminuição nos níveis de um reservatório devido a uma seca, as autoridades podem adotar medidas como restrições de uso, incentivo à economia de água e até mesmo realocação de recursos para garantir um abastecimento contínuo.

Diante dessas considerações, diversos fatores estimularam a esfera pública a conceber políticas voltadas para a gestão aprimorada dos recursos hídricos. Nesse contexto, destaca-se o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), um dos pilares de gestão delineados na Política Nacional de Recursos Hídricos. O SNIRH constitui um abrangente sistema de coleta, processamento, armazenamento e recuperação de informações relativas aos recursos hídricos, bem como dos elementos que influenciam sua administração. Na região Nordeste, onde reservatórios abrigam expressivas quantidades de água superficial, o monitoramento desses corpos d'água é indispensável para a gestão hídrica regional.

No cenário cearense, merece destaque a atuação da Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos (COGERH)¹. Esta entidade assume a responsabilidade pela administração das reservas de água no estado, exercendo controle direto sobre 155 açudes de relevância, tanto a nível estadual quanto federal.

Especificamente, a COGERH tem como missão estabelecer um sistema abrangente

¹ Ver mais sobre a COGERH em <https://portal.cogerh.com.br>.

para gerenciamento do abastecimento proveniente de fontes superficiais e subterrâneas. Tal abordagem engloba diversas áreas, incluindo monitoramento de reservatórios e poços, implementação de manutenções, operações relacionadas a infraestruturas hídricas e coordenação de ações entre os usuários.

Além disso, a COGERH desempenha um papel crucial ao informar e compartilhar dados com a comunidade. Isso confere à população um papel de cogestão no que diz respeito aos recursos hídricos, permitindo que decisões de caráter coletivo e consensual sejam tomadas. Adicionalmente, tal interação visa avaliar a política de gerenciamento que deve ser aplicada nas diferentes bacias hidrográficas.

Os recursos hídricos são alvo de monitoramento em escala global por meio de três enfoques principais: medições *in situ*, modelagem e observações via sensoriamento remoto. No entanto, nos últimos anos, houve uma significativa redução no uso de medidores *in situ*, e a tarefa complexa de modelar os recursos hídricos em âmbito global, devido à intrincada interação entre as entradas e saídas, trouxe desafios adicionais.

Nesse contexto, a conveniência do monitoramento hídrico através de sensoriamento remoto, especialmente por meio de satélites, tem emergido como um objetivo de destaque na área de hidrologia para as décadas vindouras. Este direcionamento é respaldado por estudos como os de Alsdorf et al. (2007) e Duan e Bastiaanssen (2013), que ressaltam a importância dessa abordagem devido às suas vantagens em lidar com as limitações previamente mencionadas.

Em dezembro de 2010, a Google introduziu no mercado uma tecnologia denominada Google Earth Engine (GEE). Essa plataforma destaca-se como um sistema de computação em nuvem voltado para o processamento de dados provenientes de satélites e outras fontes espaciais. O GEE possui um catálogo abrangente contendo petabytes de informações orbitais abrangendo um período de mais de quarenta anos. Sua capacidade de processamento e visualização de dados supera significativamente as abordagens tradicionais baseadas em sistemas de informações geográficas para desktop, conforme destacado por Gorelick et al. (2017).

Este trabalho empregou a plataforma Google Earth Engine (GEE) como uma tecnologia de destaque para a extração das áreas inundadas de sete distintos reservatórios em múltiplas datas ao longo de sua operação. Utilizando os dados correspondentes aos níveis de água, a intenção é estabelecer equações de regressão linear múltiplas individuais para cada reservatório. Essas equações estabelecerão uma relação entre a cota de água, os pixels de contorno e os pixels dentro do reservatório.

A meta subjacente é criar uma ferramenta de gerenciamento que forneça como resultado o nível de água presente no reservatório, fundamentada nos pixels do interior do reservatório e o perímetro do mesmo, identificados a partir das imagens de satélite. Essa ferramenta visa aprimorar as operações de gestão, uma vez que, nos casos em que medições convencionais dos níveis de água não possam ser efetuadas por motivos diversos, as equações desenvolvidas terão a capacidade de estimar com precisão os valores correspondentes.

1.2 Objetivo geral

O objetivo principal deste estudo é criar uma ferramenta para o gerenciamento de recursos hídricos. Essa ferramenta será fundamentada em equações de regressão linear múltipla, que permitirão calcular os níveis de água em sete açudes, utilizando dados obtidos através do Google Earth Engine.

1.2.1 *Objetivos específicos*

Os objetivos específicos delineados nesta dissertação são os seguintes:

- Coletar dados de imagens de satélites dos reservatórios estudados por meio do Google Earth Engine;
- Obter os níveis dos reservatórios em estudo a partir do site da COGERH;
- Utilizar o Scilab para integrar os dados das imagens de satélite com os dados da COGERH;

Desenvolver um modelo de regressão linear múltipla, utilizando o Scilab, para estabelecer uma equação que relacione a cota do nível de água, os pixels de contorno (perímetro) e os pixels no interior do reservatório.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Reservatórios

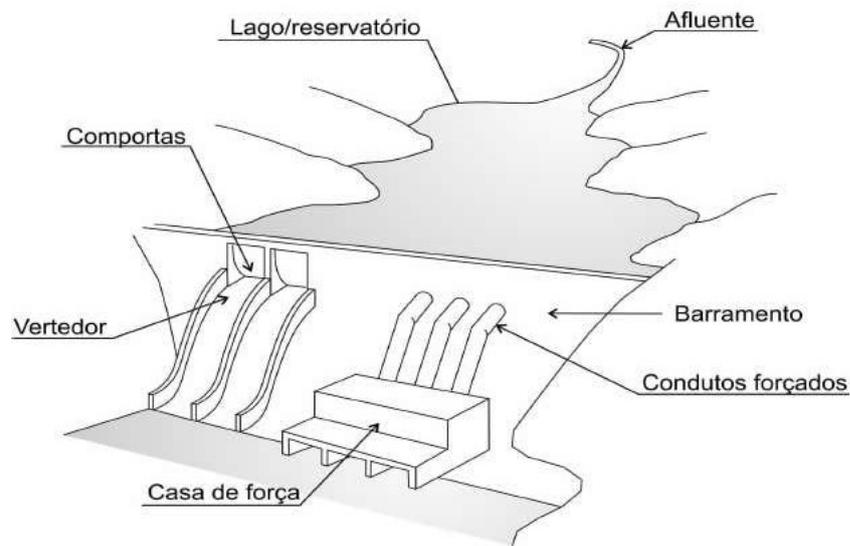
Os reservatórios dizem respeito às construções que visam o armazenamento da água que escoar por um curso d'água. Estas construções podem objetivar diferentes formas de beneficiar a sociedade, porém, quase sempre o interesse é de caráter público-social, como para abastecimento da população, controle de cheias e geração de energia hidrelétrica (MEES, 2020).

Reis e Brandão (2013) apontam que a história da construção de reservatórios pelo mundo está atrelada ao crescimento econômico e populacional da sociedade. Para os autores, com esses fatores, intensificou-se a necessidade de se reservar água em períodos chuvosos para o consumo nas épocas mais secas.

A construção de reservatórios auxilia em necessidades da sociedade, porém, segundo Mees (2020), a sua construção gera impactos os quais devem ser mensurados, analisados e discutidos. Concordando com o autor, Reis e Brandão (2013) comentam que essas construções propiciam o depósito de materiais transportados pelo rio, o que gera elevação do lençol freático na área próxima ao reservatório. Junto a isso, a inundação da área de reserva extingue plantas terrestres e florestas, além de deslocar o habitat natural de animais. Além disso, as construções podem alterar, até mesmo, questões climáticas referentes às áreas próximas a elas. Desta maneira, a construção de barragens e, conseqüentemente, de reservatórios, deve estar ligada a certos cuidados e conhecimentos de seu funcionamento.

Para o entendimento geral de um reservatório, destacam-se os seus principais elementos, os quais são o afluente, o lago/reservatório em si, o barramento, as comportas e vertedor, a casa de força e os condutos forçados (no caso específico de reservatórios de aproveitamento energético). Na Figura 1, consegue-se visualizar os elementos citados.

Figura 1 – Estrutura básica dos reservatórios.



Fonte: Mees (2020).

De acordo com Mees (2020), para aprofundar o conhecimento sobre reservatórios, faz-se necessário o entendimento das suas cotas de níveis característicos. O nível d'água mínimo operacional é, sucintamente, o nível mínimo necessário à operação adequada do reservatório. Em correlação com este nível, está o volume morto, que é o volume do reservatório compreendido abaixo do nível mínimo operacional. Outro conceito, citado pelo autor, é o de nível d'água máximo operacional, o qual diz respeito ao nível máximo permitido para operação normal do reservatório, sem que haja vertimento. Mees (2020) também cita o volume útil, o qual é compreendido entre os níveis máximo e mínimo de operação do reservatório, o volume de espera, correspondente à parte do volume útil que se destina ao amortecimento de ondas de cheia e nível d'água máximo maximorum, que é a sobre-elevação máxima do nível d'água.

2.1.1 Reservatório para controle de cheias

A variação da vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica. Quando essa alteração de vazão acontece em ocupação do leito maior do rio, também chamado de leito maior periódico ou sazonal, entende-se que ocorre uma inundação ribeirinha (MEES, 2020).

Para Reis e Brandão (2013), esta vazão descontínua dos rios apresenta-se, desde sempre, como um problema para atividades que utilizam da água. Assim, a construção de barramentos em cursos de água, conjunta com a criação de reservatórios, visando a regulação de vazões, não

é uma atividade recente à humanidade.

Mees (2020) explica como o processo de inundação é retardado pela presença de um reservatório. Segundo ele, o barramento mesmo reduz o pico de vazão do rio, através do enchimento do volume de espera do reservatório.

2.1.2 Reservatório para aproveitamento hidrelétrico

A primeira usina hidrelétrica do mundo foi inaugurada em 1882, no rio Fox, em Wisconsin, nos Estados Unidos (NUNES, 2020). Estas usinas funcionam através do aproveitamento do desnível criado pela construção da barragem em um rio (NUNES, 2020). A escolha do local para a construção dessa estrutura é realizada buscando-se pontos com maior desnível para a queda d'água, menores comprimentos de barramento e o mínimo de áreas alagadas (MEES, 2020). Para Carvalho (2015), estas usinas são um dos melhores recursos para geração de energia, levando em conta a sua possibilidade de variações rápidas e controladas de geração.

Os reservatórios pertencentes à estrutura de uma hidrelétrica podem ser divididos em dois tipos. O de acumulação, o qual geralmente está localizado em locais de altas quedas d'água e possui grande porte, permitindo o acúmulo de grande quantidade de água, a qual será utilizada como estoque em períodos de estiagem. Enquanto isso, o outro tipo é o fio d'água, o qual gera energia com a vazão natural do rio (MEES, 2020).

2.1.3 Reservatório para abastecimento

Os reservatórios para abastecimento enquadram-se no conceito de mananciais para abastecimento, os quais englobam qualquer corpo d'água superficial ou subterrâneo que será utilizado para a fins humanos, industriais, animais ou de irrigação (MEES, 2020).

O autor também afirma que a escolha de um manancial leva em conta fatores da qualidade da água, quantidade e, além disso, fatores econômicos. Por serem de alto interesse, o autor constata que é necessário elevado cuidado do governo para a manutenção da qualidade desses mananciais. Porém, é de conhecimento geral a frequente degradação das áreas dos mesmos, devido, em maior parte, ao lançamento de lixo doméstico e esgoto neles, sem o tratamento necessário, ocasionando a contaminação da água.

Ao se captar a água de um manancial para abastecimento, fatores como a quantidade de água presente nele e a facilidade de adução desta água devem ser considerados. Junto a isto, a

proteção do manancial também deve ser uma preocupação. Quando o manancial serve para abastecimento, é fundamental que haja conhecimento aprofundado da bacia hidrográfica da qual a água está sendo captada, conhecendo seus fatores físicos, bióticos e socioeconômicos (BRASIL, 2014). Assegurar a qualidade da água do manancial, além de indicar a proteção do mesmo e da população que o utiliza, também possibilita a avaliação dos impactos causados pelas interferências antrópicas em seu ambiente (SILVA et al., 2021).

Para o estudo da água de captação, a realização periódica de inspeções sanitárias na bacia do manancial é de suma importância. Com essas inspeções, devem ser enquadrados os mananciais nos termos ditados pela Resolução CONAMA n° 357/2005, levando em conta o uso do manancial para abastecimento.

2.1.4 *Curvas cota-área e cota-volume de um reservatório*

Normalmente, a capacidade de armazenamento de um reservatório e a área do seu espelho d'água são dadas por equações matemáticas que correlacionam aqueles parâmetros com a sua cota (ou nível). Essas equações matemáticas são comumente chamadas de curvas Cota X Área X Volume.

Os reservatórios são considerados como filtros de sedimentos, os quais, por sua vez, contribuem no processo de assoreamento dos mesmos. A relação da curva CAV é indispensável para a definição de normas operacionais de reservatórios, de análises de disponibilidade e demanda, além de ser utilizada para a determinação de volume de reservatórios, para controle de cheias e abastecimento de água (MATOS, 2012).

O mapeamento da área molhada ocorre por meio de equipamentos denominados ecobatímetros de feixe único (monofeixe) ou de múltiplos feixes (multifeixe), que realizam a medição do tempo decorrido entre a emissão de um pulso sonoro, e a recepção do mesmo após ser refletido pelo fundo do corpo hídrico, amarrado a rede de referência planialtimétrica. A amarração ocorre por meio de um nivelamento geométrico de precisão partindo do RN até o posto de réguas do barramento, a medição do nível da água do reservatório pode ser realizada pela instalação de réguas linimétricas ao longo do reservatório, e/ou pelo monitoramento realizado pela própria Concessionária do empreendimento, em todas as réguas existentes (ANA, 2019).

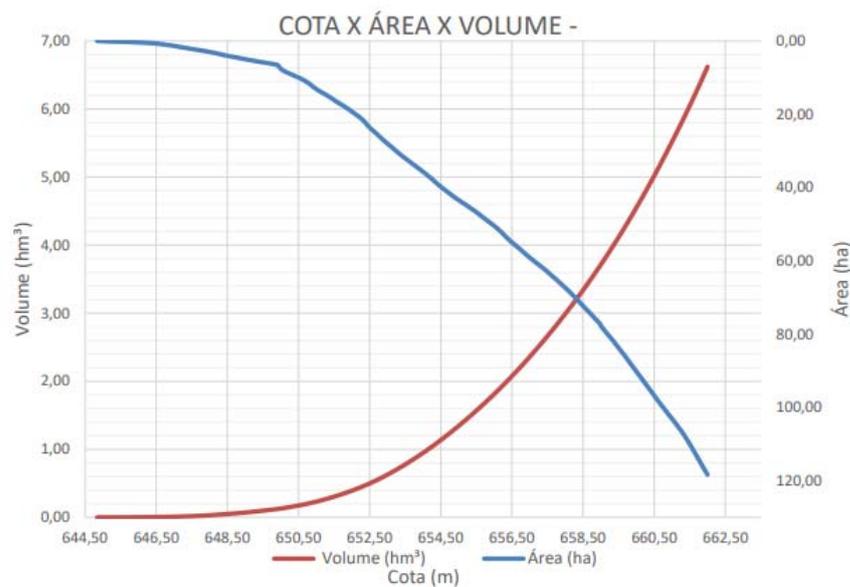
O mapeamento da área seca, pode ser realizado por topografia convencional, GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite), restituição aerofotogramétrica, imageamento por satélite, interferometria radar ou perfilamento laser. O perfilamento a laser, realiza uma

varredura da superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos pulsos emitidos, amarrado a rede de referência planialtimétrica.

A partir dos levantamentos citados, integra-se os dados e gera-se o MDT (Modelo Digital de Terreno) da área total, bem como a extração das Curvas CAV do ponto mais fundo do reservatório até a sua cota de sangria.

Em outras palavras, este método de obtenção da Curva CAV baseia-se em dados provenientes de diferentes técnicas de levantamento de alta precisão (apoio básico e suplementar, modelos geoidais locais, levantamentos batimétricos e perfilamento a laser), que servem de base para elaboração do MDT da área total dos reservatórios, através do qual se realizará a extração das Curvas CAV representada como exemplo na figura 2.

Figura 2 – Gráfico da curva CAV.



Fonte: (KUHNEN, 2020).

2.2 Google Earth Engine

O Google Earth Engine (GEE) é uma plataforma de computação em nuvem desenvolvida pela Google que oferece a capacidade de armazenar, processar e analisar vastos conjuntos de dados geoespaciais. De acordo com Gomes et al. (2023), esta plataforma é amplamente reconhecida como uma das mais abrangentes disponíveis, fornecendo uma variedade de ferramentas para a análise de imagens de satélite, incluindo processamento de séries temporais de imagens, extração de informações geográficas e modelagem de dados espaciais.

O GEE é construído com base em tecnologias de código aberto, como o Google Earth, Google Maps e Google Drive, além de outras ferramentas de processamento e análise de dados espaciais, conferindo à plataforma uma notável flexibilidade operacional. De acordo com Oliveira (2021), o GEE também disponibiliza uma ampla variedade de bibliotecas de programação que permitem aos usuários criar e executar algoritmos personalizados para a análise de dados geoespaciais, adaptando o ambiente de trabalho às necessidades específicas de suas pesquisas.

Uma das principais vantagens do GEE é a sua capacidade de processar e modelar grandes volumes de dados geoespaciais de maneira rápida e eficiente. Conforme observado por Costa et al. (2020), a plataforma possui uma infraestrutura de computação em nuvem escalável, o que permite que os usuários aproveitem essa capacidade de processamento sem a necessidade de investir em infraestrutura própria complexa.

Além do processamento de dados, Albuquerque (2021) destaca a inclusão de uma biblioteca que reúne mais de 40 anos de imagens globais de satélite. Nesta biblioteca, uma variedade de atributos adquiridos por meio das imagens pode ser acessada em um único local, tornando o GEE um ambiente altamente completo para a realização de estudos ambientais. A autora também enfatiza a capacidade de visualização dos dados manipulados no ambiente computacional, o que é valioso para pesquisas relacionadas à detecção remota.

Entre as principais aplicações do GEE, destacam-se a análise do uso da terra, monitoramento de desastres naturais, estudos ambientais e de biodiversidade, além de análises agrícolas e de recursos hídricos. A plataforma também é amplamente utilizada em pesquisas científicas nas áreas de geografia, geologia, ecologia (FERNANDES, 2021.; PERILLA; MASS, 2020; CARVALHO; MAGALHÃES FILHO; SANTOS, 2021)², entre outros.

O acesso aos dados do Google Earth Engine é realizado por meio de uma interface web, disponível para todos os usuários registrados na plataforma. De acordo com Santos (2020), esse acesso envolve o uso de linguagens de programação, como Python ou JavaScript, para criar e executar algoritmos desenvolvidos pelos próprios usuários para a análise de dados geoespaciais.

Além disso, Costa (2020) destaca que a plataforma oferece acesso a uma ampla variedade de fontes de dados, incluindo dados de satélites da NASA, ESA e outras agências

² DOI: <https://doi.org/10.13102/semic.v0i23.6379>

DOI: <https://doi.org/10.14350/rig.59929>

DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-243>

espaciais, bem como dados de sensoriamento remoto coletados por drones e outros dispositivos.

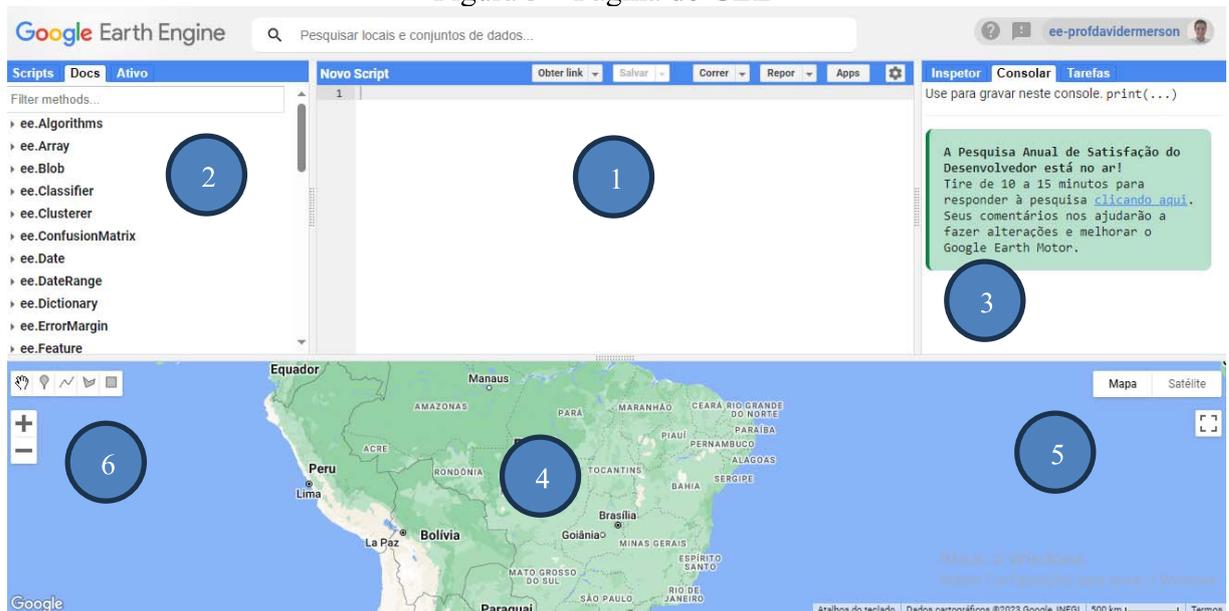
Para acessar os dados, os usuários precisam criar uma conta na plataforma e obter credenciais de acesso. Conforme observado por Souza (2021), uma vez que o acesso é concedido, os usuários podem acessar as informações diretamente por meio da interface web ou por meio de ferramentas de programação, como o Google Colaboratory (uma plataforma em nuvem que permite a manipulação e execução de códigos em Python).

Em relação à aquisição de imagens, é importante mencionar que a plataforma utiliza satélites com diferentes sensores e resoluções espaciais para capturar imagens de recursos hídricos. De acordo com Chaves et al. (2020), o sensor Landsat é um dos principais sensores usados para capturar imagens de corpos d'água, pois permite a identificação de diferentes tipos de superfícies aquáticas.

Após a aquisição das imagens, é necessário realizar o processamento dos dados para analisar elementos relacionados à água. Nesse sentido, a plataforma utiliza algoritmos específicos para identificar corpos d'água e outras características relacionadas, como a vegetação associada a rios e lagos. Conforme explicado por Wang et al. (2018) citado por Barbosa (2019), o uso de algoritmos é fundamental para automatizar o processamento de grandes volumes de dados e garantir a precisão e consistência dos resultados (WANG et al., 2018 *apud* BARBOSA, 2019).

Ao integrar essa quantidade de dados por meio de algoritmos, como destacado por Souza (2021), é possível realizar análises de tendências e padrões relacionados aos recursos hídricos, o que pode ser valioso para a gestão e tomada de decisões. Na Figura 3 é mostrada a estrutura da plataforma do GEE.

Figura 3 – Página do GEE



Fonte: Google Earth Engine (Adaptado pelo autor)

De acordo com a Figura 1 tem-se:

1. **Code Editor:** A janela de programação em JavaScript é capaz de acessar e processar petabytes de imagens de satélites e outros dados publicamente disponíveis. Aqui se cria o script.
2. **Aba de Scripts, Docs e Assets:** A janela à esquerda possui três abas. Em "Scripts", tem-se acesso a exemplos prontos. "Docs" contém a documentação dos principais comandos e funções do GEE, enquanto "Assets" permite armazenar arquivos geo-espaciais no servidor GEE, como imagens e vetores.
3. **Inspector, Console e Tasks:** A janela à direita possui três abas. Em "Inspector" são fornecidas informações sobre camadas ao clicar em um ponto (Figura 1). Em "Console" são impressas informações solicitadas através do comando `print()`, incluindo objetos não espaciais e gráficos. Na aba "Tasks" são geradas tarefas para exportação de dados do GEE para o Google Drive, por exemplo.
4. **IDE Online e Mapa:** Um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) on-line permite visualizar análises espaciais complexas usando a API Javascript. O mapa do Code Editor utiliza a projeção Pseudo-Mercator e datum WGS-84 (EPSG: 3857).
5. **Camadas (Layers):** Aqui se pode manipular as camadas, alterando as configurações de visualização, como paleta de cores e transparência.
6. **Botões para criar Geometrias:** Os botões indicados permitem criar geometrias, como pontos, linhas e polígonos, e editar as características de visualização. Essas geometrias

podem ser usadas no script.

2.3 Métodos de cálculo de distância em imagens binárias

Os métodos de cálculo de distância mais comuns são a euclidean, cityblock e chessboard (ALBUQUERQUE; ALBUQUERQUE, 2002.; COSTA; RODRIGUES; GONZAGA, 2005)³. Essas ferramentas desempenham um papel crucial em diversas aplicações, como análise de imagens e rastreamento de objetos. Elas são fundamentais para medir as distâncias entre pontos de interesse em um contexto de análise espacial e de imagens.

2.3.1 Método Euclidean

A distância euclidiana é uma métrica de distância amplamente usada em várias disciplinas, incluindo matemática, estatística, ciência da computação e engenharia. Ela é chamada de "euclidiana" em homenagem ao matemático grego Euclides, que contribuiu significativamente para a geometria (HOWARD, 2011).

A distância euclidiana calcula a distância entre dois pontos em um espaço bidimensional (ou multidimensional) como a distância mais curta em linha reta entre eles. É a métrica de distância geralmente mais utilizada na geometria tradicional. O cálculo da distância euclidiana entre dois pontos (x_1, y_1) e (x_2, y_2) em um plano 2D, é representado pela equação 1.

Equação Euclidean.

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

Em que:

D = Distância.

x_1 = Coordenada x do primeiro ponto.

x_2 = Coordenada x do segundo ponto.

y_1 = Coordenada y do primeiro ponto.

³ Ver por exemplo: http://www.facom.ufu.br/~backes/publi_peq/toolbox_matlab.pdf e <http://ronaldcosta.inf.ufg.br/sites/ronaldomc/pdf/2005-wvc.pdf>

y_2 = Coordenada y do segundo ponto.

Essa equação é uma aplicação direta do teorema de Pitágoras, em que a distância entre os dois pontos é a hipotenusa de um triângulo retângulo com os segmentos de linha horizontal e vertical formados pelas diferenças nas coordenadas x e y dos pontos.

A distância euclidiana é particularmente útil quando se deseja medir distâncias em linha reta, sem restrições na direção ou na trajetória a ser seguida. É amplamente aplicada em problemas como análise de clusters, classificação, reconhecimento de padrões, otimização de rotas e em muitos outros contextos, onde a distância precisa entre pontos é essencial.

Portanto, a distância euclidiana é uma métrica fundamental em matemática e ciência da computação. Essa relação é representada de forma organizada na Figura 4 na forma matricial. Nela, os valores indicam as distâncias euclidianas entre pontos no espaço bidimensional, considerando a origem no centro. Cada elemento na matriz representa a distância entre os pontos correspondentes, seguindo a fórmula euclidiana.

Figura 4 - Método Euclidiano

$$\begin{pmatrix} & & & 3 & & & \\ & 2\sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & 2\sqrt{2} & \\ & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ & \sqrt{5} & \sqrt{2} & 1 & \sqrt{2} & \sqrt{5} & \\ & 2\sqrt{2} & \sqrt{5} & 2 & \sqrt{5} & 2\sqrt{2} & \\ & & & 3 & & & \end{pmatrix}$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

2.3.2 Método Cityblock

A distância cityblock, também conhecida como distância de Manhattan, é outra métrica de distância amplamente utilizada em diversos campos, incluindo ciência da computação, processamento de imagens e análise de dados. O nome "cityblock" se deve à sua semelhança com a maneira como se navega pelas ruas de uma cidade, onde você deve seguir as grades das ruas, movendo-se horizontal e verticalmente, em vez de diagonalmente.

Essa métrica calcula a distância entre dois pontos em um espaço bidimensional, considerando apenas movimentos ortogonais (horizontal e vertical). A fórmula para calcular a distância cityblock entre dois pontos (x_1, y_1) e (x_2, y_2) é a representada na

maneira como uma peça de xadrez, o rei, se move em um tabuleiro de xadrez, podendo mover-se uma casa em qualquer direção: horizontal, vertical ou diagonal.

A distância de chessboard mede a distância entre dois pontos em um sistema baseado em grade, como um tabuleiro de xadrez, contando o número mínimo de movimentos necessários para um rei de xadrez ir de um ponto a outro. Ela permite apenas movimentos horizontais, verticais ou diagonais, exatamente como o movimento do rei no xadrez. Para calcular a distância de chessboard entre dois pontos (x_1, y_1) e (x_2, y_2) tem-se a equação 3.

Equação Chessboard

$$D = \max (|x_1 - x_2|, |y_1 - y_2|) \quad (3)$$

Em que:

\max = máxima diferença absoluta entre as coordenadas x e y.

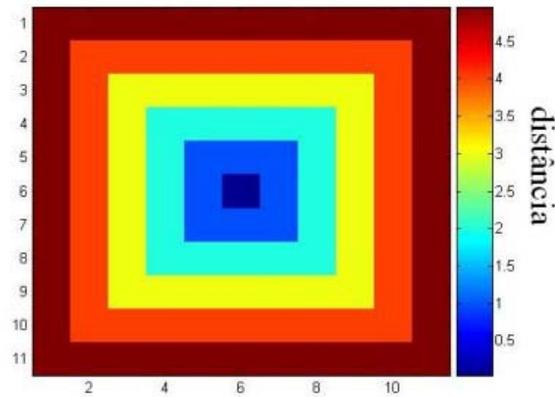
Esse método é particularmente útil ao lidar com problemas baseados em grade, como o planejamento de caminhos em jogos de computador, nos quais é necessário encontrar o menor número de movimentos entre dois pontos em uma grade, considerando apenas movimentos ortogonais ou diagonais exemplificado na Figura 7 e na Figura 8. É uma maneira simples, porém eficaz, de medir distâncias em cenários desse tipo.

Figura 7 – Método Chessboard

$$\begin{pmatrix} 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 1 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 3 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 3 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 & 3 \end{pmatrix}$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 8 - Mapa de cores da Matriz do Método Chessboard



Fonte: Faculdade de Computação – UFU, 2014.

2.4 Regressão Linear Múltipla

A análise de correlação de dados é uma técnica estatística amplamente empregada para avaliar o grau de associação entre duas ou mais variáveis, um aspecto de grande relevância no contexto deste estudo. Ela desfruta de ampla aplicação em pesquisas científicas, análise de dados e em diversas disciplinas das engenharias e das ciências ambientais (WANG, 2020).

Existem diversos métodos para realizar a análise de correlação de dados, os quais envolvem o cálculo de um coeficiente de correlação que varia entre -1 e 1. Quando o coeficiente se aproxima de 1, denota uma forte correlação positiva entre as variáveis, enquanto valores próximos de -1 indicam uma forte correlação negativa.

Por outro lado, um coeficiente próximo de 0 sugere que não existe uma correlação significativa entre as variáveis (WANG, 2020). Vale destacar que a correlação de dados não estabelece uma relação de causa e efeito entre as variáveis analisadas; ela simplesmente indica a presença de uma relação entre elas. Portanto, é imperativo interpretar os resultados da análise de correlação com cautela e, em seguida, conduzir uma investigação mais aprofundada para compreender melhor a natureza dessa relação.

A avaliação da qualidade do modelo de regressão linear múltipla envolve a utilização de dois indicadores essenciais: o coeficiente de determinação (R^2) e o erro padrão da estimativa. O coeficiente de determinação reflete a proporção da variação total da variável dependente que pode ser explicada pelas variáveis independentes incorporadas ao modelo. Por sua vez, o erro padrão da estimativa avalia a dispersão dos valores observados em relação às previsões geradas pelo modelo.

De acordo com Hair Jr. et al. (2018), quando o erro padrão da regressão é baixo e o coeficiente de determinação é elevado, isso sugere que o modelo de regressão é apropriado para explicar a relação entre as variáveis e demonstra sua qualidade na capacidade explicativa.

Uma abordagem eficaz para estabelecer relações entre variáveis envolve o uso do método de regressão linear múltipla. Essa ferramenta estatística permite a investigação da relação entre uma variável dependente e duas ou mais variáveis independentes (HU, 2020).

O primeiro passo na aplicação da regressão linear múltipla é a seleção das variáveis independentes pertinentes. Conforme Kuhfeld (2019), essa escolha pode se basear na literatura relevante, na expertise do pesquisador ou em técnicas estatísticas, como a análise de correlação.

Uma vez definidas as variáveis independentes de interesse, o próximo passo envolve a criação do modelo de regressão. Esse modelo é construído através da estimativa dos coeficientes que melhor descrevem a relação entre as variáveis independentes e a variável dependente. Kutner et al. (2005) explicam que o método utilizado para estimar esses coeficientes é o dos mínimos quadrados, que procura minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre os valores observados da variável dependente e os valores previstos pelo modelo.

Para conduzir uma análise de regressão linear múltipla, é crucial utilizar um modelo matemático que estabeleça a relação entre a variável dependente e as variáveis independentes. O modelo mais comum é representado pela Equação 4:

Regressão Geral da Linear Múltipla

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_px_p \quad (4)$$

Na equação 4, y representa a variável dependente, enquanto x_1, x_2, \dots, x_p são as variáveis independentes. O coeficiente b_0 representa o intercepto da reta, enquanto b_1, b_2, \dots, b_p são os coeficientes de inclinação da reta, cada um correspondente a uma variável independente.

De acordo com Hu (2019), o propósito da regressão linear múltipla é estimar os coeficientes de inclinação da reta relacionados a cada variável independente. Isso possibilita a avaliação da contribuição de cada variável na variação da variável dependente. Tal análise permite identificar quais variáveis exercem maior influência sobre a variável dependente e quantificar a magnitude dessa influência.

É fundamental ressaltar que a regressão linear múltipla pressupõe uma relação linear entre as variáveis independentes e a variável dependente, além da ausência de multicolinearidade, ou seja, alta correlação entre as variáveis independentes. Portanto, é necessário assegurar que os dados atendam a essas premissas antes de aplicar este método estatístico.

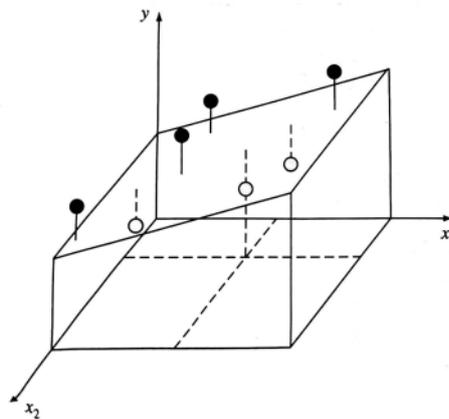
Uma variante da equação 4 surge quando a variável dependente, representada por y , é uma função linear de duas variáveis independentes. A título de ilustração, y pode ser expresso como uma função linear de x_1 e x_2 , conforme apresentado na equação 5.

Regressão Linear Múltipla

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + e \quad (5)$$

Tal equação é particularmente útil para ajustar dados experimentais, para os quais as variáveis sendo estudadas são frequentemente uma função de suas duas outras variáveis. Para esse caso tridimensional, a “reta” de regressão se torna o “plano” de regressão representado na Figura 9.

Figura 9 - Regressão Linear Múltipla



Fonte: (CHAPRA; CANALE, 2008).

Os valores dos coeficientes são obtidos por meio da expressão da soma dos quadrados dos resíduos, derivando em relação a cada um dos coeficientes desconhecidos, conforme ilustrado nas equações 6 à 9.

Soma dos Quadrados dos Resíduos

$$S_r = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i})^2 \quad (6)$$

Derivada da Soma dos Quadrados dos Resíduos em Relação a_0

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_0} = -2 \sum (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i}) \quad (7)$$

Derivada da Soma dos Quadrados dos Resíduos em Relação a_1

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_1} = -2 \sum x_{1i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i}) \quad (8)$$

Derivada da Soma dos Quadrados dos Resíduos em Relação a_2

$$\frac{\partial S_r}{\partial a_2} = -2 \sum x_{2i} (y_i - a_0 - a_1 x_{1i} - a_2 x_{2i}) \quad (9)$$

Os coeficientes fornecendo a soma mínima dos quadrados dos resíduos são obtidos igualando-se as derivadas parciais a zero e expressando o resultado na forma matricial representado na equação 10.

Forma Matricial

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_{1i} & \sum x_{2i} \\ \sum x_{1i} & \sum x_{1i}^2 & \sum x_{1i}x_{2i} \\ \sum x_{2i} & \sum x_{1i}x_{2i} & \sum x_{2i}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_{1i}y_i \\ \sum x_{2i}y_i \end{Bmatrix} \quad (10)$$

2.4.1 Coeficiente de Correlação de Pearson

O coeficiente de correlação de Pearson, muitas vezes representado por r , é uma medida estatística que quantifica a intensidade e direção da relação linear entre duas variáveis. Em contextos de análise de regressão, ele é particularmente útil para avaliar a correlação entre a variável dependente e cada variável independente individualmente. A fórmula para o coeficiente de correlação de Pearson é dada pela Equação 11.

Equação de Pearson

$$r = \frac{n(\sum_{i=1}^n y_o y_c) - (\sum_{i=1}^n y_o)(\sum_{i=1}^n y_c)}{\sqrt{[n \sum_{i=1}^n y_o^2 - (\sum_{i=1}^n y_o)^2][n \sum_{i=1}^n y_c^2 - (\sum_{i=1}^n y_c)^2]}} \quad (11)$$

Em que:

n = Número total de observações.

r = Coeficiente de correlação de Pearson

y_o = Valor observado da variável dependente.

y_c = Valor calculado da variável dependente.

A interpretação do coeficiente de correlação de Pearson (r) geralmente segue uma escala que varia de -1 a 1. A Tabela 1 é comumente usada para interpretar o valor absoluto de (r):

Tabela 1– Coeficiente de correlação de Pearson

Valor Absoluto de (r)	Interpretação
$0.8 \leq r \leq 1.0$	Correlação Muito Forte
$0.6 \leq r < 0.8$	Correlação Forte
$0.4 \leq r < 0.6$	Correlação Moderada
$0.2 \leq r < 0.4$	Correlação Fraca
$ r < 0.4$	Correlação Muito Fraca

Fonte: Elaborada pelo autor

2.4.2 Coeficiente de Determinação R^2

O coeficiente de determinação R^2 para uma regressão linear múltipla é calculado da mesma forma que para uma regressão linear simples, mas a interpretação pode ser mais complexa devido à presença de múltiplas variáveis independentes. O R^2 mede a proporção da variabilidade na variável dependente que é explicada pelas variáveis independentes no modelo.

Ao calcular R^2 , o valor resultante estará entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior a proporção da variabilidade na variável dependente que é explicada pelo modelo.

É importante notar que, em regressão linear múltipla, o R^2 pode aumentar mesmo quando variáveis irrelevantes são adicionadas ao modelo, devido à natureza da fórmula. Portanto, é frequentemente recomendado usar o R^2 ajustado ao avaliar modelos com diferentes números de variáveis independentes. O R^2 ajustado leva em consideração o número de variáveis no modelo e penaliza modelos mais complexos que não adicionam significativamente para explicar a variabilidade na variável dependente.

3 METODOLOGIA

Em termos abrangentes, o presente trabalho tem como objetivo estabelecer uma correlação entre os dados provenientes de imagens de satélite e as cotas de água em reservatórios. Isso será realizado por meio da aplicação de um modelo de regressão linear múltipla. A metodologia adotada para esta pesquisa se inspira no trabalho conduzido por Albuquerque (2021), o qual propôs uma abordagem dividida em quatro etapas sequenciais.

Na primeira etapa, foram selecionados os reservatórios que constituem o foco deste estudo. Esses reservatórios estão distribuídos pelo território do Estado do Ceará. Na segunda etapa foi dada uma atenção especial à coleta de dados provenientes de imagens de satélite. Esses dados históricos revelaram informações pertinentes sobre as áreas de inundação dos reservatórios, permitindo uma análise das variações nos níveis de enchimento e esvaziamento ao longo do tempo.

A terceira etapa direcionou-se à obtenção de informações concretas acerca dos níveis de água nos reservatórios, juntamente com as áreas correspondentes de inundação. Para isso, foram explorados dados disponibilizados publicamente pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH), responsável pela administração

Por fim, a quarta etapa da pesquisa concentra-se na aplicação de um modelo de Regressão Linear Múltipla. A partir disso, é possível estabelecer uma correlação entre as cotas altimétricas e a configuração do reservatório. Como resultado, uma equação será gerada, proporcionando uma relação quantitativa entre as variáveis mencionadas anteriormente.

3.1 Área de estudo

A seleção dos reservatórios analisados foi realizada com base em critérios estratégicos regionais e na disponibilidade de dados que pudessem ser coletados e processados de acordo com os requisitos do estudo. Foram identificados sete reservatórios que atendiam a esses critérios: o Açude Castanhão, o Açude Edson Queiroz, o Açude Forquilha, o Açude Jaburú I, o Açude Jaburú II, o Açude Lima Campos e o Açude Poço do Barro. Na Figura 10 é ilustrada a localização geográfica de cada um desses reservatórios no estado do Ceará.

Figura 10 - Localização dos Açudes



Fonte: Google Earth (2023).

3.1.1 Açude Castanhão

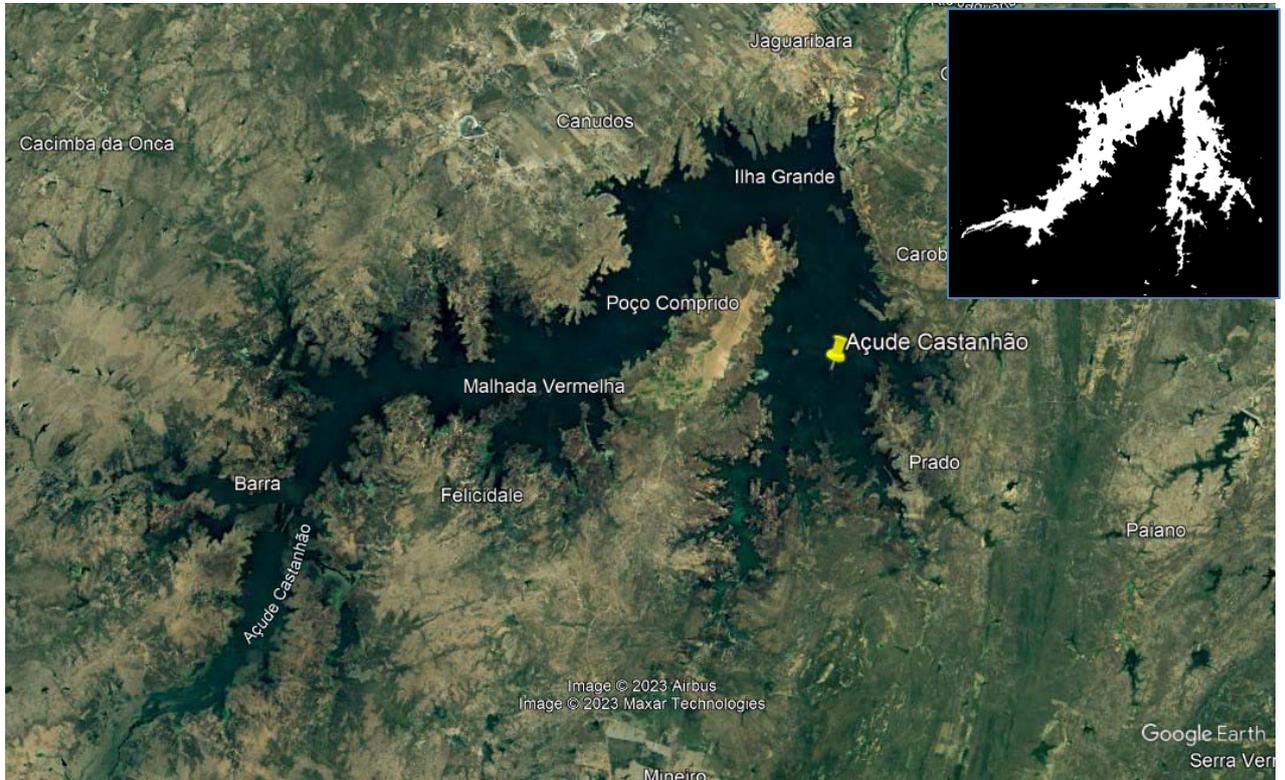
Situado no município de Alto Santo, no estado do Ceará, a bacia do açude Castanhão ocupa uma área de aproximadamente 45.309,63 km² e faz parte da bacia hidrográfica da região do rio Jaguaribe. Segundo a COGERH (2023), o Castanhão destaca-se como o maior reservatório público de múltiplos usos do Brasil, desempenhando um papel fundamental na garantia de segurança hídrica em uma porção significativa do território cearense.

A influência do açude Castanhão se estende por diversos municípios cearenses, tais como Icó, Orós, Pereiro, Jaguaribe, Deputado Irapuã Pinheiro, Milhã, Ererê, Solonópole, Potiretama, Iracema, Jaguaribara, Jaguaratama, Alto Santo, São João do Jaguaribe, Tabuleiro do Norte, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Ibicuitinga, Quixeré, Russas, Jaguaruana, Itaiçaba e Palhano. A maior parte dos rios que alimentam o sistema hídrico do Castanhão são intermitentes, com destaque para o rio Jaguaribe, cuja perenidade é assegurada pelo próprio reservatório (COGERH, 2023)⁴. Como ilustrado na Figura 11, essa ampla área de influência demonstra a importância estratégica do açude para a gestão dos

⁴ Ver mais sobre os reservatórios em <https://portal.cogerh.com.br>.

recursos hídricos na região.

Figura 11 - Localização do Açude Castanhão



Fonte: Google Earth (2023) (Adaptado).

Entre os principais usos do açude Castanhão, destacam-se o fornecimento de água para a população das regiões do Vale do Jaguaribe e da Região Metropolitana de Fortaleza. No entanto, seu papel abrange também outros setores vitais, como a irrigação em áreas produtivas e o suporte à aquicultura, especialmente na carcinicultura e na produção de tilápia, conforme analisado por Takahashi, Silveira e Júnior em 2020.

Em termos de infraestrutura hídrica, o Castanhão possui uma capacidade de armazenamento de 6.700 hm³, com uma vazão regularizada de 30,21 m³/s e uma cota de sangria de 106,0 m. Através da análise do gráfico apresentado na Figura 10, que representa os níveis de água armazenados entre os anos de 2004 e 2022, pode-se observar que o açude nunca atingiu seu nível máximo, aproximando-se desse ponto apenas em 2009. Além disso, em termos de balanço hídrico, desde 2011 o reservatório tem apresentado uma tendência preocupante de diminuição no volume armazenado, culminando em um ponto crítico em 2018, quando atingiu seu menor nível registrado, correspondendo a apenas 2,11% de sua capacidade total.

Figura 12 – Nível Histórico do Reservatório Castanhão



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

3.1.2 Açude Edson Queiroz

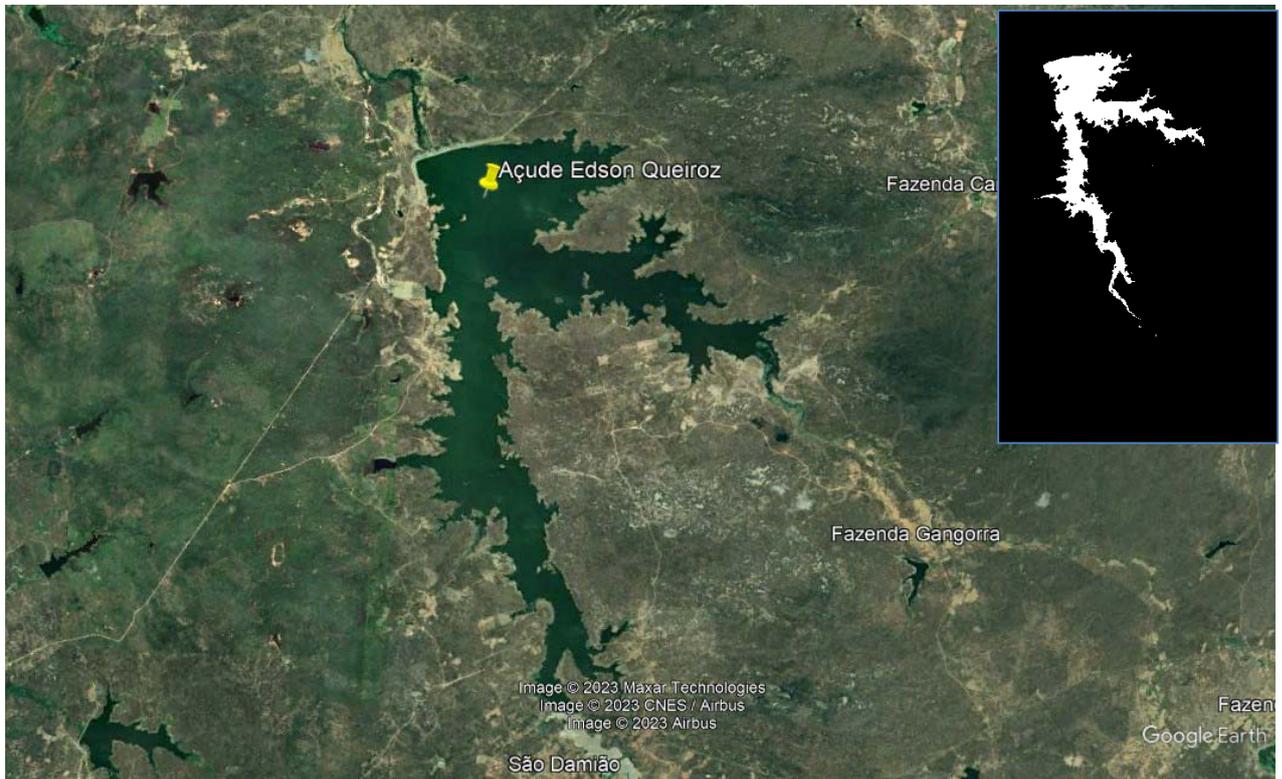
O Açude Edson Queiroz, situado no município de Santa Quitéria, no estado do Ceará, integra o sistema da Bacia do Acaraú. Este reservatório possui uma extensa bacia hidrográfica de 1.777,61 km² e uma vazão regularizada de 2,44 m³/s. Destaca-se sua capacidade de armazenamento, que alcança 254 hm³, e sua cota de sangria de 201,0 m (COGERH, 2023).

Entre os diversos usos atribuídos ao açude, merece destaque o abastecimento de água para consumo humano na sede do Município de Santa Quitéria, bem como o atendimento às pequenas comunidades tanto a montante, onde a captação ocorre na própria bacia hidrográfica, quanto a jusante, onde a captação ocorre no trecho perenizado do rio Groaíras (FUNCEME, 2022). Vale ressaltar que o açude também desempenha um papel essencial no processo de manutenção da vazão do vale do Acaraú durante a estação seca na região, contribuindo para usos como dessedentação animal, irrigação e piscicultura ao longo do vale.

Em relação ao microclima, estudos conduzidos por Meireles, Frischkorn e Andrade (2007) evidenciam que o reservatório se encontra na região mais árida da bacia do Acaraú, caracterizada, na classificação de Köppen, como um clima do tipo BSw'h' (clima quente e semiárido), onde a precipitação média anual é inferior a 800 mm. Além disso, destaca-se o potencial de evaporação média, com um valor mensal médio de 197 mm durante a estação

seca. No entanto, durante a quadra chuvosa, a evaporação reduz-se para uma média mensal de 108 mm. Na Figura 13 é apresentada a localização geográfica deste relevante reservatório no cenário cearense.

Figura 13– Açude Edson Queiroz



Fonte: Google Earth (2023) (Adaptado)

Em relação à disponibilidade hídrica, uma análise da Figura 14, que exibe os níveis de armazenamento do Açude Edson Queiroz em uma série histórica que abrange os anos de 2004 a 2022, revela que o reservatório atingiu sua capacidade máxima nos anos de 2004, 2008, 2009 e 2011. No entanto, desde 2011, o açude tem experimentado uma tendência constante de declínio em seu volume, culminando na situação mais crítica registrada em 2017, quando seu nível chegou a 9,84% da capacidade total. Em 2022, observa-se uma leve inclinação na direção da recuperação, com o reservatório, no mês de maio, alcançando um armazenamento de 69,89%.

Figura 14 - Nível Histórico do Reservatório Edson Queiroz



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

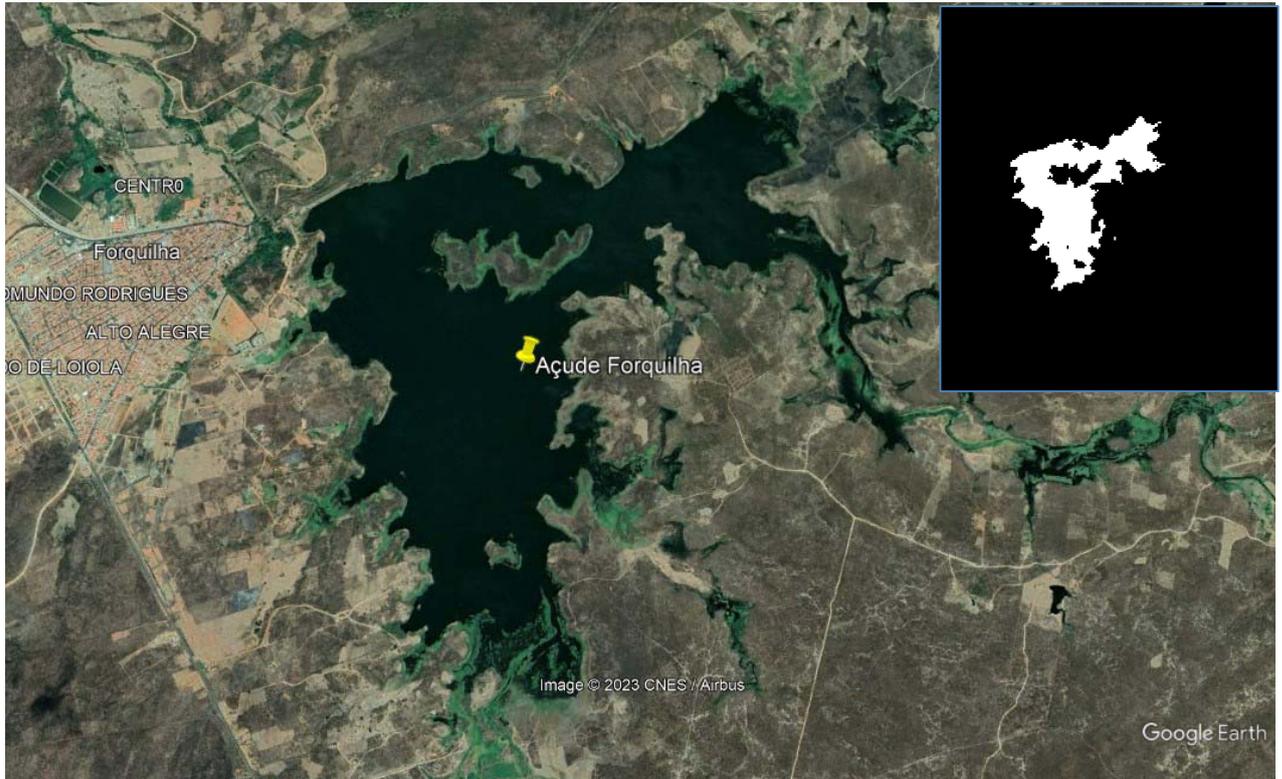
3.1.3 Açude Forquilha

O Açude de Forquilha, situado na região nordeste do Brasil, no Estado do Ceará, representa um recurso hídrico de importância crucial para a área circundante. Localizado nos municípios de Forquilha e Groaíras, este reservatório é resultado do represamento das águas de uma extensa área de drenagem, abrangendo aproximadamente 191,86 km² (COGERH, 2023).

Segundo os dados da COGERH, este açude possui uma capacidade de armazenamento que atinge 50,130 hm³, com uma cota de sangria estabelecida em 111,46 metros acima do nível do mar. Sua função abrange uma variedade de usos, destacando-se, em primeiro lugar, o abastecimento de água para diversos municípios, incluindo Forquilha e Groaíras. Essa função desempenha um papel crucial no atendimento às necessidades humanas da região.

Além disso, o Açude de Forquilha também desempenha um papel importante na promoção da atividade agrícola, em particular na fruticultura. Muitas das fazendas e áreas de cultivo ao redor do reservatório dependem da água captada de sua bacia hidrográfica para irrigação e suporte às atividades produtivas. Na Figura 15 é ilustrada a localização do reservatório Forquilha.

Figura 15 – Açude Forquilha



Fonte: Google Earth e Google (2023) (Adaptado).

Ao analisar a evolução volumétrica de armazenamento do Açude de Forquilha ao longo dos anos na Figura 16, observa-se um padrão semelhante a outros reservatórios da região. Entre os anos de 2008 e 2012, o açude manteve um nível considerável de armazenamento, atingindo sua capacidade máxima em 2009 e 2011. No entanto, a partir de 2012, houve uma tendência de declínio no nível de água, com um ponto crítico atingido em 2017, quando o açude apresentou um armazenamento de apenas 0,77% de sua capacidade total. Desde então, houve um processo de recuperação gradual, culminando em 100% de armazenamento em 2020.

Figura 16 – Nível Histórico do Reservatório Forquilha

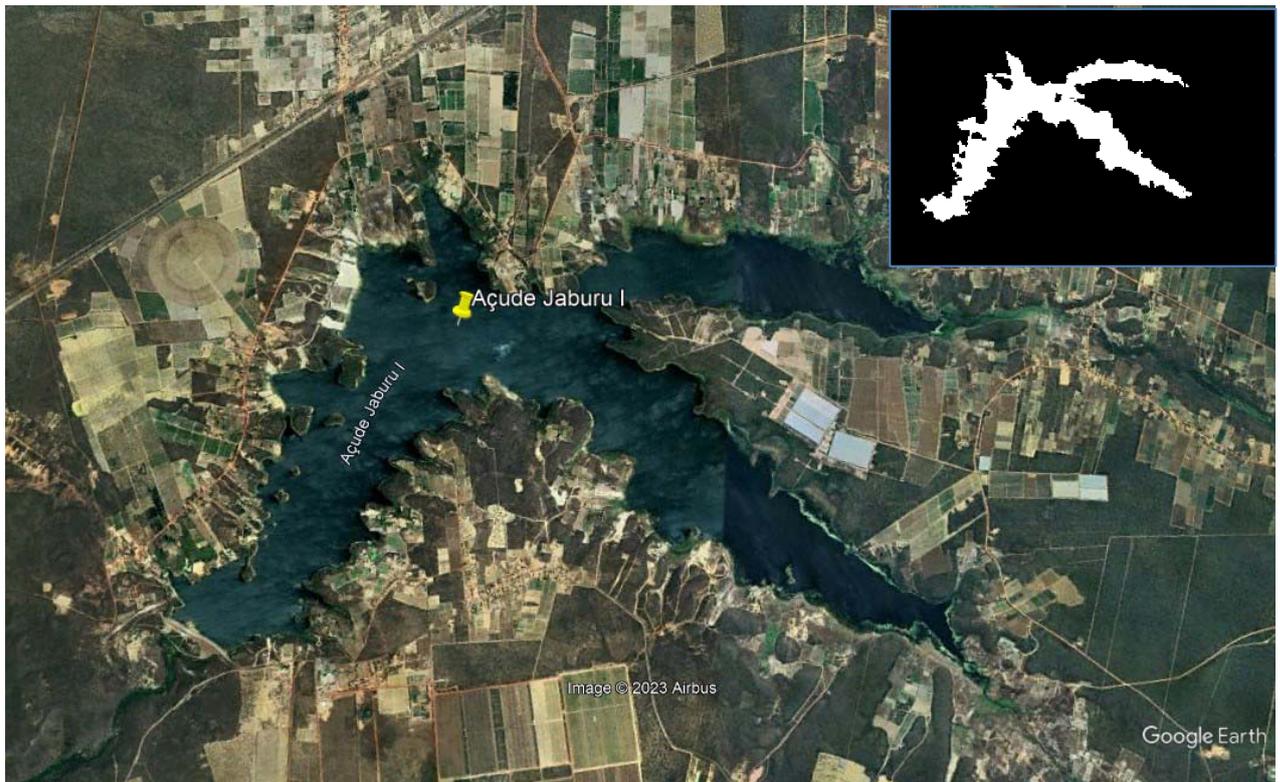


Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

3.1.4 Açude Jaburu I

O Açude Jaburu I desempenha um papel de suma importância na garantia do uso sustentável dos recursos hídricos na região da Serra da Ibiapaba. Situado na porção noroeste do Estado do Ceará, o reservatório encontra-se entre os municípios de Tianguá e Ubajara. Sua formação resulta do represamento das águas do rio Jaburu, em uma área de drenagem abrangendo aproximadamente 314,1 km². Com uma capacidade de acumulação de 140 hm³, o açude conta com uma cota de sangria estabelecida em 716,38 m acima do nível do mar. Na Figura 17 é ilustrada a localização do reservatório Jaburu I (COGERH, 2023).

Figura 17– Açude Jaburu I



Fonte: Google Earth (2023) (Adaptado).

Entre os usos designados para o reservatório, merece destaque o fornecimento de água para as necessidades humanas em diversos municípios ao longo da Serra da Ibiapaba, como Ubajara e Tianguá.

Ao analisar a variação do volume armazenado no Açude Jaburu I ao longo dos anos na Figura 18, observa-se que entre 2004 e 2012, o reservatório manteve um nível considerável de armazenamento, alcançando sua capacidade máxima nos anos de 2004, 2008, 2009 e 2012. A partir de 2012, entretanto, nota-se uma tendência de declínio no volume de água, atingindo seu ponto mais crítico em 2017, quando o açude registrou apenas 12,89% de sua capacidade total. Desde então, verifica-se um processo de recuperação, culminando em 2022 com um volume armazenado de 72,34%.

Figura 18– Nível Histórico do Reservatório Jaburu I



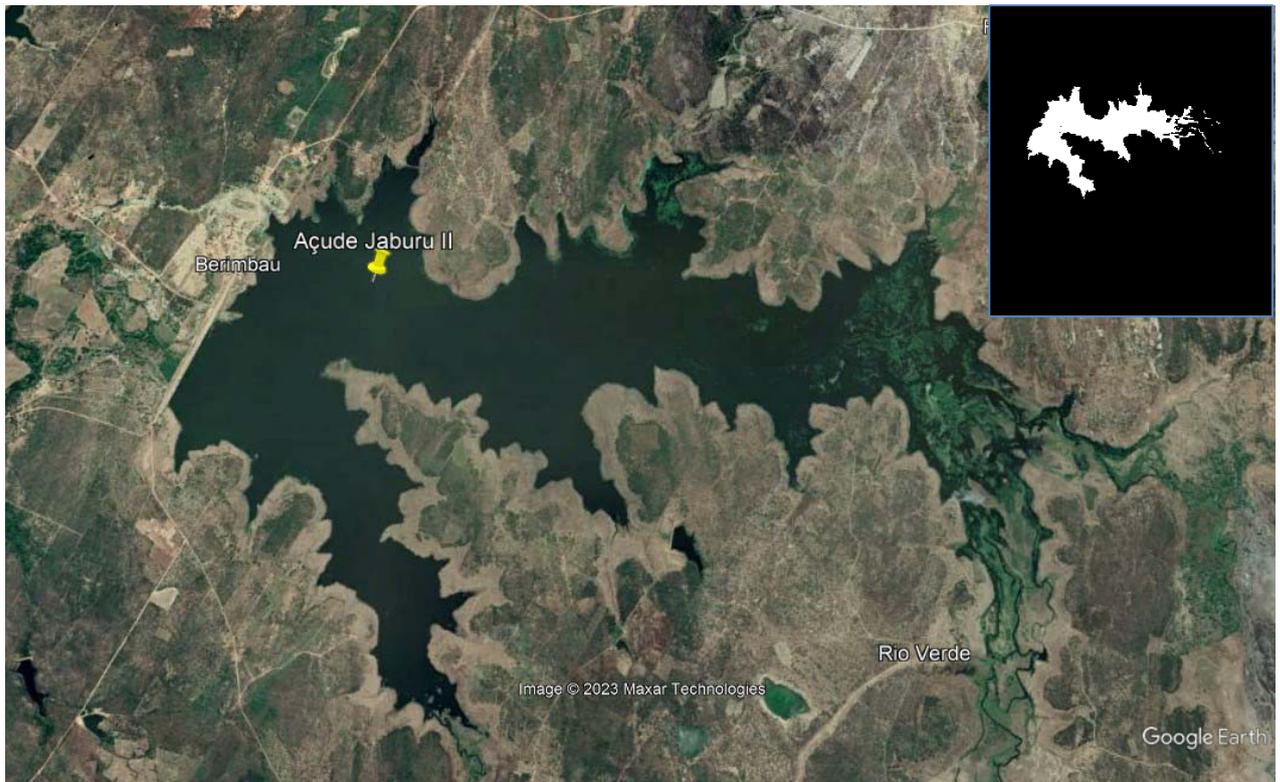
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

3.1.5 Açude Jaburu II

O Açude Jaburu II é um importante reservatório que desempenha um papel significativo na garantia do abastecimento de água e no suporte às atividades agrícolas na região leste, no Estado do Ceará. Localizado entre os municípios de Crateús e Independência, o açude é resultado do represamento das águas do rio Jaburu II, abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 913,5 km².

Este reservatório possui uma capacidade de armazenamento que atinge 75,31 hm³, com uma cota de sangria estabelecida em 310,65 metros acima do nível do mar (COGERH, 2023). Sua principal função é o fornecimento de água para atender às necessidades humanas em várias localidades da região. Na Figura 19 é ilustrada a localização do reservatório Jaburu II.

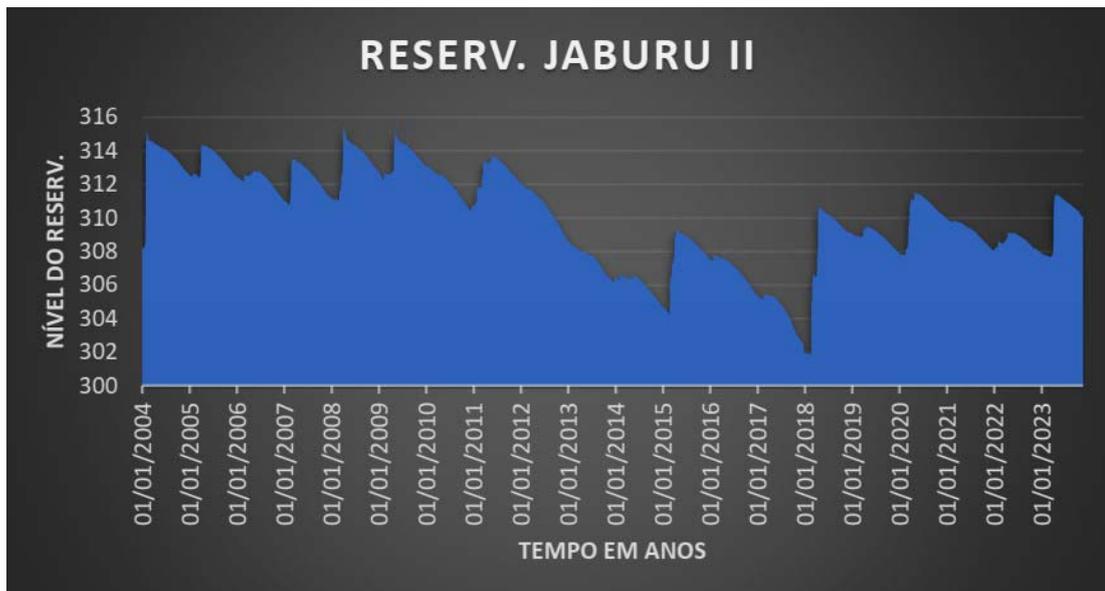
Figura 19– Açude Jaburu II



Fonte: Google Earth (2023) (Adaptado)

Ao analisar a variação do volume armazenado no Açude Jaburu II ao longo dos anos na Figura 20, observa-se que entre 2004 e 2012, o reservatório manteve um nível considerável de armazenamento, alcançando sua capacidade máxima nos anos de 2004, 2008, 2009. A partir de 2010, entretanto, notamos uma tendência de declínio no volume de água, atingindo seu ponto mais crítico em 2018, quando o açude registrou 0,00% de sua capacidade total. Desde então, verifica-se um processo de recuperação lento, culminando em 2023 com um volume armazenado de 38,62%.

Figura 20– Nível Histórico do Reservatório Jaburu II



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

3.1.6 Açude Lima Campos

O Reservatório Lima Campos integra a Bacia do Salgado e está situado na cidade de Icó, no estado do Ceará, a uma distância de 370 km da capital, Fortaleza. Sua construção foi concluída em 1932, e ele represa as águas do Rio São João. Com uma capacidade volumétrica de 51,17 hm³ e uma cota máxima de barramento de 174,52 metros acima do nível do mar, o Reservatório Lima Campos desempenha um papel fundamental na região (COGERH, 2023). Na Figura 21 é fornecida uma representação visual deste significativo reservatório.

Figura 21– Açude Lima Campos



Fonte: Google Earth (2023) (Adaptado).

Conforme evidenciado no gráfico da Figura 22, o reservatório atingiu sua última fase de sangria em 2011 e manteve um nível estável até 2015, com cerca de 50% de sua capacidade volumétrica. No entanto, a partir desse ponto, houve uma redução acentuada, chegando a menos de 20% de sua capacidade volumétrica em 2020. No entanto, é importante notar que após esse ano, o reservatório demonstrou recuperação em sua carga hídrica.

Figura 22– Nível Histórico do Reservatório Lima Campos



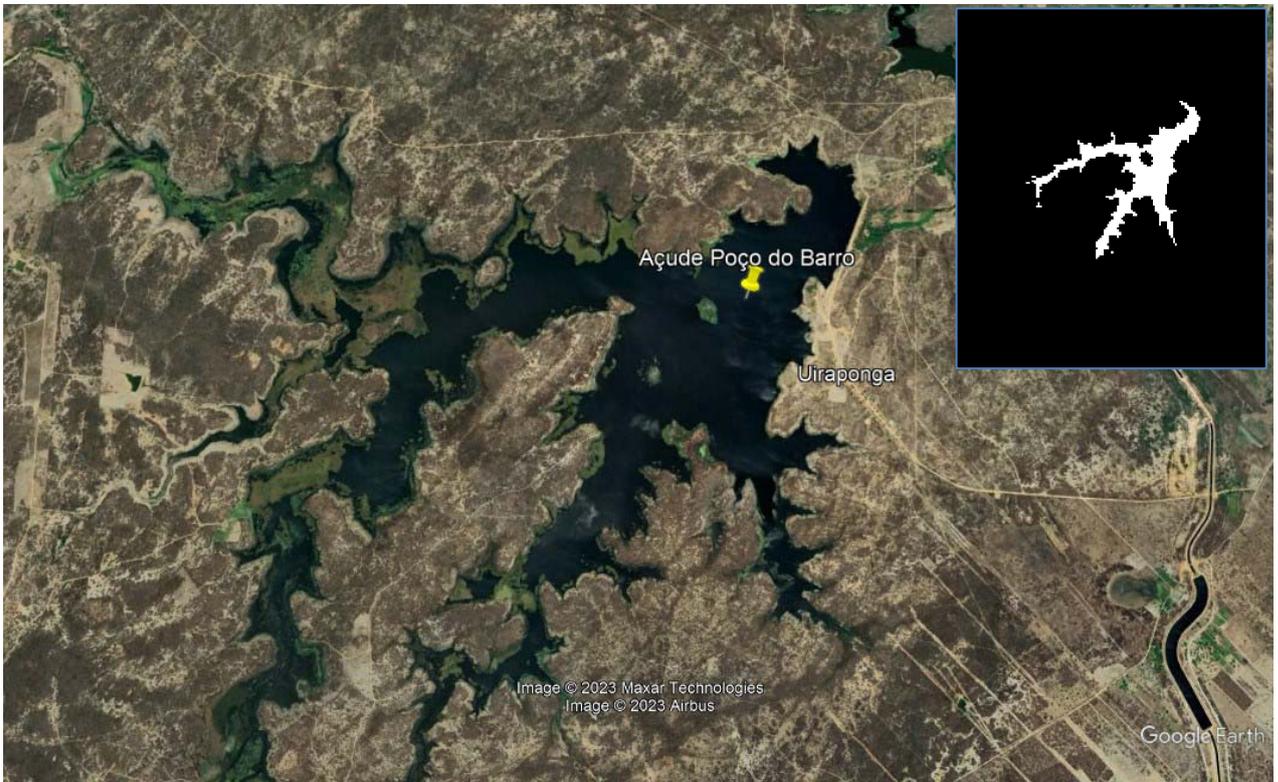
Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

3.1.7 Açude Poço do Barro

O Açude Poço do Barro é um importante reservatório que desempenha um papel significativo na garantia do abastecimento de água e no suporte às atividades agrícolas na cidade de Morada Nova, no Estado do Ceará. Localizado a 170 km da capital do estado, pertence a Bacia do Banabuiú, abrangendo uma área de drenagem de aproximadamente 373,68 km².

Este reservatório possui uma capacidade de armazenamento que atinge 52 hm³, com uma cota de sangria estabelecida em 125 metros acima do nível do mar (COGERH, 2023). Sua principal função é o fornecimento de água para atender às necessidades humanas em várias localidades da região. Na Figura 23 é ilustrada a localização do reservatório Poço do Barro.

Figura 23 – Açude Poço do Barro



Fonte: Google Earth (2023) (Adaptado).

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 24, a última vez que o reservatório transbordou foi em 2009. Desde então, ele enfrentou uma tendência de redução constante em seu volume armazenado até o ano de 2019. A partir desse ponto, observou-se uma recuperação significativa em sua carga hídrica, e atualmente ele atinge 59,47% de sua capacidade.

Figura 24– Nível Histórico do Reservatório Poço do Barro



Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados da COGERH.

3.2 Aquisição e processamento das imagens

Foi verificada a disponibilidade, quantidade e qualidade das imagens de satélite disponíveis na plataforma do Google Earth Engine. A qualidade das imagens está diretamente relacionada à sua eficácia na visualização do reservatório. Imagens de má qualidade podem estar comprometidas pela presença de nuvens que obscurecem completamente a visão do reservatório, bem como pela ocorrência de eutrofização. Por outro lado, imagens de boa qualidade oferecem uma visualização clara e desobstruída do reservatório.

Após uma análise criteriosa, foram selecionadas as sete áreas de estudo para este projeto, levando em consideração tanto a quantidade quanto a qualidade das imagens disponíveis. Na Tabela 2 é apresentada a escolha dos reservatórios com base nas características mencionadas.

Tabela 2 – Dados da coleção de imagens de satélite dos reservatórios em análise

Reservatório	Qualidade das Imagens	Número de Imagens Extraídas
Açude Castanhão	BOA	52
Açude Edson Queiroz	BOA	108
Açude Forquilha	BOA	50
Açude Jaburu 1	BOA	117
Açude Jaburu 2	BOA	52
Açude Lima Campos	RUIM	192
Açude Poço do Barro	RUIM	56

Fonte: Elaborada pelo autor

Após a seleção da área de estudo, a segunda fase do trabalho concentrou-se na extração e no processamento das imagens. Para essa finalidade, foram utilizados dados de satélite do USGS Landsat 5 TM Collection 1 Tier 1 TOA Reflectance, USGS Landsat 7 Collection 1 Tier 1 and Real-Time data TOA Reflectance e USGS Landsat 8 Collection 1 Tier 1 and Real-Time data OLI Raw Scenes. Todos esses dados estavam disponíveis no banco de dados do Google Earth Engine (GEE) e possuíam uma resolução espacial de 30 metros, com revisitas a cada 16 dias.

Através do Code Editor do GEE, foi desenvolvido um algoritmo em linguagem Javascript que possibilitou a extração da área de inundação do reservatório em formato de imagem binária em diversas datas compreendidas entre os anos de 1980 e 2019, com base na imagem do próprio reservatório.

O processamento das imagens foi conduzido por meio da criação de um algoritmo na plataforma Google Earth Engine (GEE), seguindo as etapas delineadas e detalhadas na Figura 25 a seguir.

Figura 25– Etapas de aquisição e processamento das imagens pelo Google Earth Engine



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme apresentado, a primeira etapa do processo envolveu a análise minuciosa de uma vasta quantidade de imagens disponíveis do reservatório na plataforma do Google Earth Engine (GEE). O objetivo era selecionar aquelas em que a presença de nuvens sobre o reservatório fosse insignificante, de modo a não prejudicar a identificação da área de inundação do açude.

Para cada um dos sete reservatórios avaliados, havia um extenso banco de dados de imagens à disposição na plataforma do GEE. Considerando que esses dados abrangiam um período de 50 anos e que as imagens Landsat eram capturadas a cada 16 dias, ficou evidente a riqueza desse acervo de imagens. Portanto, para cada reservatório, procedeu-se à análise individual de todas as imagens, avaliando sua qualidade. No total, foram examinadas e processadas 4.387 imagens para a realização desta dissertação. Esse processo resultou na seleção de um conjunto de imagens de alta qualidade para cada um dos sete reservatórios estudados. Na figura 1 em Anexo é mostrado o algoritmo criado para aquisição e processamento das imagens e foi fundamental para executar essa etapa do trabalho.

Posteriormente, seguiu-se ao processamento da região de estudo, aplicando uma composição das bandas B3, B4 e B5. Isso foi realizado com o objetivo de realçar a fácil visualização da área aquática de cada um dos reservatórios. Cada uma dessas bandas representa níveis de cinza diferentes, e sua combinação permite uma visualização mais clara das áreas de interesse.

Em seguida, delimitou-se o reservatório através da criação de um contorno na imagem. A partir desse contorno, extraiu-se a região que corresponde à área aquática do reservatório e a exportamos em formato binário .tif, mantendo uma resolução espacial de 30 metros. Vale ressaltar que esse processo foi realizado de forma individualizada para cada imagem e levava, em média, o tempo computacional de 20 segundos para ser concluído .

3.3 Coleta de Dados do Nível de Água dos Reservatórios

Simultaneamente à extração da área de inundação de cada um dos reservatórios, de acordo com as datas das imagens, obteve-se os valores do nível da água correspondentes a essas datas por meio do portal hidrológico da COGERH (2020)⁵. Esses dados de nível da água são obtidos por meio de batimetrias.

⁵ Disponível em <www.hidro.ce.gov.br>.

3.4 Uso do Scilab na leitura de imagens

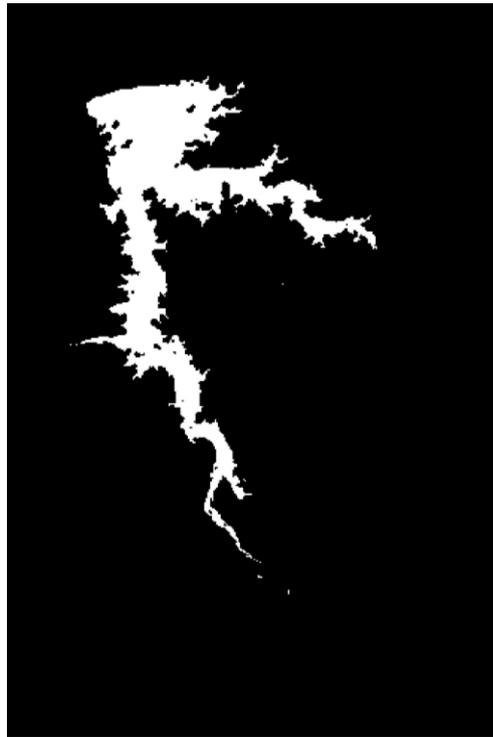
O Scilab é um programa de código aberto amplamente utilizado para computação numérica e análise científica. Ele oferece um conjunto abrangente de recursos para pesquisa e desenvolvimento em várias disciplinas científicas, como engenharia, matemática, física e ciências da computação. Uma das características do Scilab é sua semelhança com o MATLAB, outro software popular em aplicações científicas e de engenharia.

O Scilab é conhecido por sua versatilidade e capacidade de realizar tarefas complexas de análise numérica e simulação. Além disso, ele oferece um ambiente de programação flexível que permite aos usuários criar algoritmos personalizados e implementar técnicas avançadas de processamento de dados.

Para realizar a análise de regressão linear múltipla, desenvolveu-se um algoritmo no software Scilab 5.4.1 que permitiu estabelecer uma equação que correlaciona o nível da água do reservatório com os pixels que compõem o seu contorno, bem como os pixels localizados dentro do reservatório. A escolha do Scilab foi fundamentada em sua capacidade de resolver sistemas de equações de regressão linear múltipla e calcular a distância entre pontos utilizando o método cityblock.

Para atingir esse objetivo, implementou-se um processo dividido em três etapas que simplificou a leitura dos arquivos necessários. Na primeira etapa, foram inseridos dois tipos de arquivos. O primeiro tipo de arquivo consistia em uma pasta que continha uma coleção de imagens no formato .tif, representando a área inundada do reservatório em datas variadas. Essas imagens eram binárias, em que a cor preta denotava a ausência de água (representada pelo valor 0) e a cor branca indicava a presença de água (representada pelo valor 1), conforme ilustrado na Figura 26.

Figura 26– Exemplo de imagem binária



Fonte: Google Earth Engine

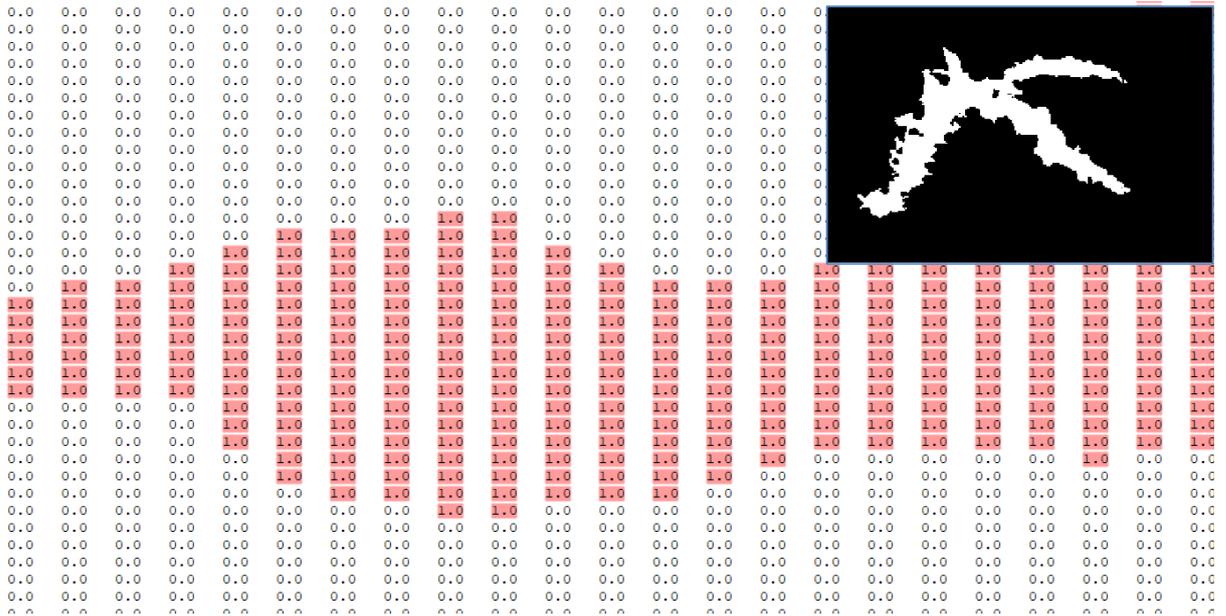
O segundo tipo de arquivo era um arquivo .txt que continha os valores do nível da água correspondentes a cada uma das datas selecionadas para a extração das imagens.

Após a execução do algoritmo apresentado no Código 1 (Figura 8 do Apêndice), a imagem binária localizada na pasta denominada 'tif' foi interpretada e transformada em uma matriz, como ilustrado na Figura 27, na qual cada elemento representava um valor binário presente na imagem, sendo essa matriz armazenada na pasta 'passo 1'.

A partir da execução do primeiro algoritmo, procedemos com a execução do Código 2 (Figura 9 do Apêndice). Esse algoritmo leu as matrizes contidas na pasta 'passo 1' e as reconfigurou, atribuindo o valor 0 a tudo que estava fora do corpo hídrico, o valor 1 à borda do corpo hídrico, e à medida que se aproximava do centro, os valores aumentavam. Isso gerou a Figura 28, e os dados resultantes foram armazenados na pasta 'passo 2'.

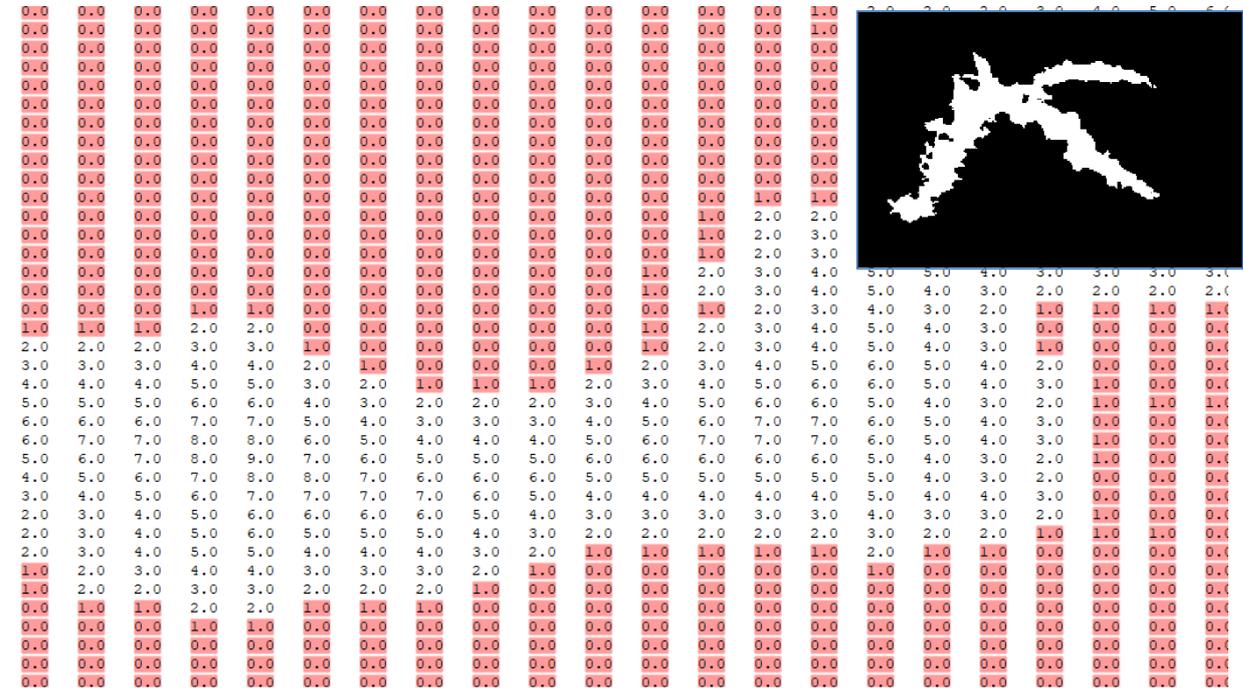
Com os dados organizados na pasta 'passo 2', prossegui-se com a execução do algoritmo apresentado no Código 3 (Figura 10 do Apêndice), que elaborou a equação de regressão linear múltipla com base nos pixels que compõem o contorno do reservatório (perímetro) e os pixels localizados dentro dele. Os resultados desse cálculo foram armazenados na pasta 'passo 3'.

Figura 27– Exemplo da Matriz gerada pelo código 1



Fonte: Elaborado pelo autor com Scilab e Google Earth Engine.

Figura 28 – Exemplo da Matriz gerada pelo código 2



Fonte: Elaborado pelo autor com Scilab e Google Earth Engine.

3.5 Uso do programa MATLAB online para o desenvolvimento dos gráficos

O MATLAB desempenhou um papel essencial devido à sua notável interatividade e eficácia na criação de gráficos de regressão linear múltipla em três dimensões (3D). Essa ferramenta permitiu a exploração detalhada dos gráficos 3D, desempenhando um papel

fundamental na compreensão das complexas relações entre as variáveis independentes e a variável dependente em um espaço tridimensional.

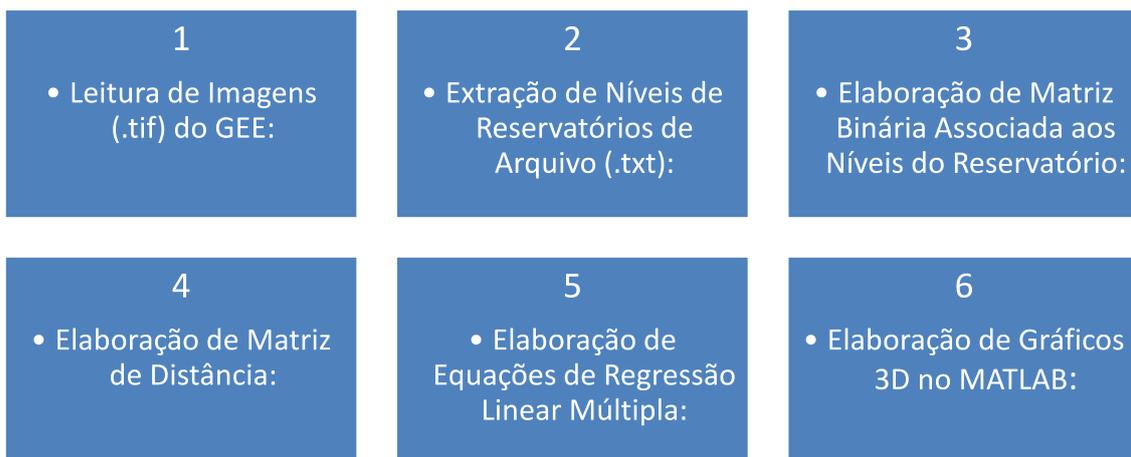
A versão online do MATLAB simplificou consideravelmente o processo de criação desses gráficos, tornando a análise visual mais acessível e facilitando a compreensão das interações complexas entre as variáveis. Essa abordagem se revelou particularmente relevante na análise dos sete açudes investigados neste estudo.

A construção dos gráficos para os açudes envolveu diferentes aspectos, como o nível da água, os pixels de contorno (perímetro) e os pixels contidos dentro de cada reservatório. Essa abordagem permitiu uma visualização detalhada das características de cada corpo hídrico, possibilitando uma análise mais abrangente e precisa de suas variações ao longo do tempo.

Para gerar esses gráficos, desenvolveu-se sete algoritmos, cuja representação está disponível em Apêndice. Esse procedimento resultou na criação de gráficos tridimensionais informativos e elucidativos, enriquecendo a análise dos dados e contribuindo significativamente para a compreensão das complexas interações entre as variáveis investigadas.

Na figura 29 temos um resumo do processo que ocorre no ambiente de programação do SCILAB até a criação dos gráficos na plataforma MATLAB.

Figura 29– Resumo do processo de criação dos gráficos



Fonte: Elaborado pelo autor.

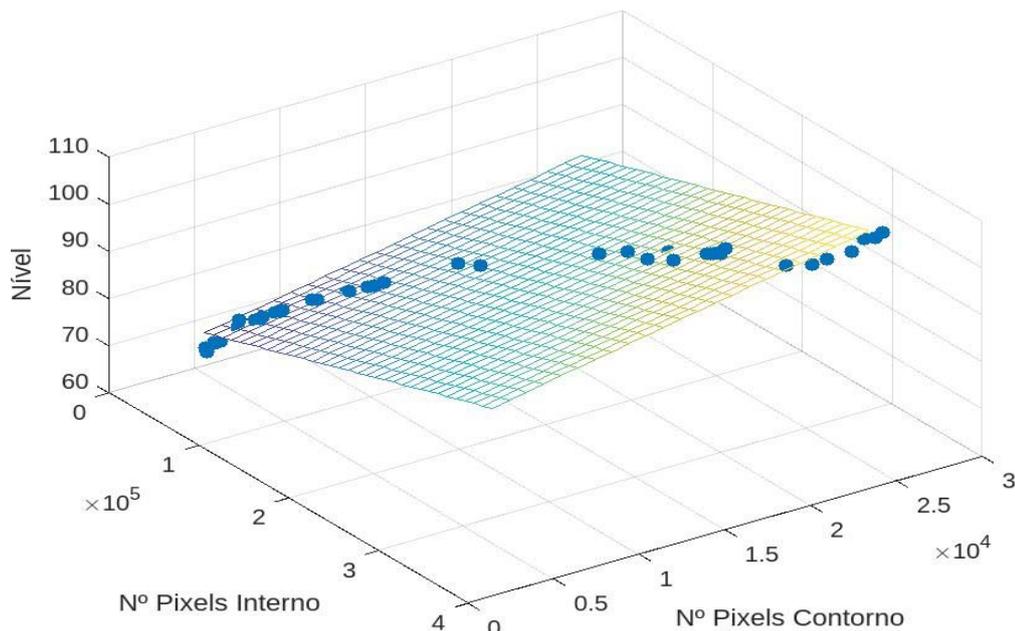
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Açude Castanhão

O reservatório Castanhão, beneficiando-se de imagens de boa qualidade e uma amostra composta por 52 imagens e distância matricial máxima de 96, apresentou uma correlação significativa na pesquisa de Albuquerque (2021), obtendo um coeficiente de determinação (R^2) de 0,9723. No entanto, ao aplicar a análise de regressão linear múltipla, foi possível aprimorar ainda mais a precisão do modelo, alcançando um coeficiente de determinação (R^2) ainda mais robusto, registrando o valor de 0,9782668. Isso ocorreu devido a inclusão de duas variáveis de análise, o que tornou o estudo mais confiável. Mesmo com um número limitado de imagens, o reservatório apresentou uma correlação forte, graças à excelente qualidade das imagens e à clara visualização do corpo hídrico.

Na figura 30 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 30– Gráfico do Reservatório Castanhão



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação 12 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 30:

$$y = 66,7816790 + 0,0000617x_1 + 0,0006702x_2 \quad (12)$$

Onde:

x_1 : Pixels no interior do reservatório.

x_2 : Pixels no contorno do reservatório.

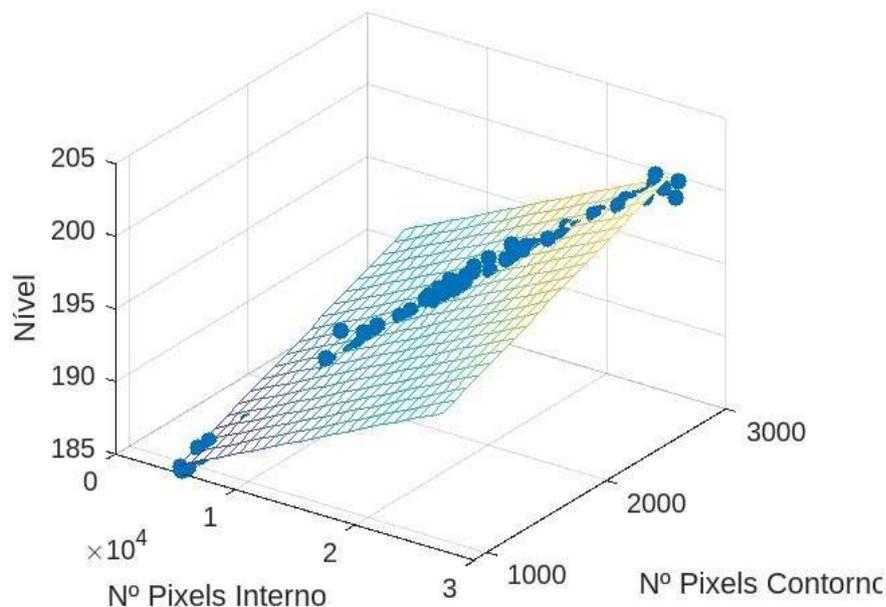
y : Nível do reservatório em metros.

4.2 Açude Edson Queiroz

Utilizando imagens de boa qualidade, uma amostra significativa de 108 imagens analisadas e distância matricial máxima de 38, o modelo de regressão linear múltipla se mostrou altamente eficaz. Este modelo alcançou um coeficiente de determinação (R^2) notavelmente robusto, atingindo o valor de 0,9816240. Esse resultado indica uma correlação muito forte entre as variáveis estudadas e demonstra a capacidade do modelo em explicar e prever variações no nível do reservatório com alta precisão. Isso sugere que as variáveis independentes selecionadas desempenham um papel fundamental na variação do nível de água no reservatório Edson Queiroz.

Na figura 31 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 31- Gráfico do Reservatório Edson Queiroz



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação 13 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 31:

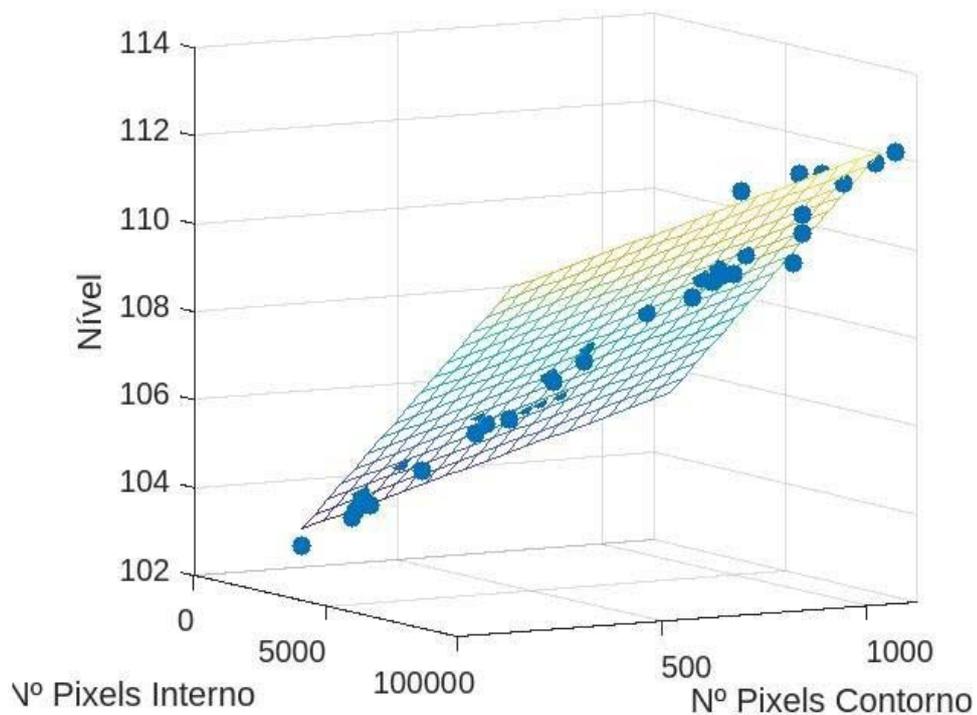
$$y = 180,15963 + 0,0004092x_1 + 0,0035944x_2 \quad (13)$$

4.3 Açude Forquilha

O reservatório de Forquilha, que se beneficiou de imagens de excelente qualidade, uma amostra criteriosamente composta por 50 imagens analisadas em detalhes, e uma distância matricial máxima de 27, revelou resultados notáveis durante a aplicação da análise de regressão linear múltipla. Nesse contexto, o modelo estatístico conquistou um impressionante coeficiente de determinação (R^2) de 0,979942, o que corrobora uma correlação sólida e altamente significativa entre as variáveis em estudo. Esses resultados são altamente promissores, sugerindo que as variáveis independentes selecionadas e a qualidade das imagens desempenham um papel fundamental na formulação de equação de regressão linear múltipla do nível do reservatório de Forquilha.

Na figura 32 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 32– Gráfico do Reservatório Forquilha



Fonte: Elaborado pelo autor

A equação 14 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 32:

$$y = 101,67933 + 0,0008275x_1 + 0,0027155x_2 \quad (14)$$

4.4 Açude Jaburu I

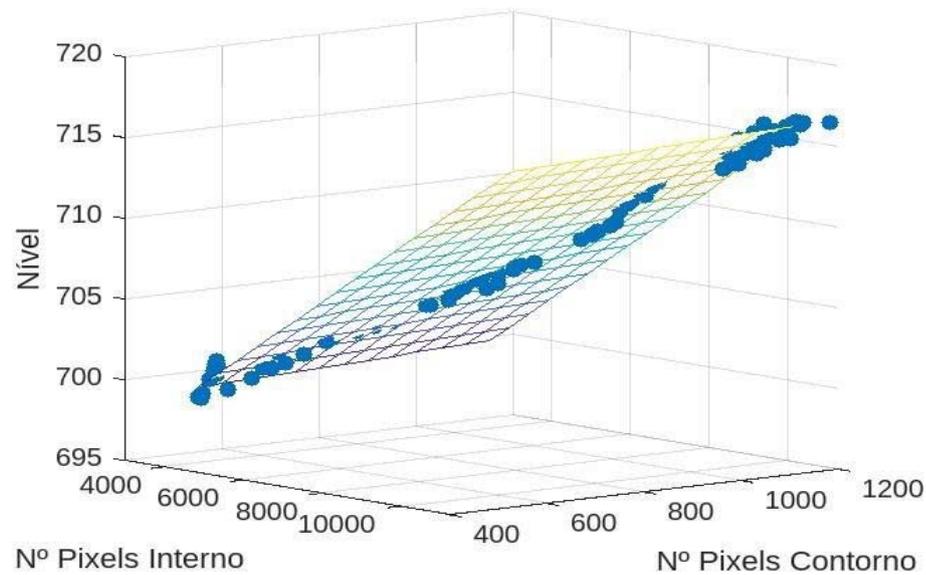
O reservatório Jaburu I, aproveitando-se de imagens de boa qualidade, uma amostra composta por 117 imagens analisadas com rigor e uma distância matricial máxima de 21, revelou uma correlação notável durante a pesquisa conduzida pela engenheira Livia Albuquerque no ano de 2021. Nessa análise inicial, o coeficiente de determinação (R^2) atingiu a marca de 0,9949, destacando a solidez da relação entre as variáveis investigadas.

Entretanto, a aplicação da análise de regressão linear múltipla permitiu um refinamento ainda maior da precisão do modelo. O coeficiente de determinação (R^2) resultante, que alcançou o valor de 0,9951457, demonstrou uma robustez ainda maior na explicação das variações observadas no nível do reservatório Jaburu I. Isso indica que as variáveis independentes selecionadas desempenham um papel fundamental na variação do nível de água nesse reservatório específico.

Esses resultados ressaltam a capacidade do modelo em oferecer uma previsão altamente precisa das variações do nível de água no reservatório Jaburu I, o que é fundamental para a gestão eficaz dos recursos hídricos dessa área. Além disso, eles realçam a importância de boas práticas de análise de dados e a qualidade das imagens utilizadas para garantir resultados confiáveis.

Na figura 33 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 33 – Gráfico do Reservatório Jaburu I



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação 15 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 33:

$$y = 692,07049 + 0,002076x_1 + 0,0012468x_2 \quad (15)$$

4.5 Açude Jaburu II

O reservatório Jaburu II, beneficiando-se de imagens de alta qualidade em sua análise, uma amostra composta por 52 imagens meticulosamente examinadas e uma distância matricial máxima de 30, exibiu resultados notáveis na aplicação da regressão linear múltipla. Inicialmente, o coeficiente de determinação (R^2) apresentou um valor de 0,9782039, demonstrando uma correlação sólida e significativa entre as variáveis em estudo.

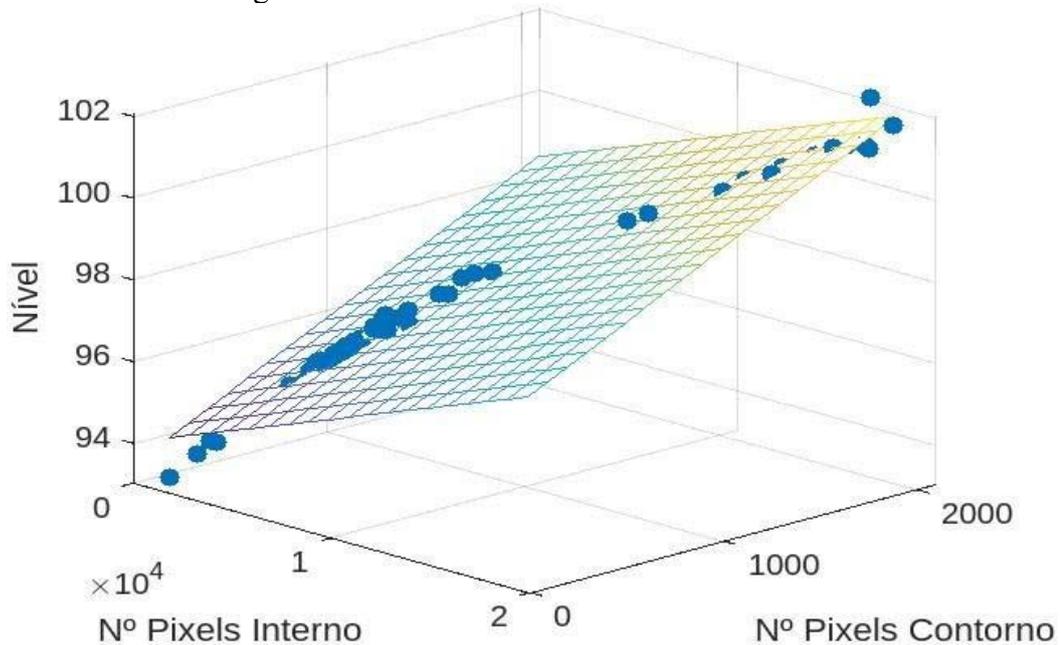
Esses resultados ressaltam a importância das imagens de alta qualidade utilizadas na análise do reservatório Jaburu II. Além disso, destacam a eficácia da análise estatística, que considerou tanto os pixels de contorno quanto os pixels no interior do reservatório, na compreensão da dinâmica para obter o nível de água deste reservatório.

A análise de regressão linear múltipla, ao levar em consideração esses aspectos, fornece insights valiosos sobre como essas variáveis estão inter-relacionadas e contribuem para prever variação do nível de água no reservatório Jaburu II.

Na figura 34 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels

no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 34– Gráfico do Reservatório Jaburu II



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação 16 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 34:

$$y = 93,550364 + 0,0001888x_1 + 0,0023633x_2 \quad (16)$$

4.6 Açude Lima Campos

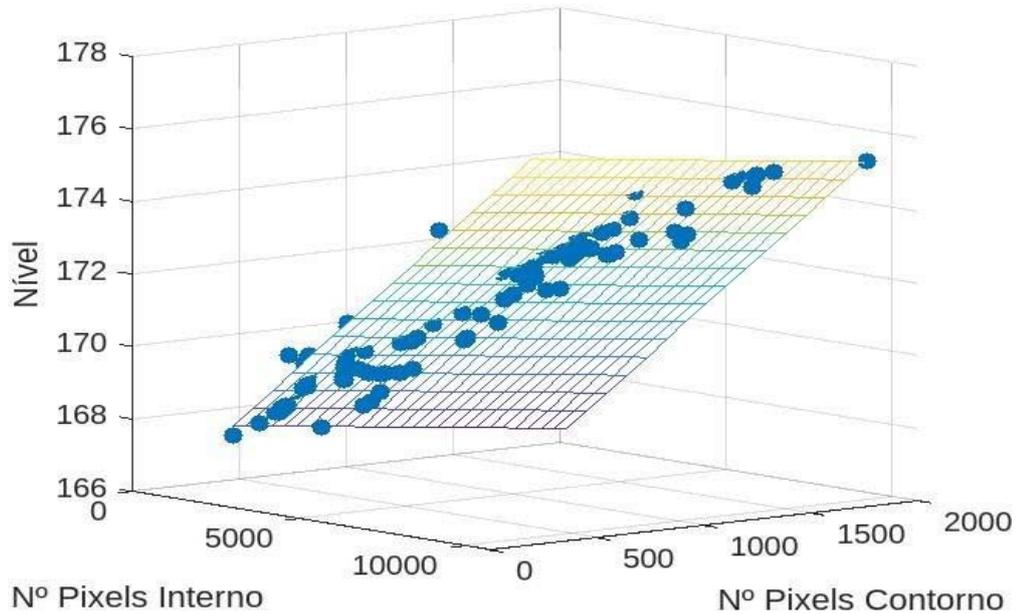
O reservatório Lima Campos enfrentou o desafio de lidar com uma amostra de 192 imagens de qualidade inferior e uma distância matricial máxima de 37 no trabalho realizado por Albuquerque (2021). Inicialmente, registrou um coeficiente de determinação (R^2) de 0,8803. No entanto, ao aplicar a análise de regressão linear múltipla, o modelo estatístico conseguiu aprimorar a precisão das estimativas, elevando o R^2 para 0,897172.

Esse resultado destaca que, mesmo diante das limitações impostas pela qualidade das imagens, a análise avançada do modelo permitiu uma compreensão bastante precisa das relações entre as variáveis envolvidas no estudo do reservatório Lima Campos. A inclusão das variáveis de pixels de contorno e no interior do reservatório no modelo de regressão desempenhou um papel crucial na previsão das variações no nível de água deste reservatório, tornando o modelo estatístico mais robusto e confiável para fins de análise e previsão.

Na figura 35 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels

no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 35– Gráfico do Reservatório Lima Campos



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação 17 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 35:

$$y = 166,47334 + 0,0009669x_1 - 0,0007301x_2 \quad (17)$$

4.7 Açude Poço do Barro

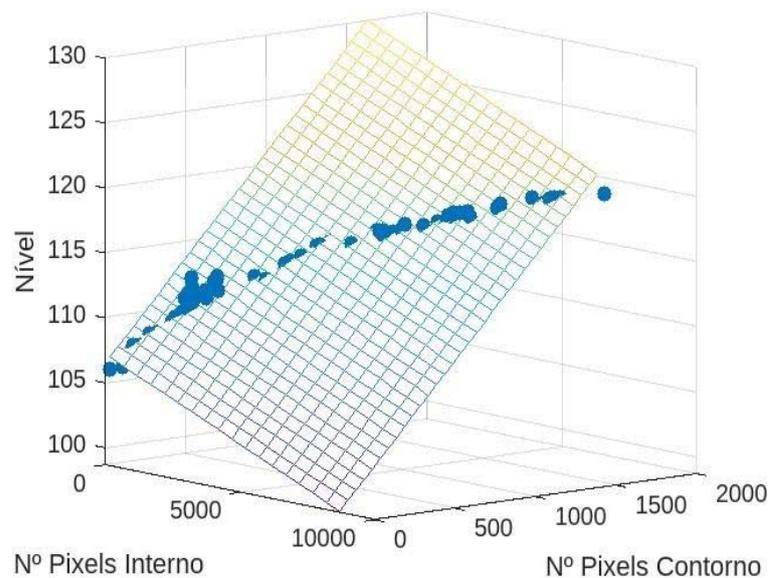
O reservatório Poço do Barro, enfrentando o desafio de contar com uma amostra de apenas 56 imagens de qualidade inferior e uma distância matricial máxima de 21, porém sem grandes incidências de nuvens nas imagens, inicialmente registrou, no trabalho conduzido pela engenheira Lívia Albuquerque em 2021, um coeficiente de determinação (R^2) de 0,8843. No entanto, ao aplicar a análise de regressão linear múltipla, o modelo estatístico conseguiu aprimorar significativamente a precisão das estimativas, elevando o R^2 para 0,933103.

Esses resultados destacam que, apesar das limitações da qualidade das imagens, a análise do modelo proporcionou uma compreensão consideravelmente precisa das relações entre as variáveis envolvidas no estudo do reservatório Poço do Barro. A inclusão de múltiplas variáveis independentes no modelo de regressão desempenhou um papel fundamental na previsão das variações no nível de água deste reservatório, tornando o

modelo estatístico mais robusto e confiável para fins de análise e previsão.

Na figura 36 é representado o gráfico que correlaciona os pixels de contorno, pixels no interior do reservatório e o nível do reservatório.

Figura 36– Gráfico do Reservatório Poço do Barro



Fonte: Elaborado pelo autor.

A equação 18 mostra a correlação do gráfico ilustrado na Figura 36:

$$y = 106,57697 - 0,0009731x_1 + 0,0144308x_2 \quad (18)$$

4.8 Visão Geral dos Resultados

Na Tabela 3 é oferecida uma análise abrangente dos sete reservatórios investigados, destacando a variação nas correlações entre aqueles com imagens de alta qualidade e os que não as possuem, bem como a aplicação de regressão linear simples e regressão linear múltipla. Importante notar que, apesar das divergências nos valores de R^2 , todos se mostraram adequados para o objetivo central desta pesquisa, validando, assim, a eficácia da metodologia e das tecnologias utilizadas.

Tabela 3– Resumo dos resultados.

Reservatório	Qualidade das imagens	Número de imagens extraídas	R ² - Regressão linear simples	R ² - Regressão linear múltipla	R ² - Aumento percentual
Açude Castanhã	BOA	52	0,9723	0,9782668	0,61%
Açude Edson Queiroz	BOA	108	-	0,981624	
Açude Forquilha	BOA	50	-	0,979942	
Açude Jaburu 1	BOA	117	0,9949	0,9951457	0,02%
Açude Jaburu 2	BOA	52	-	0,9782039	
Açude Lima Campos	RUIM	192	0,8803	0,897172	1,88%
Açude Poço do Barro	RUIM	56	0,8843	0,933103	5,23%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta tabela é fundamental para a compreensão do impacto das imagens de alta qualidade e do uso de modelos de regressão linear múltipla na precisão das estimativas dos níveis de água dos reservatórios. Ela ressalta que, embora a qualidade das imagens seja um fator crítico, a inclusão de múltiplas variáveis independentes na análise oferece melhorias substanciais nos resultados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa apresentada neste estudo adotou uma abordagem abrangente na avaliação de reservatórios, fazendo uso de imagens de satélite e técnicas de processamento de dados. A metodologia, que englobou a aquisição e o processamento de imagens pelo Google Earth Engine, a análise de regressão linear múltipla utilizando Scilab e a geração de gráficos tridimensionais no MATLAB, proporcionou uma compreensão profunda das relações entre variáveis cruciais, como pixels de contorno, pixels no interior do reservatório e nível da água.

Os resultados obtidos revelaram percepções valiosas sobre a influência da qualidade das imagens na precisão das estimativas. Reservatórios com imagens de alta qualidade destacaram a importância da clareza nas imagens para análises precisas. A aplicação da regressão linear múltipla ampliou a precisão dos modelos, evidenciando que considerar múltiplas variáveis independentes contribui significativamente para a compreensão das variações nos níveis de água.

O estudo também ressaltou a capacidade do modelo em lidar com desafios, como a presença de nuvens e imagens de qualidade inferior. Mesmo em casos de imagens menos nítidas, a análise avançada possibilitada pela regressão linear múltipla melhorou substancialmente a precisão das estimativas.

Os resultados reforçaram a importância da integração de diversas ferramentas e metodologias, desde a aquisição de dados até a análise estatística, fornecendo uma base sólida para a compreensão das dinâmicas dos reservatórios e sendo essencial para a gestão eficaz dos recursos hídricos.

Em síntese, este estudo validou a eficácia da metodologia empregada, destacando a necessidade contínua de aprimoramento e adaptação de técnicas analíticas para lidar com desafios específicos de cada cenário. O conhecimento adquirido contribui não apenas para a compreensão dos reservatórios estudados, mas também para o desenvolvimento de abordagens mais robustas na análise de recursos hídricos por meio de tecnologias de sensoriamento remoto e ferramentas avançadas de processamento de dados.

Para futuras investigações, sugere-se uma abordagem mais integrada, considerando não apenas a qualidade das imagens, mas também fatores climáticos, modelos de aprendizado de máquina e análises temporais dinâmicas. A incorporação desses elementos pode enriquecer ainda mais a compreensão das dinâmicas hídricas e proporcionar previsões mais precisas.

Além disso, a expansão da metodologia para diferentes regiões e a inclusão de outros fatores ambientais, como desmatamento, contribuiriam para uma compreensão mais abrangente das influências nos corpos hídricos. Essas sugestões visam não apenas aprimorar a metodologia, mas também contribuir para avanços significativos na gestão sustentável dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**. Brasília: informe anual, Agência Nacional de Águas, 2019. Disponível em: <https://conjuntura.ana.gov.br>. Acesso em: 25 dez. 2023.

ALBUQUERQUE, L. F. de. **Definição do nível de reservatórios a partir de imagens de satélite**. 2021. 55 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos) - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/56594>. Acesso em: 03 jul. 2023.

ALSDORF, D. E.; RODRIGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. P. Measuring surface water from space. **Reviews of Geophysics**, v. 45, n. 2, p. 1-24, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2006RG000197>. Acesso em: 23 dez. 2023.

BARBOSA, Cláudio C. F.; NOVO, Evlyn M. L. M.; MARTINS, Vitor S. **Introdução ao sensoriamento remoto de sistemas aquáticos: princípios e aplicações**. São José dos Campos: INPE, 2019. *E-book*. Disponível em: <https://www.dpi.inpe.br/labisa/livro/>. Acesso em: 03 jul. 2023.

BRASIL. Lei nº 9433/1997. Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, sessão 1, n. 6, p. 470, 09 de Jan de 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm. Acesso em: 06 jul. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Brasília: FUNASA, 2014. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38937/Manual+de+controle+da+qualidade+da+água+para+técnicos+que+trabalham+em+ETAS+2014.pdf/85bbdcbc-8cd2-4157-940b-90b5c5bcfc87>. Acesso em: 06 jul. 2023.

CARVALHO, Angela Regina Livino de. **Reservatórios de regularização de usinas hidrelétricas: contribuição para uma matriz energética mais limpa**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://www.coc.ufrj.br/pt/teses-de-doutorado/390-2015/4606-angela-regina-livino-de-carvalho>. Acesso em: 05 jul. 2023.

CHAPRA, Steven C.; CANALE, Raymond P. **Métodos numéricos para engenharia**. Tradução Helena Castro. 5. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2008.

CHAVES, Michel E. D.; PICOLI, Michelle C. A.; SANCHES, Ieda D. Recent applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for land use and land cover mapping: a systematic review. **Remote sensing**, n. 18, v. 12, p. 1-39, 2020. Disponível em: https://www.bing.com/search?pglt=2211&q=Recent+Applications+of+Landsat+8%2FOLI+and+Sentinel-2%2FMSI+for+Land+Use+and+Land+Cover+Mapping%3A+A+Systematic+Review&cvid=db67cb8de892467f8a4e357635aa6e1d&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCDIwMzJqMGoxqAIAA&FORM=ANNTA1&PC=SCOOBE. Acesso em: 05 jul. 2023.

COSTA, Natan R. M.; NASCIMENTO, Victor F.; OMETTO, Jean P. H. B. A história da coleta de resíduo em Novo Hamburgo, RS e uma proposta de uma nova roteirização utilizando o sistema de informações geográficas. **Oficina do historiador**, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 1-12, 2020. Disponível em: <https://revistaseletronicas.pucrs.br/index.php/oficinadohistoriador/article/view/3803>. Acesso em: 15 jul. 2023.

DUAN, Z.; BASTIAANSEN, W. G. M. Estimating water volume variations in lakes and reservoirs from four operational satellite altimetry databases and satellite imagery data. **Remote Sensing of Environment**, USA, v. 134, p. 403-416, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.010>. Acesso em: 01 ago. 2023.

GOMES, Dênis J. C.; BELTRÃO, Norma E. S.; DIAS, Yuri A. S. Cheias no arquipélago do Marajo: análise da sazonalidade em anos extremos através de processamento de dados SAR no Google Earth Engine. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2023, p. 3383-3386. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/cheias-no-arquipelago-do-marajo-analise-de-sazonalidade-em-anos-extremos-atraves?lang=pt-br>. Acesso em: 03 jul. 2023.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, v. 202, p. 18-27, 2017. DOI: 10.1016/j.rse.2017.06.031 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425717302900>. Acesso em: 03 jul. 2023.

HAIR JR., J. F. et al. **Multivariate Data Analysis**. 8. ed. Upper Saddle River: Pearson Education, 2018.

HOWARD, Eves. **Introdução à história da Matemática**. Tradução Hygino H. Domingues. 5. ed. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2011.

HU, Xisheng. et al. Understanding driving patterns of carbon emissions from the transport sector in China: evidence from an analysis of panel models. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 21, p. 1307-1322, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10098-019-01707-y#citeas>. Acesso em: 05 jul. 2023.

KUHFELD, W. F. **Marketing research methods in SAS: experimental design, choice, conjoint and graphical techniques**. 9. ed. Cary, NC: SAS Institute Inc., 2019. Disponível em: <https://support.sas.com/techsup/technote/mr2010title.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2023.

KUHNEN, Beatriz da Silva. **Método e técnica para obtenção da curva cota x área x volume (CAV)**. 2020. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Transportes de Gestão Territorial) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/226744>. Acesso em: 03 dez. 2023.

KUTNER, M. H. et al. **Applied linear statistical models**. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2005. Disponível em: https://users.stat.ufl.edu/~winner/sta4211/ALSM_5Ed_Kutner.pdf.

Acesso em: 05 jul. 2023.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. 2012. 137 p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002311218>. Acesso em: 02 ago. 2023.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas do açude Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semi-Árido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, CE, v. 38, n. 1, p. 25-31, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/8702/1/2007_art_hfrischkorn_sazonalidade.pdf. Acesso em: 07 jul. 2023.

MEES, Alexandre. **Qualidade da água em reservatórios: unidade 1: reservatórios.**, [S. l.; s. n.], 2020, p. 1-57. Disponível em: https://www.academia.edu/40383078/UNIDADE_1_RESERVAT%C3%93RIOS_AUTOR_ALEXANDRE_MEES. Acesso em: 03 ago. 2023.

NUNES, Mariana Argento. **A importância de reservatórios de regularização e seus impactos na geração de energia-Estudo de caso: UHE Bocaina na bacia do rio Paranaíba**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/monopoli10030314-min>. Acesso em: 15 jul. 2023.

OLIVEIRA, Edilaine C. **Mapeamento de uso e cobertura da terra utilizando a plataforma Google Earth Engine**. 2021. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/225683>. Acesso em: 12 jul. 2023.

REIS, Luisa Fernanda Ribeiro; BRANDÃO, João Luiz Boccia. Impactos ambientais sobre rios e reservatórios. *In: ENGENHARIA Ambiental: conceitos, tecnologia e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002472303>. Acesso em: 05 jul. 2023.

SANTOS, Leonardo L. **geeSEBAL: uma ferramenta do Google Earth Engine para estimativa de séries temporais de evapotranspiração**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/219375>. Acesso em: 05 jul. 2023.

SILVA JR, Orleno Marques da.; FUCKNER, Marcus André.; BAIA, Maxwell Moreira.; SANTOS, Leonardo Souza dos.; PINHEIRO, Cleane do Socorro da Silva. Comitê da bacia Hidrográfica do rio Araguari como instrumento de gestão dos Recursos Hídricos no Estado do Amapá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 14, n. 05, p. 2771-2789, 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/246326/39497>. Acesso em: 20 jul. 2023.

SOUZA, Paulo V. D. de. **Rede neural artificial para predição da produtividade da cultura do milho**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Santa Helena, 2021. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/26421>. Acesso em: 15 jul. 2023.

TAKAHASHI, L. D. S.; SILVEIRA, C. S.; VASCONCELOS JR, F. C. Escassez de água e seus impactos socioeconômicos na piscicultura familiar em tanques-redes no açude Castanhão no município de Jaguaribara no Ceará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE, v. 13, n. 5, p. 2476-2490, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/243570/36928>. Acesso em: 03 ago. 2023.

WANG, Z. et al. Online joint-prediction of multi-forward-step battery SOC using LSTM neural networks and multiple linear regression for real-world electric vehicles. **Journal of Energy Storage**, v. 30, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X20300396>. Acesso em: 05 jul. 2023.

APÊNDICE

ALGORITMOS

1. ALGORITMO DO MATLAB

Figura 1 – Algoritmo do Reservatório Castanhão

```

load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):10000:max(x1);
x2fit = min(x2):1000:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=66.7817+0.0000617*X1FIT+0.000672*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off

```

Figura 2 - Algoritmo do Reservatório Edson Queiroz

```

load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):1000:max(x1);
x2fit = min(x2):100:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=180.15963+0.0004092*X1FIT+0.0035944*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off

```

Figura 3 - Algoritmo do Reservatório Forquilha

```

load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):600:max(x1);
x2fit = min(x2):60:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=101.67933+0.0008275*X1FIT+0.0027155*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off

```

Figura 4 – Algoritmo do Reservatório Jaburu I

```

load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):500:max(x1);
x2fit = min(x2):50:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=692.07049+0.002076*X1FIT+0.0012468*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off

```

Figura 5 - Algoritmo do Reservatório Jaburu II

```

load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):1000:max(x1);
x2fit = min(x2):100:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=93.550364+0.0001888*X1FIT+0.0023633*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off

```

Figura 6 - Algoritmo do Reservatório Lima Campos

```

load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):600:max(x1);
x2fit = min(x2):60:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=166.47334+0.0009669*X1FIT-0.0007301*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off

```

Figura 7 - Algoritmo do Reservatório Poço do Barro

```
load input.csv
%dados=readtable('input.csv');
x1=input(:,1);
x2=input(:,2);
yobs=input(:,3);
ycalc=input(:,4);
scatter3(x1,x2,yobs,'filled');
hold on
x1fit = min(x1):1000:max(x1);
x2fit = min(x2):100:max(x2);
[X1FIT,X2FIT] = meshgrid(x1fit,x2fit);
YFIT=106.57697-0.0009731*X1FIT+0.0144308*X2FIT;
mesh(X1FIT,X2FIT,YFIT);
xlabel('Nº Pixels Interno');
ylabel('Nº Pixels Contorno');
zlabel('Nível');
view(50,10);
hold off
```

2. ALGORITMOS DO SCILAB

Figura 8 – Algoritmo do Código 1

```

0001 clear
0002 clc
0003 tic()
0004 path=get_absolute_file_path("codigol.sce")
0005 //files=listfiles([path+'*.tif']);
0006 pathtif=path+"tif\"
0007 vdir=listfiles([pathtif+'*.tif'])
0008
0009 [r,c]=size(vdir)
0010
0011 pathtxt=pathtif+"data.txt"
0012 datatxt=mgetl(pathtxt)
0013 [r,c]=size(datatxt)
0014 for i=1:r
0015     st=datatxt(i)
0016     ind=strindex(st,',')
0017     vst=streplit(st,ind)
0018     vfile(i)=part(vst(1),1:14)
0019     vnivelobs(i)=strtod(vst(2))
0020 end
0021 //createdir(path+'/passol')
0022 pathdir1=(path+"passol\")
0023 //pathmat=path+"data.txt"
0024 for i=1:r
0025     pathimg=pathtif+vfile(i)
0026     disp(vfile(i))
0027     image=imread(pathimg)
0028     //[linha,coluna]=size(image)
0029     //for l=1:linha
0030         //for c=1:coluna
0031             //mimage(i,l,c)=image(l,c)
0032             //matriz(l,c)=image(l,c)*1.00
0033         //end
0034     //end
0035     matriz=double(image)
0036     fname=string(vnivelobs(i));
0037
0038     pathfile=pathdir1+fname+".dat"
0039     fprintfMat(pathfile,matriz,"%5.1f")
0040 end
0041 t=toc()
0042 disp('Duration (seconds): ')
0043 disp(t)
0044 //pathdados=path+"dados1.sod"
0045 //save(pathdados,'vnivelobs','mimage')

```

Figura 9 - Algoritmo do Código 2

```

0001 clear
0002 clc
0003 tic()
0004 path=get_absolute_file_path("codigo2.sce")
0005 pathdir1=path+"passo1\"
0006 //createdir(path+'/passo2')
0007 pathdir2=(path+"passo2\"
0008 vdir=listfiles([pathdir1+'.dat'])
0009 [r,c]=size(vdir)
0010
0011 for i=1:r
0012     [path, fname, extension]=fileparts(vdir(i))
0013     disp(fname)
0014     mr=fscanfMat(vdir(i), "%lg")
0015     mi=iconvert(mr, 11)
0016
0017     [linha, coluna]=size(mi)
0018     for l=1:linha
0019         for c=1:coluna
0020             if mi(l,c)==0 then
0021                 mb(l,c)=%F
0022             end
0023             if mi(l,c)==1 then
0024                 mb(l,c)=%T
0025             end
0026         end
0027     end
0028     mdist=DistanceTransform(mb)
0029     mdistdb=double(mdist)
0030     pathsave=pathdir2+fname+".dat"
0031     fprintfMat(pathsave, mdistdb, "%5.1f")
0032 end
0033 t=toc()
0034 disp('Duration (seconds): ')
0035 disp(t)

```

Figura 10 – Algoritmo do Código 3

```

0001 clear
0002 clc
0003
0004 path=get_absolute_file_path("codigo3.sce")
0005
0006 //createdir(path+'/passo2')
0007 pathdir2=(path+"passo2\")
0008 pathdir3=(path+"passo3\")
0009 vdir=listfiles([pathdir2+'*.dat'])
0010 [r,c]=size(vdir)
0011
0012 n=input('Digite 1(Max dist) ou 2(Reg Lin Mult) ')
0013 if n==1 then
0014     tic()
0015     for i=1:r
0016         [path, fname, extension]=fileparts(vdir(i))
0017         disp(fname+".dat")
0018         mr=fscanfMat(vdir(i), "%lg")
0019         mi=iconvert(mr, ll)
0020         maxv(i)=max(mi)
0021
0022     end //for i
0023     mintotal=min(maxv)
0024     maxtotal=max(maxv)
0025     disp('-----')
0026
0027         disp('Distância Máxima (maior valor)')
0028         disp(maxtotal)
0029         disp('-----')
0030         t=toc()
0031         disp('Duration (seconds): ')
0032         disp(t)
0033     end //if
0034 //-----
0035 if n==2 then
0036     tic()
0037         //disp("organização dos dados...")
0038         //lim=input('Dig o limite: ')
0039
0040

```

```

0040
0041
0042     for i=1:r
0043         [path, fname, extension]=fileparts(vdir(i))
0044         disp(fname+".dat")
0045         nivel=strtod(fname)
0046
0047         mr=fscanfMat(vdir(i), "%lg")
0048         mi=iconvert(mr,11)
0049         n1=0
0050         n2=0
0051
0052         [linha, coluna]=size(mi)
0053         for l=1:linha
0054             for c=1:coluna
0055                 if mi(l,c)>0
0056                     n1=n1+1
0057                 end
0058                 if mi(l,c)==1 then
0059                     n2=n2+1
0060                 end
0061             end
0062         end
0063     end
0064     mdados(i,1)=n1
0065     mdados(i,2)=n2
0066     mdados(i,3)=nivel
0067
0068 end //for i
0069     pathout=pathdir3+"output.txt"
0070     fprintfMat(pathout,mdados,"%5.1f")
0071 //regressao -----
0072     disp("regressão linear...")
0073     sx1=0
0074     sx2=0
0075     sx1_2=0
0076     sx1x2=0
0077     sx2_2=0
0078
0079     sy=0
0080     sxly=0

```

```
0081     sx2y=0
0082
0083     for i=1:r
0084         sx1=sx1+mdados(i,1)
0085         sx2=sx2+mdados(i,2)
0086         sx1_2=sx1_2+mdados(i,1)^2
0087         sx2_2=sx2_2+mdados(i,2)^2
0088         sx1x2=sx1x2+mdados(i,1)*mdados(i,2)
0089         sy=sy+mdados(i,3)
0090         sxly=sxly+mdados(i,1)*mdados(i,3)
0091         sx2y=sx2y+mdados(i,2)*mdados(i,3)
0092     end
0093     a(1,1)=r
0094     a(1,2)=sx1
0095     a(1,3)=sx2
0096     a(2,1)=sx1
0097     a(2,2)=sx1_2
0098     a(2,3)=sx1x2
0099     a(3,1)=sx2
0100     a(3,2)=sx1x2
0101     a(3,3)=sx2_2
0102
0103     b(1)=sy
0104     b(2)=sxly
0105     b(3)=sx2y
0106
0107     disp('sis lin')
0108     x=inv(a)*b
0109     for i=1:r
0110         vnivelcalc(i)=x(1)+mdados(i,1)*x(2)+mdados(i,2)*x(3)
0111         vnivelobs(i)=mdados(i,3)
0112     end
0113     //-----correlação
```

```
0114     sx=0
0115     sy=0
0116     sxy=0
0117     sx_2=0
0118     sy_2=0
0119     for i=1:r
0120         sx=sx+vnivelobs(i)
0121         sy=sy+vnivelcalc(i)
0122         sxy=sxy+vnivelobs(i)*vnivelcalc(i)
0123         sx_2=sx_2+vnivelobs(i)^2
0124         sy_2=sy_2+vnivelcalc(i)^2
0125
0126     end
0127     num=r*sxy-sx*sy
0128     den=sqrt(r*sx_2-sx^2)*sqrt(r*sy_2-sy^2)
0129     r=num/den
0130     r2=r^2
0131
0132
0133     disp('-----')
0134     disp('y=a0+a1x1+a2x2')
0135     disp('a0:')
0136     disp(x(1))
0137     disp('a1:')
0138     disp(x(2))
0139     disp('a2:')
0140     disp(x(3))
0141
0142     disp('r^2:')
0143     disp(r2)
0144     disp('-----')
0145     t=toc()
0146     disp('Duration (seconds): ')
0147     disp(t)
0148 end //if
```

ANEXO

1. ALGORITMO DO GOOGLE EARTH ENGINE

Figura 1 – Algoritmo para Aquisição e processamento de imagens

```

//... ALGORITMO PARA A EXTRAÇÃO DAS IMAGENS ...//

// Escolha da Imagem datada
var imagem = ee.Image('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA/LT05_216064_20080626');

// Apresentação do layer escolhido para visualização
Map.addLayer(imagem,{bands:['B5','B4','B3'],'Imagem datada'});

//Função para remover borda
var borderRemove = function(imagem){
  var reservatorio = imagem.geometry();
  return imagem.clip(reservatorio.buffer(-500.0));
};

//Seleção da hidrografia do reservatório
var hsvComposite = imagem.select(['B5','B4','B3']).rgbToHsv();
var hue = hsvComposite.select('hue');
var agua = hue.updateMask(hue.lte(0.92));
var Imagemagua = ee.Image(1).updateMask(agua).clip(reservatorio);

// Apresentação do Layer escolhido para visualização
Map.addLayer(Imagemagua,{},'Imagem Água');

// Exportação da área de inundação
Export.image.toDrive({
  image:Imagemagua,
  description: '2008_06_26',
  folder: 'mosaico',
  maxPixels:1000000000000,
  scale: 30,
  region: reservatorio
});

```

Fonte: (ALBUQUERQUE, 2021, p. 31).