



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ

CENTRO DE TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL

PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

LÍVIA FIGUEIRA DE ALBUQUERQUE

**DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE RESERVATÓRIOS A PARTIR DE IMAGENS DE
SATÉLITE**

FORTALEZA

2021

LÍVIA FIGUEIRA DE ALBUQUERQUE

DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE 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: Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Holanda de Castro, Ph.D.

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

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

A1d ALBUQUERQUE, LÍVIA FIGUEIRA DE.
DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE RESERVATÓRIOS A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE / LÍVIA
FIGUEIRA DE ALBUQUERQUE. – 2021.
54 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2021.

Orientação: Prof. Dr. MARCO AURÉLIO HOLANDA DE CASTRO.

Coorientação: Prof. Dr. LUÍS HENRIQUE MAGALHÃES COSTA.

1. GOOGLE EARTH ENGINE. 2. NÍVEL DOS RESERVATÓRIOS. 3. IMAGENS DE SATÉLITE. I.
Título.

CDD 627

LÍVIA FIGUEIRA DE ALBUQUERQUE

DEFINIÇÃO DO NÍVEL DE 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: Recursos Hídricos.

Aprovada em: 11 / 02 / 2021.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof^ª. Dra. Ticiania Marinho de Carvalho Studart
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

A Deus, todo poderoso.
À toda minha família, minha fortaleza.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte de amor, justiça e consolação.

Aos meus pais, Francisco José e Maria do Socorro, pelo apoio constante durante esta jornada, incentivo a seguir sempre em frente, oportunidade e esforço a que se submeteram para que este caminho fosse possível.

Aos meus irmãos, Larisse e Lucas, por se fazerem presentes e pelo apoio sempre que necessário, exemplos de amizade.

Ao meu sobrinho, Vinícius, pelo carinho e felicidade a mim proporcionada.

Ao meu orientador prof. Dr. Marco Aurélio pela excelente orientação, pelo prazer em repassar o conhecimento e por ser uma referência para mim como professor no POSDEHA.

Ao meu querido professor e coorientador, Dr. Luís Henrique. Obrigada pela imensa contribuição profissional desde a graduação, pela paciência em cada orientação e conversa e por me incentivar na realização dos meus sonhos acadêmicos.

À professora Dra. Ticiania Studart, por aceitar compor a banca desse estudo.

Ao CNPQ pelo incentivo financeiro através da bolsa fornecida durante o período de desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus grandes amigos e companheiros de jornada, Jefferson e João Batista, por serem presentes e solícitos em todos os momentos da minha vida pessoal e profissional.

Aos demais amigos que a Universidade Federal do Ceará me presenteou, Letícia, Levi e Matheus. Agradeço os momentos de estudo e companheirismo que foram capazes de compartilhar.

Aos demais familiares e amigos, que contribuíram para minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

“Tudo posso naquele que me fortalece”.

Filipenses, 4:13

RESUMO

A proposta do trabalho foi utilizar a plataforma Google Earth Engine (GEE) como tecnologia para realizar a extração da área de inundação de 4 (quatro) reservatórios localizados no estado do Ceará em diferentes datas ao longo de sua operação e, com os respectivos dados do nível da água, criar uma equação por regressão linear para cada um deles, que faça a relação entre a cota e a área do reservatório, a fim de criar uma ferramenta de gestão que retorne como resultado o valor do nível de água do reservatório, através de imagens de satélite. Conforme analisado, obteve-se equações com valores de correlação ao quadrado acima de 0.88, evidenciando a eficiência da metodologia ao utilizar o GEE. Pode-se constatar também que os reservatórios com uma maior quantidade de imagens de boa qualidade apresentaram melhores resultados.

Palavras chave: Google Earth Engine, Nível dos Reservatórios, Imagens de Satélite.

ABSTRACT

The purpose of the work was to use the Google Earth Engine (GEE) platform as a technology to extract the flooding area from 4 (four) reservoirs located in the state of Ceará on different dates throughout its operation and, with the respective data from the water level, create a linear regression equation for each of them, which makes the relation between the level and the reservoir area, in order to create a management tool that returns as a result the value of the reservoir water level, through satellite imagery. As analyzed, equations with correlation values above 0.88 were obtained, showing the efficiency of the methodology when using GEE. It can also be seen that the reservoirs with a greater quantity of good quality images showed better results.

Keywords: Google Earth Engine, Reservoir Level, Satellite Imagery.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução da atuação do programa Landsat com o passar do tempo.....	16
Figura 2: Janela principal de visualização da plataforma Google Earth Engine.....	17
Figura 3: Etapas metodológicas.....	19
Figura 4: Localização dos reservatórios analisados no trabalho.	20
Figura 5: Reservatório Castanhão.....	21
Figura 6: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Castanhão ao longo do tempo.	22
Figura 7: Reservatório Jaburu I.	23
Figura 8: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Jaburu I ao longo do tempo. .	23
Figura 9: Reservatório Lima Campos.....	24
Figura 10: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Lima Campos ao longo do tempo.	25
Figura 11: Reservatório Poço do Barro.	26
Figura 12: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Poço do Barro ao longo do tempo.	26
Figura 13: Algoritmo do GEE para escolha do banco de dados das imagens.	27
Figura 14: Comparativo de qualidade da imagem de satélite extraída em diferentes datas.	28
Figura 15: Etapas de aquisição e processamento das imagens pelo Google Earth Engine.	29
Figura 16: Algoritmo do GEE para aquisição e processamento das imagens.	30
Figura 17: Distância cuja soma dos quadrados deve ser minimizada.	32
Figura 18: Exemplo de imagem binária extraída do Google Earth Engine.	35
Figura 19: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Jaburu I.....	36
Figura 20: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Castanhão.	37
Figura 21: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Lima Campos.	38
Figura 22: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Poço do Barro.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características da coleção de imagens de satélite dos reservatórios em análise.	27
Tabela 2: Quantitativo de imagens de satélite extraídas.....	28
Tabela 3: Quadro-resumo dos resultados.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. Problematização e Contextualização	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1. <i>Objetivo Geral</i>	12
1.2.2. <i>Objetivos Específicos</i>	13
1.3. Estrutura do Trabalho	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. Programa LANDSAT	14
2.2. Google Earth Engine	16
3. METODOLOGIA	19
3.1. Escolha da Área de Estudo	19
3.1.1. <i>Castanhão</i>	20
3.1.2. <i>Jaburu I</i>	22
3.1.3. <i>Lima Campos</i>	24
3.1.4. <i>Poço do Barro</i>	25
3.2. Uso do Google Earth Engine para a aquisição e processamento das imagens	27
3.3. Coleta de Dados do Nível de Água dos Reservatórios	30
3.4. Método dos mínimos quadrados	31
3.5. Uso do programa Scilab para a Criação da Equação de Correlação Nível x Área	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1. Reservatório Jaburu I	36
4.2. Reservatório Castanhão	37
4.3. Reservatório Lima Campos	37
4.4. Reservatório Poço do Barro	38
4.5. Aparato geral de resultados	39
5. DISPONIBILIDADE DE DADOS	41
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE	46

1. INTRODUÇÃO

No presente tópico será abordado a problematização e contextualização que norteiam o estudo proposto, apontando as principais justificativas para a escolha do tema desta dissertação. Por fim, será apresentado os objetivos gerais e específicos do trabalho, seguido da estruturação do mesmo, expondo os tópicos a serem apresentados no decorrer da leitura deste trabalho.

1.1. Problematização e Contextualização

A região semiárida brasileira é formada por rios intermitentes em sua grande maioria. Segundo Toledo, Araújo e Almeida (2014), essa característica é função da pouca capacidade de retenção de solos, de pequena profundidade, oriundos de substratos cristalinos. É função, também, do clima, caracterizado por alta evaporação, baixa precipitação média, alta variabilidade interanual da precipitação e concentração de precipitações em curtos períodos de tempo.

Dessa forma, fatores como esses levaram o poder público a despertarem políticas de gestão dos recursos hídricos. O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é um dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional de Recursos Hídricos. Trata-se de um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão. No Nordeste, grande volume de água superficial está armazenado em açudes. O monitoramento desses reservatórios é essencial para a gestão da água na região.

No contexto cearense, destaca-se a Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos – COGERH, responsável pela gestão das águas acumuladas no Estado, administrando diretamente 155 dos mais importantes açudes públicos estaduais e federais. Mais especificamente, tem a finalidade de implantar um sistema de gerenciamento da oferta de água superficial e subterrânea, compreendendo os aspectos de monitoramento dos reservatórios e poços, manutenção, operação de obras hídricas e organização de usuários. Através da informação e divulgação de dados à comunidade, esta tem o papel de co-gestora dos recursos hídricos para que possam tomar decisões coletivas e negociadas, como também avaliar a política de gestão a ser implementada nas bacias.

Desse modo, os recursos hídricos podem ser monitorados em uma escala global usando três abordagens: medições *in situ*, modelagem e observações de sensoriamento remoto. Dada a redução drástica no número de medidores *in situ* usados nos últimos anos e a dificuldade em

modelar os recursos hídricos em uma escala global (por causa da mistura complexa entre entradas e saídas), a facilidade do monitoramento da água por sensoriamento remoto e especialmente por satélite tornou-se um objetivo importante em hidrologia para as próximas décadas (ALSDORF ET AL., 2007; DUAN E BASTIAANSEN, 2013).

Isso ocorre, por exemplo, pois a realização de batimetrias diárias para a extração de informações do nível altimétrico é de expressivo custo, que dependem de fatores como a localização, tamanho e acesso ao reservatório. Reservatórios menores e localizados em regiões pouco desenvolvidas possuem uma relação custo por área levantada bastante elevada devido ao custo de mobilização da equipe e dos equipamentos. Além disso, outras características, como baixa profundidade e condições climáticas na região pode aumentar ainda mais essa relação (SÁ, 2018).

Em dezembro de 2010, a Google lançou uma nova tecnologia chamada Google Earth Engine (GEE) (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2010). Esta plataforma se destaca no que diz respeito a computação em nuvem aberta voltada para o processamento de dados satelitários e espaciais, pois o mesmo possui um catálogo com petabytes de dados orbitais em mais de 40 (quarenta) anos e uma capacidade de processar e visualizar informações extremamente superior aos métodos convencionais em desktop GIS (Geographic Information System) (GORELICK ET AL., 2017; GOOGLE, 2017b).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é utilizar a plataforma GEE como tecnologia para realizar a extração da área de inundação de 4 (quatro) reservatórios em diferentes datas ao longo de sua operação e, com os respectivos dados do nível da água, criar uma equação por regressão linear para cada um deles que faça a relação entre a cota e a área do reservatório.

O intuito é criar uma ferramenta de gestão que retorne como resultado o valor da cota de água do reservatório com base na sua área extraída através de imagens de satélite. O objetivo é fornecer auxílio à gestão, pois, se por algum motivo, não for realizada a medição do nível da água em determinado dia pelos métodos convencionais, a equação criada estime o valor deste.

1.2.2. Objetivos Específicos

São objetivos específicos desta dissertação:

- Levantamento e seleção das imagens a serem utilizadas neste trabalho através de algoritmo criado no Google Earth Engine;
- Criação de um algoritmo na plataforma de códigos do Google Earth Engine para a extração da área de inundação dos reservatórios através das imagens selecionadas do satélite Landsat;
- Criação de um algoritmo no programa Scilab que faça a criação de uma equação que relacione a cota do nível de água com a área do reservatório;
- Criação de uma ferramenta de apoio à gestão dos reservatórios utilizados como área de estudo neste trabalho.

1.3. Estrutura do Trabalho

Capítulo 1 – Introdução do trabalho, enfatizando a problematização e contextualização do tema, seguido dos objetivos da presente dissertação e estruturação dos capítulos de todo o trabalho.

Capítulo 2 – Referencial teórico apresentando o Programa Landsat e Google Earth Engine.

Capítulo 3 - Metodologia aplicada neste estudo que se baseou na escolha de área de estudo, uso do Google Earth Engine para o processamento das imagens e uso do programa Scilab para a criação da equação, objeto final deste trabalho.

Capítulo 4 – Apresentação dos resultados na forma de gráficos e equações.

Capítulo 5 – Disponibilidade dos dados do algoritmo criado nesta dissertação.

Capítulo 6 – Conclusões e Recomendações do trabalho em questão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção foi realizada uma revisão de literatura para apresentar as principais características do programa de satélite Landsat, utilizado no projeto desta dissertação, onde foram tomados como fonte a revisão de Costa (2019). Por fim, foi explicado o princípio de utilização do Google Earth Engine, plataforma utilizada na metodologia deste estudo.

2.1. Programa LANDSAT

LANDSAT é nomenclatura de um programa de satélite de observação da terra de origem norte-americana. O programa teve início na segunda metade da década de 1960, com origem a partir de um projeto desenvolvido pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), sendo direcionado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O programa inicialmente foi denominado EARTS (Earth Resources Technology Satellite) e em 1975 passou a se denominar LANDSAT.

O programa em sua maior parte foi gerenciado pela NASA e pela USGS e envolveu o lançamento de 8 satélites. O primeiro satélite desenvolvido para atuar diretamente na pesquisa de recursos minerais foi lançado em 1972 e recebeu a denominação ERTS-1 ou LANDSAT-1, com dois instrumentos a bordo, as câmeras RBV e MSS.

Em 1975 foi lançado o LANDSAT 2, que transportou os mesmos tipos de instrumentos. O LANDSAT 3, lançado em 1978, sofreu algumas alterações, principalmente em relação aos canais oferecidos. Os LANDSAT's 1, 2 e 3 foram considerados satélites experimentais.

Em 1982, começa a operar o LANDSAT 4, ainda com o MSS, mas também com um novo equipamento embarcado, o sensor TM, projetado para atender pesquisas nas mais diversas áreas temáticas no âmbito dos recursos naturais. Em 1984, entra em atividade o LANDSAT 5, com instrumentos embarcados iguais ao LANDSAT 4. Em 1995, o sensor MSS deixa de enviar dados, enquanto o sensor TM ficou ativo até janeiro de 2013. O LANDSAT 6 foi projetado com o sensor ETM, com configurações semelhantes aos seu antecessor, com inclusão de uma banda pancromática com 15 metros de resolução espacial, contudo o satélite não conseguiu atingir a órbita terrestre por falhas no lançamento.

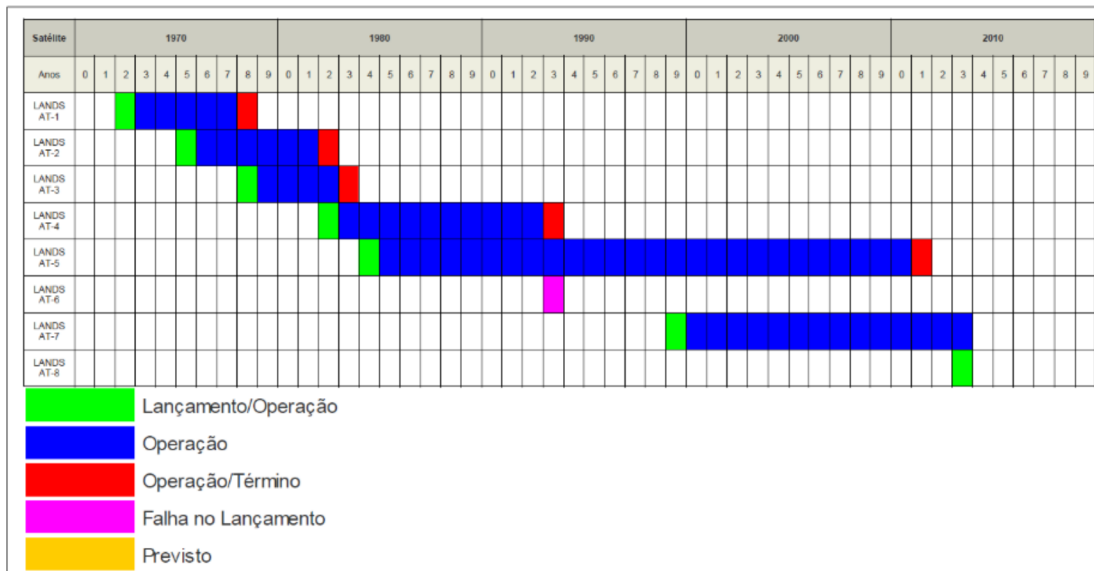
Em 1999 é lançado o LANDSAT 7, tendo a bordo o sensor ETM+, uma inovação do sensor ETM, que conseguiu melhorar a acurácia do sistema, mantendo os intervalos espectrais. Além disso, ampliou a resolução espacial da banda 6 (infravermelho normal) para 60 metros,

tornou a banda pancromática operante e permitiu a geração de composições coloridas com 15 metros de resolução. O LANDSAT 7 funcionou, normalmente, até 2003, quando apresentou avarias no hardware e começou a operar com o espelho corretor de linha (SLC) desligado. As imagens continuam sendo adquiridas e remetidas à Terra, mas para utilizá-las, é necessário realizar correções prévias e análise da acurácia no posicionamento e calibração de pixels (USGS, 2013).

O LANDSAT 8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013 e originalmente chamado de LANDSAT Data Continuity Mission, recebendo a denominação de Landsat 8 em 30 de maio de 2013 com controle do USGS. O LANDSAT 8 transporta os instrumentos Operational Land Imager (OLI) e o Thermal Infrared Sensor (TIRS). As bandas espectrais do sensor OLI apresentam aprimoramento de instrumentos em relação aos satélites anteriores, adicionando duas bandas espectrais: um canal visível azul profundo (banda 1) projetado para pesquisa de recursos hídricos e zonas costeiras, e um novo canal infravermelho de ondas curtas, para detecção de nuvens cirros. O instrumento TIRS coleta duas bandas espectrais que eram cobertas por apenas uma banda nos sensores TM e ETM+ anteriores.

Os sensores presentes no LANDSAT 8 fornecem desempenho radiométrico do sinal-ruído 9 (SNR), quantificado em uma faixa dinâmica de 12 bits (4096 níveis de cinza em potencial em uma imagem), enquanto na de 8 bits há apenas 256 níveis de cinza. Esse sinal melhorado do ruído permite caracterizar melhor o estado e condição da cobertura da terra. Os produtos são entregues como imagens dimensionadas para 55.000 níveis de cinza (USGS, 2013). A Figura 1 apresenta a linha do tempo das missões LANDSAT.

Figura 1: Evolução da atuação do programa Landsat com o passar do tempo.

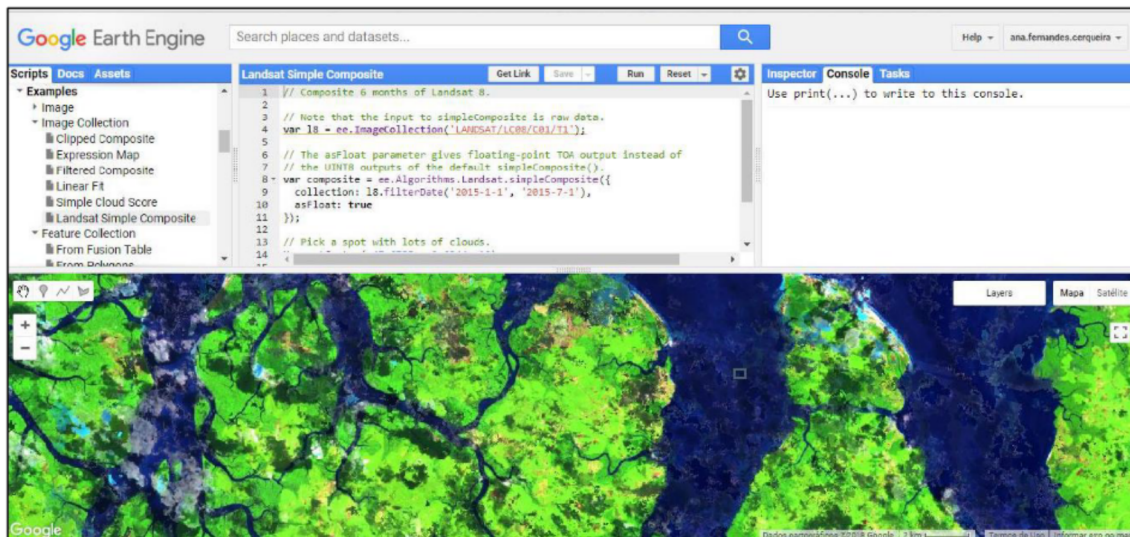


Fonte: Embrapa (2019)

2.2. Google Earth Engine

O Google Earth Engine (Figura 2) trata-se de uma plataforma utilizada em escala global com o objetivo principal de realizar análise de dados ambientais. Ela reúne mais de 40 anos de imagens globais de satélites. Este serviço contém várias bibliotecas de diferentes tipos de dados, e permite o processamento desses dados nos seus próprios servidores, garantindo assim dois aspectos que são relevantes para o trabalho em detecção remota – a visualização de dados em grande quantidade e o processamento desses dados com muito maior celeridade que teríamos a processar localmente (GORELICK, 2017). Ambos são possíveis graças ao processamento (dos dados) paralelo e em servidor sem ser necessária para esse efeito a aquisição de um grande volume de dados e respectivo armazenamento local, o que é sempre um aspeto chave a ter em conta no início de um projeto.

Figura 2: Janela principal de visualização da plataforma Google Earth Engine.



Fonte: Google (2020)

Essa plataforma também fornece ferramentas e uma vasta capacidade computacional para o desenvolvimento de análises e exploração de uma elevada diversidade de dados. De acordo com o site da plataforma, a detecção de desmatamento, a classificação da cobertura da terra e suas alterações correspondentes, as estimativas de biomassa florestal e de carbono assim como o mapeamento de áreas sem estradas no mundo destacam-se como uma das principais aplicações atuais (GORELICK, 2017).

A ferramenta integra um conjunto de dados geoespaciais com cobertura global, a capacidade de armazenamento e processamento altamente elevados correspondentes ao ambiente de computação da nuvem Google, e um ambiente de desenvolvimento integrado suportando a implementação de algoritmos de análise e processamento de dados geoespaciais nas linguagens Java Script e Python (GORELICK ET AL., 2017).

O acesso ao Google Earth Engine (GEE) pode ser feito através do *browser*, onde funciona com base numa interface para aplicação de programação (API – *Application Programming Interface*). Em alternativa, pode também funcionar com base num ambiente de desenvolvimento interativo (IDE) (SILVA, 2018). A versão usada para este estudo – a API – recorre a linguagem de programação JavaScript, e disponibiliza uma biblioteca de operadores que auxiliam o utilizador a gerir, processar e analisar os dados disponibilizados pela biblioteca pública de dados.

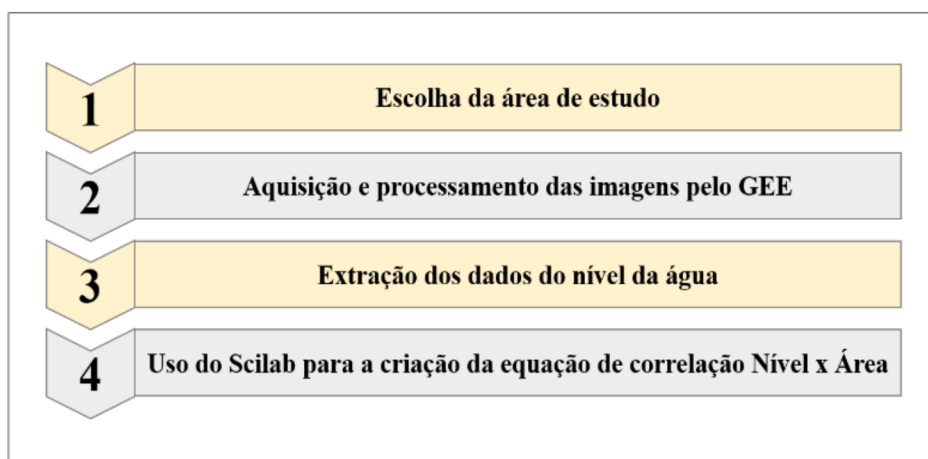
Como ferramenta, o Google Earth Engine traz várias vantagens para os seus utilizadores. Os vários petabytes de dados que o GEE disponibiliza estão fundidos numa única localização, dispensando ao utilizador recorrer a diferentes localizações para os diferentes tipos de dados que o seu trabalho possa requerer. Adicionalmente, todos esses dados estão armazenados nos seus próprios servidores, dispensando assim ao utilizador o uso do seu próprio espaço de armazenamento (SILVA, 2018). Por fim, o poder computacional do GEE permite que um milhão de horas de CPU sejam calculáveis em dias (GORELICK, 2017), ao dividir os dados em grelhas independentes, que são armazenadas em agrupamentos e calculando os dados através de centenas de CPUs.

3. METODOLOGIA

Nesta seção foi descrita a abordagem metodológica utilizada nesta dissertação. Para a realização do trabalho, adotou-se quatro etapas metodológicas. Como primeira etapa, analisou-se a escolha dos reservatórios com base nas características de suas imagens orbitais. A segunda etapa baseou-se na utilização do Google Earth Engine para realizar a aquisição e processamento das imagens através da extração da área de inundação das áreas de estudo supracitadas.

A terceira etapa consistiu na coleta de dados dos níveis da água tendo como fonte o Portal Hidrológico da COGERH. Por fim, na quarta etapa foi criado um algoritmo no software Scilab 6.0 para a criação da equação que relaciona nível altimétrico com a área. Este algoritmo gera o resultado final a partir de dados do nível dos reservatórios coletados pela COGERH e de imagens extraídas no GEE. A Figura 3 apresenta as quatro etapas dispostas resumidamente.

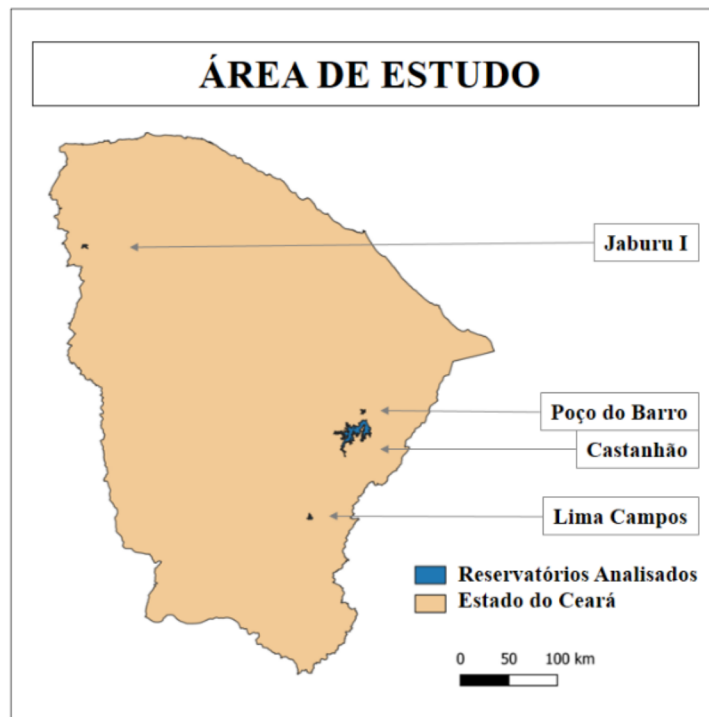
Figura 3: Etapas metodológicas.



3.1. Escolha da Área de Estudo

Os reservatórios escolhidos são pertencentes ao estado do Ceará e todos monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH. Para a melhor discussão dos resultados, escolheu-se quatro reservatórios, cada um deles com características pertinentes, como proposta de análise. São eles: Castanhão, Jaburu I, Lima Campos e Poço do Barro. A Figura 4 apresenta a localização dos reservatórios estudados.

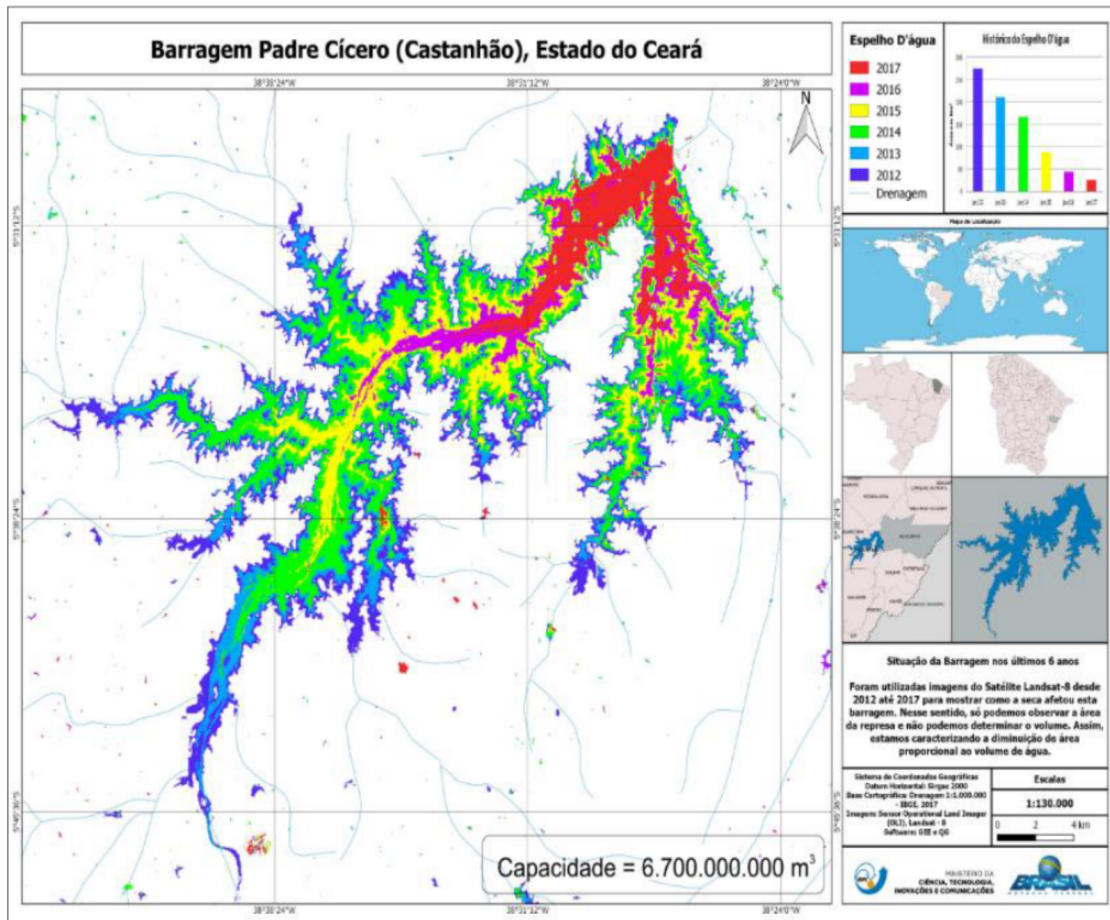
Figura 4: Localização dos reservatórios analisados no trabalho.



3.1.1. Castanhão

O Castanhão é o maior açude público para múltiplos usos do Brasil. Concluído em 2003, sua barragem fica localizada no município de Alto Santo, no Ceará, a 252 Km da capital do Estado. Constitui uma importante reserva estratégica de água. É utilizado para irrigação, abastecimento urbano, piscicultura e regularização da vazão do Rio Jaguaribe. (DNOCS, 2016). A Figura 5 representa o reservatório.

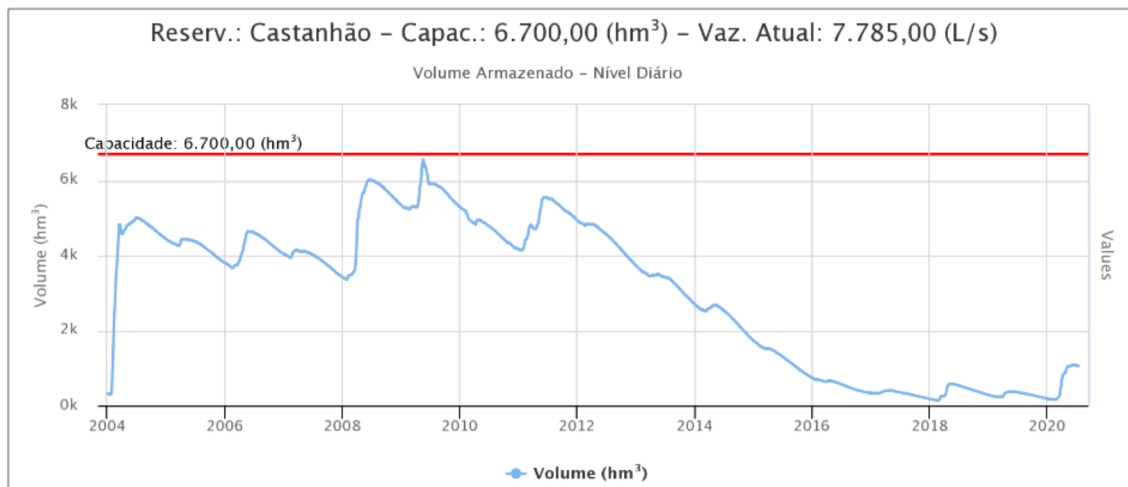
Figura 5: Reservatório Castanhão.



Fonte: INPE (2018).

O reservatório pertence a bacia do Médio Jaguaribe, barrando assim o Rio Jaguaribe. Possui uma capacidade volumétrica de água de 6700 Hm³ e uma cota máxima de arrasamento de 106m. Conforme apresenta o gráfico da Figura 6, o açude Castanhão nunca apresentou capacidade máxima de armazenamento e desde 2013 o volume do reservatório não passou de 50% de sua capacidade.

Figura 6: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Castanhão ao longo do tempo.



Fonte: COGERH (2020).

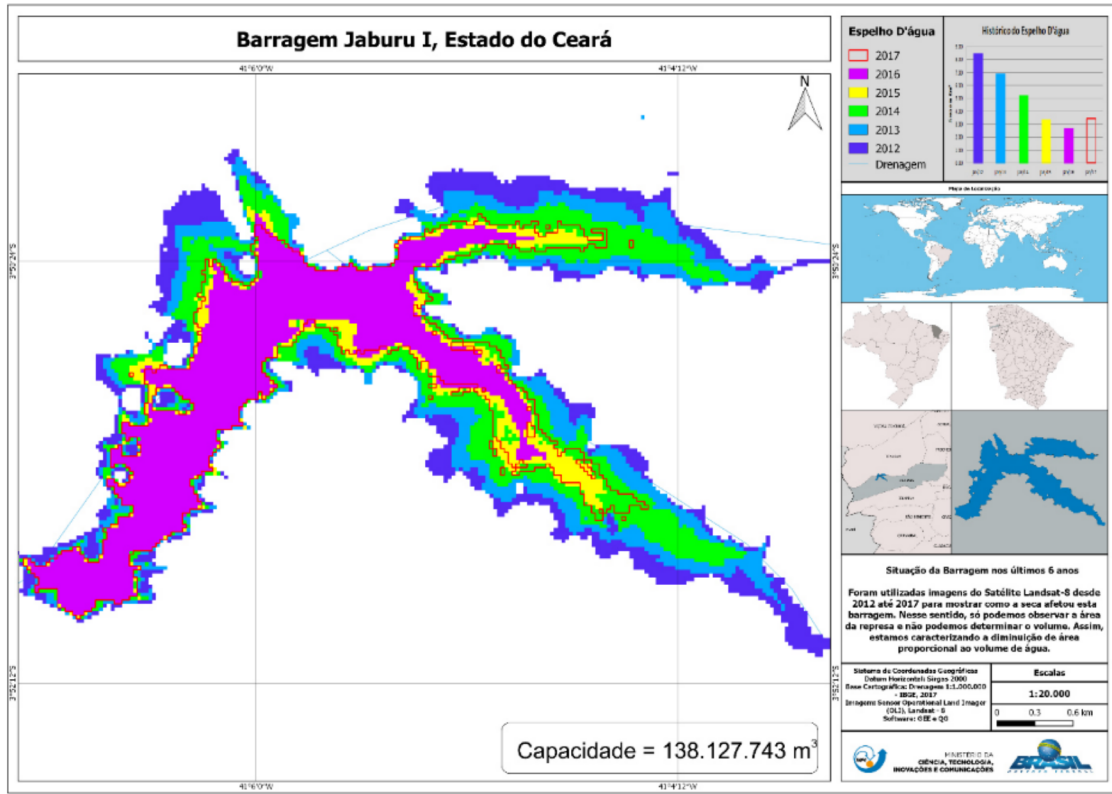
3.1.2. Jaburu I

O reservatório Jaburu I é o único monitorado pela COGERH pertencente a Bacia da Serra da Ibiapaba. Este corpo hídrico barra o Rio Jaburu e o Rio Pitanga. Apresenta capacidade volumétrica de 141 Hm³ e cota máxima de arrasamento de 716,38 m.

Localizado na cidade de Ubajara/CE, a cerca de 310 Km de Fortaleza/CE, é um importante reservatório para a região noroeste do Estado pois é responsável pelo abastecimento e atividades produtivas de todos os municípios pertencentes a Serra da Ibiapaba. A Figura 7 representa o reservatório em questão.

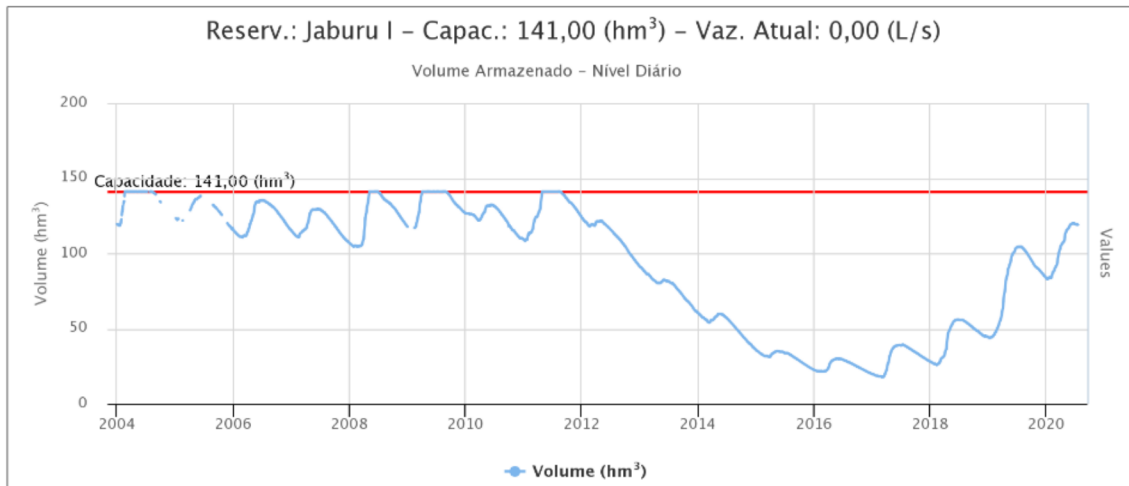
Construído em 1983, atingiu a sangria pela última vez em 2011. Desde então, o Jaburu I sofreu uma redução significativa em seu volume até 2016, chegando a 15% de seu volume armazenado. A partir de 2016, iniciou-se um aumento expressivo do volume até os dias atuais, chegando em torno de 80% no ano de 2020. A Figura 8 mostra o gráfico desta evolução do volume de água.

Figura 7: Reservatório Jaburu I.



Fonte: INPE (2018).

Figura 8: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Jaburu I ao longo do tempo.

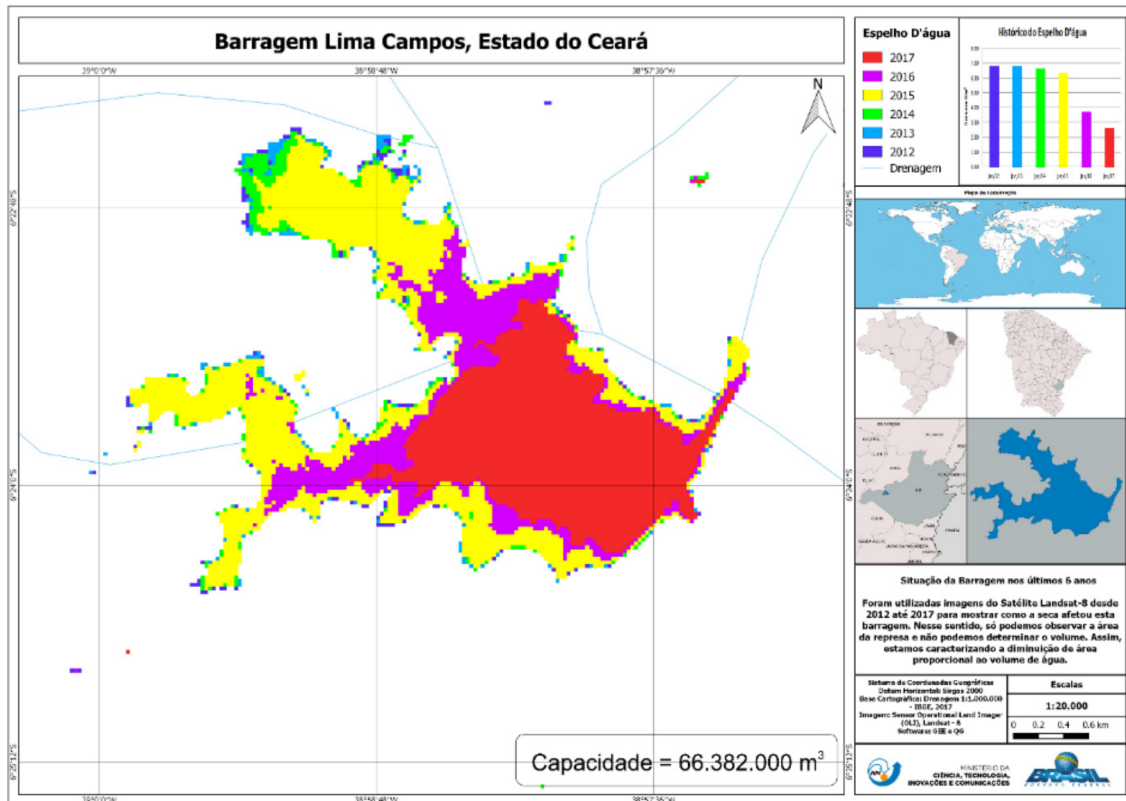


Fonte: COGERH (2020).

3.1.3. Lima Campos

O reservatório Lima Campos é pertencente a Bacia do Salgado, localizado na cidade de Icó/CE, distante de Fortaleza/CE 370 Km. Construído em 1932, este corpo hídrico barra o Rio São João e possui 66 Hm³ de capacidade volumétrica e cota de arrasamento de 175,5 m. A Figura 9 apresenta o reservatório analisado.

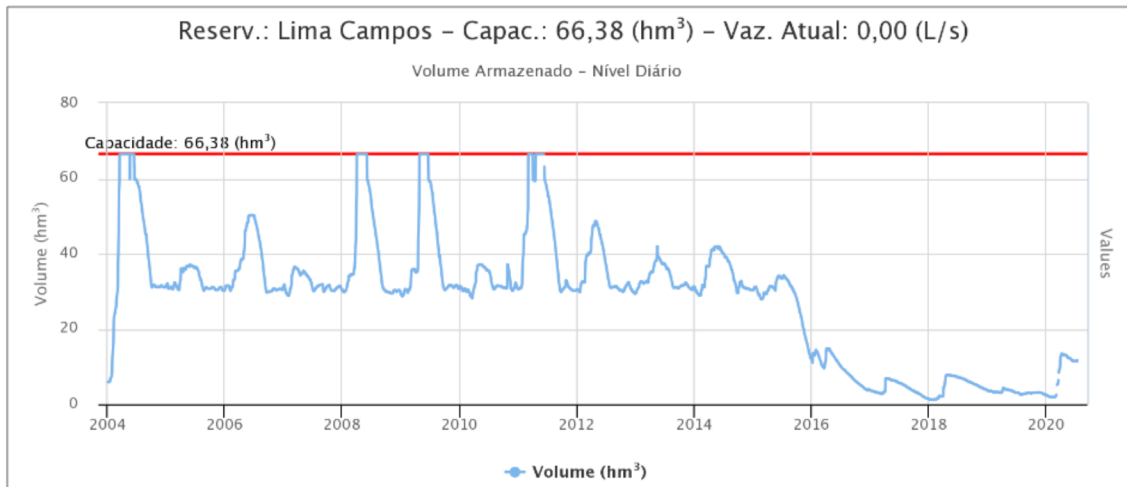
Figura 9: Reservatório Lima Campos.



Fonte: INPE (2018)

Conforme é apresentado no gráfico da Figura 10, o reservatório apresentou em 2011 sua última sangria, manteve o volume estável até 2015 com cerca de 50% de capacidade volumétrica e, desde então, sofreu uma redução expressiva atingindo, atualmente, menos de 20% de capacidade volumétrica.

Figura 10: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Lima Campos ao longo do tempo.



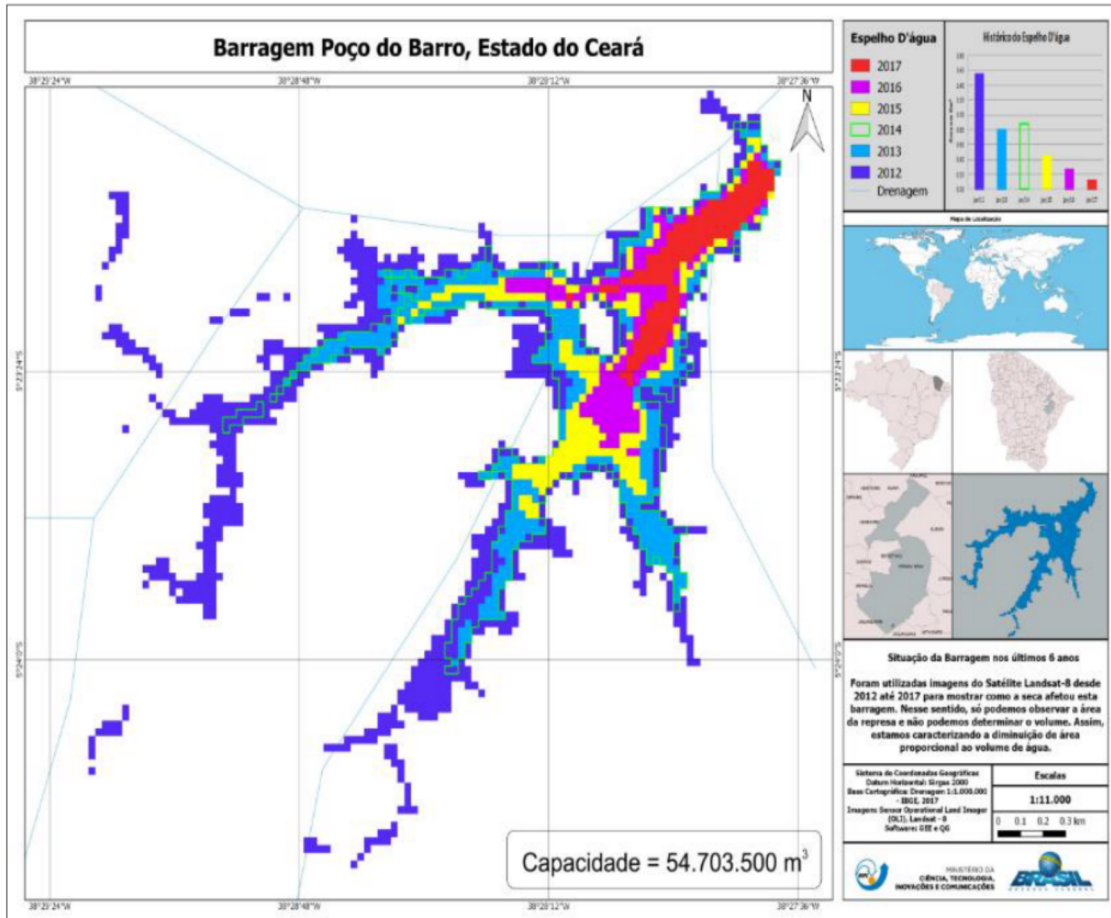
Fonte: COGERH (2020).

3.1.4. Poço do Barro

O reservatório Poço do Barro está localizado na cidade de Morada Nova/CE, distante 170 Km da capital Fortaleza/CE. Finalizado sua construção em 1921, pertence a Bacia do Banabuiú e barra o chamado Riacho do Livramento. Possui capacidade volumétrica de 52 Hm³ e cota máxima de arrasamento de 125 m. A Figura 11 representa este reservatório.

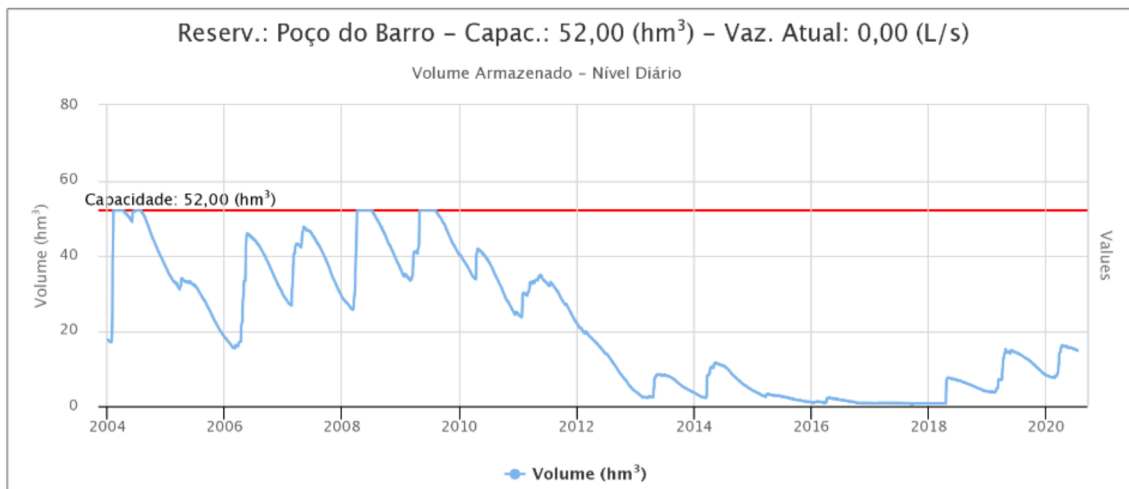
Conforme o gráfico apresentado pela Figura 12, a última sangria registrada foi em 2009. Desde então, apresentou uma redução do volume armazenado, registrando atualmente menos que 20% de volume.

Figura 11: Reservatório Poço do Barro.



Fonte: INPE (2018).

Figura 12: Evolução da capacidade volumétrica do reservatório Poço do Barro ao longo do tempo.



Fonte: COGERH (2020).

3.2. Uso do Google Earth Engine para a aquisição e processamento das imagens

Inicialmente, verificou-se a disponibilidade, quantidade e qualidade das imagens de satélite existentes na plataforma do Google Earth Engine. A Figura 13 apresenta o código.

Figura 13: Algoritmo do GEE para escolha do banco de dados das imagens.

```

1  //... ALGORITMO PARA ESCOLHA DO BANCO DE DADOS DAS IMAGENS ...//
2
3  // Escolha da Coleção de Imagens
4  var colecaoescolhida = ee.ImageCollection("LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA")
5
6  // Filtro para a escolha de imagens abrangendo a região selecionada
7  .filterBounds(reservatorio)
8
9  // Filtro para apresentação de imagens com incidência de nuvens dentro da porcentagem estabelecida
10 .filter('CLOUD_COVER > 0').filter('CLOUD_COVER < 70');
11
12 // Apresentação do layer escolhido para visualização
13 Map.addLayer(colecaoescolhida, {}, 'Imagem')
14

```

Após a análise, escolheu-se as quatro áreas de estudo para este trabalho com base nos critérios de quantidade e qualidade das imagens extraídas. Cada um dos reservatórios carregou uma característica pertinente.

A justificativa desta metodologia é discutir a influência que estas características apresentam para o objetivo final do trabalho. A Tabela 1 apresenta a escolha dos reservatórios com base nas características descritas. O conceito de ‘muita quantidade’ representa a coleção de imagens com quantidade com mais de 150 em média e ‘pouca quantidade’ a coleção de imagens com menos de 100 unidades (Tabela 2). Em relação a qualidade da imagem, associa-se a má qualidade à incidência de nuvens atrapalhando a visão do reservatório por completo e à eutrofização e a boa qualidade a fácil visualização do reservatório (Figura 14).

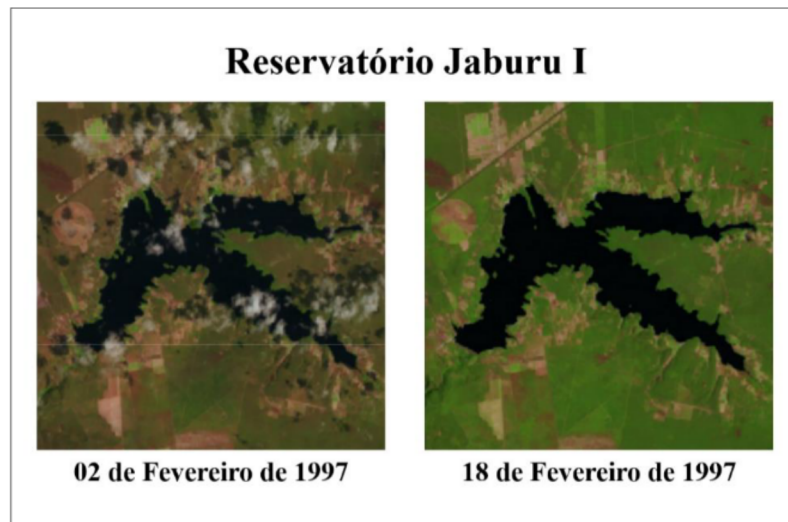
Tabela 1: Características da coleção de imagens de satélite dos reservatórios em análise.

RESERVATÓRIO	QUALIDADE DAS IMAGENS	QUANTIDADE DE IMAGENS
Jaburu I	BOA	ELEVADA
Castanhão	BOA	REDUZIDA
Lima Campos	RUIM	ELEVADA
Poço do Barro	RUIM	REDUZIDA

Tabela 2: Quantitativo de imagens de satélite extraídas.

RESERVATÓRIO	NÚMERO DE IMAGENS EXTRAÍDAS
Jaburu I	117
Castanhão	52
Lima Campos	192
Poço do Barro	56

Figura 14: Comparativo de qualidade da imagem de satélite extraída em diferentes datas.



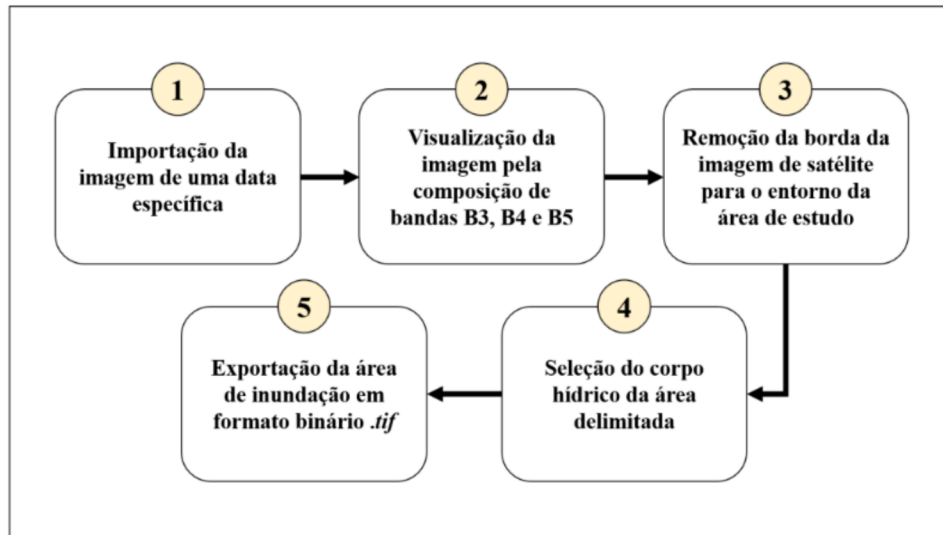
Conforme visualiza-se na tabela acima, o reservatório Castanhão foi analisado com base em imagens de boa qualidade e em pouca quantidade. O reservatório Jaburu I traz para análise uma grande quantidade de imagens de boa qualidade. Já o reservatório Lima Campos apresenta muitas imagens mas com má qualidade. E, por fim, o reservatório Poço do Barro apresenta poucas imagens e ainda todas com qualidade ruim.

Após a escolha da área de estudo supracitada, a segunda etapa baseou-se na extração e processamento das imagens. Foram utilizados os dados satelitários 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 disponíveis no banco de dados do GEE com resolução espacial de 30m e período de

revisita a cada 16 dias. Através do *Code Editor*, gerou-se um algoritmo em linguagem *Javascript* que permite, através da imagem do reservatório, extrair a área de inundação do reservatório em imagem binária em diferentes datas entre os anos de 1980 e 2019.

O processamento das imagens feito através da criação do algoritmo no GEE baseou-se nas seguintes etapas listadas abaixo pela Figura 15:

Figura 15: Etapas de aquisição e processamento das imagens pelo Google Earth Engine.



Conforme é apresentado, como primeira etapa, analisou-se cada uma das inúmeras imagens disponíveis do reservatório analisado na plataforma do GEE e selecionou-se aquelas em que a incidência de nuvens no reservatório eram poucas o suficiente para não atrapalhar a identificação da área de inundação do açude.

Para cada um dos reservatórios, havia um grande banco de dados de imagens disponíveis na plataforma do GEE. Com a existência de 50 anos de dados e sabendo que durante todo esse período imagens Landsat realizam novos registros do satélite a cada 16 dias, reforça-se o grande acervo de imagens. Então para cada reservatório, foi feita a análise individual de cada imagem, verificando a sua qualidade. Ao todo, para esta dissertação foram analisadas 4387 imagens. Dessa forma, obteve-se o conjunto de imagens selecionadas de cada um dos quatro reservatórios. A seguir, a Figura 16 representa o algoritmo criado para esta etapa.

Figura 16: Algoritmo do GEE para aquisição e processamento das imagens.

```

Imports (1 entry)
var reservatorio: Polygon, 87 vertices
1 //... ALGORITMO PARA A EXTRAÇÃO DAS IMAGENS ...//
2
3 // Escolha da Imagem datada
4 var imagem = ee.Image('LANDSAT/LT05/C01/T1_TOA/LT05_216064_20080626');
5
6 // Apresentação do layer escolhido para visualização
7 Map.addLayer(imagem, {bands: ['B5', 'B4', 'B3']}, 'Imagem datada');
8
9 //Função para remover borda
10 var borderRemove = function(imagem){
11     var reservatorio = imagem.geometry();
12     return imagem.clip(reservatorio.buffer(-500.0));
13 };
14
15 //Seleção da hidrografia do reservatório
16 var hsvComposite = imagem.select(['B5', 'B4', 'B3']).rgbToHsv();
17 var hue = hsvComposite.select('hue');
18 var agua = hue.updateMask(hue.lte(0.92));
19 agua = agua.updateMask(hue.gte(0.35));
20 var Imagemagua = ee.Image(1).updateMask(agua).clip(reservatorio);
21
22 // Apresentação do Layer escolhido para visualização
23 Map.addLayer(Imagemagua, {}, 'Imagem Água');
24
25 // Exportação da área de inundação
26 Export.image.toDrive({
27     image: Imagemagua,
28     description: '2008_06_26',
29     folder: 'mosaico',
30     maxPixels: 1000000000000,
31     scale: 30,
32     region: reservatorio
33 });
34

```

Posteriormente, realizou-se o processamento da região de estudo inserindo a composição de bandas B3, B4 e B5 a fim de evidenciar a fácil visualização da área hidráulica de cada um dos reservatórios, pois cada uma das bandas representa níveis de cinza diferentes que, quando unidas, permitem a melhor visualização das áreas de estudo. Em seguida, realizou-se o contorno da imagem delimitando o reservatório em questão. Com o polígono da imagem delimitada, extraiu-se a região que corresponde a área hidráulica do reservatório e realizou-se sua posterior exportação em formato binário .tif com resolução espacial de 30m. Esse processo era individualizado para cada imagem e tinha um tempo de simulação em torno de 20s aproximadamente.

3.3. Coleta de Dados do Nível de Água dos Reservatórios

Em paralelo a extração da área de inundação de cada um dos reservatórios, de acordo com a data das imagens, obteve-se o valor do nível da água destas datas no site do portal hidrológico da COGERH (2020), disponível em <www.hidro.ce.gov.br>. Os dados dos níveis da água são medidos através de batimetrias.

3.4. Método dos mínimos quadrados

A obtenção da equação final foi feita através do método dos mínimos quadrados, que resulta na resolução de um sistema de equações lineares por regressão.

A regressão linear é um processo estatístico que procura determinar a equação matemática mais adequada para definir a relação entre duas variáveis. Muitas vezes a posição dos pontos experimentais no diagrama de dispersão sugere a existência de uma relação funcional entre as duas variáveis (KILHIAN, 2019).

Como neste trabalho o tipo de regressão adotada é a linear, então a regressão y em função de x , onde X é a área de inundação e Y é o nível de água, é dada pela seguinte equação 1:

$$y = \alpha + \beta x \quad (1)$$

Os parâmetros α e β da reta teórica podem ser estimados através dos pontos experimentais fornecido por uma amostra, obtendo uma reta estimativa da forma pela equação 2:

$$\hat{y} = a + bx \quad (2)$$

Onde a é a estimativa do parâmetro α e b também chamado de coeficiente de regressão linear, é a estimativa do parâmetro β . O símbolo \hat{y} é utilizado para uma distinção dos valores dados pela reta estimativa, das ordenadas dos pontos experimentalmente obtidos.

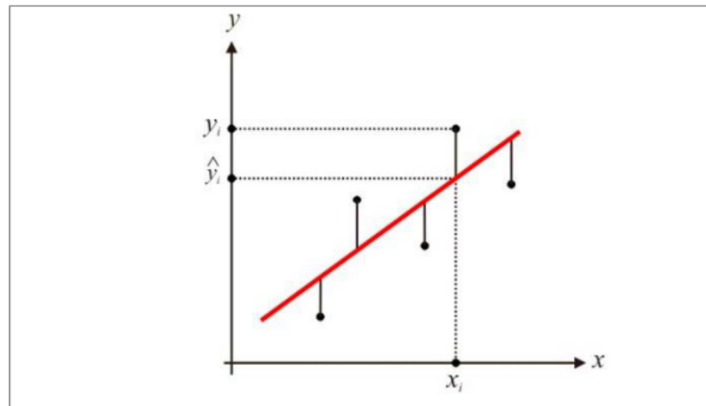
A aplicação do princípio de ajustamento linear leva ao procedimento de mínimos quadrados, segundo o qual a reta a ser adotada deverá ser aquela que torna mínima a soma dos quadrados das distâncias da reta aos pontos experimentais, medidas no sentido da variação aleatória, que, como estamos considerando somente a variável y como aleatória, no caso o nível da água, essas distâncias serão medidas na direção vertical.

Devemos procurar a reta para a qual se consiga minimizar a seguinte condição expressa na equação 3:

$$\sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (3)$$

sendo as distâncias d_i , como as indicadas na Figura 17:

Figura 17: Distância cuja soma dos quadrados deve ser minimizada.



Fonte: Kilhian (2019).

Dessa forma, na equação 1 impôs-se a seguinte condição apresentada na equação 4:

$$\min \sum_{i=1}^n d_i^2 = \min \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 = \min \sum_{i=1}^n (y_i - a - b \cdot x_i)^2 \quad (4)$$

Os valores a e b que minimizam essa expressão serão aqueles que anulam as derivadas parciais dessa expressão 5:

$$\frac{\partial}{\partial a} \sum_{i=1}^n d_i^2 = 0 \quad \text{e} \quad \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n d_i^2 = 0 \quad (5)$$

Da última forma da equação (4), fazemos as derivadas parciais (5):

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - a - b x_i)^2$$

Para a , tem-se que:

$$\frac{\partial f}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (y_i - a - b x_i) \cdot (-1)$$

$$\frac{\partial f}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b x_i)$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - b x_i) = 0 \quad (6)$$

Para b , tem-se que:

$$\frac{\partial f}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2 \cdot (y_i - a - b x_i) \cdot (-x_i)$$

$$\frac{\partial f}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_i - a - bx_i)$$

$$-2 \sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (7)$$

As equações (6) e (7) nos fornecem um sistema linear de duas equações e duas incógnitas. De (6) tem-se:

$$\sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n a + \sum_{i=1}^n bx_i$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + \sum_{i=1}^n bx_i \quad (8)$$

Onde n é o número de dados experimentais.

De (7) tem-se:

$$\sum_{i=1}^n x_i \cdot (y_i - a - bx_i) = 0$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^n x_i a + b \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad (9)$$

Associando (8) e (9) obtém-se o sistema linear:

$$\sum_{i=1}^n y_i = na + \sum_{i=1}^n bx_i$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^n x_i a + b \sum_{i=1}^n x_i^2$$

Os pontos experimentais fornecem os elementos para a montagem desse sistema, cuja solução fornecerá os coeficientes a e b , para criação da equação de correlação entre Cota e Área dos reservatórios.

O valor de correlação ao quadrado (R^2) é a medida estatística de quão próximos os dados estão da linha de regressão ajustada. Ele também é conhecido como o coeficiente de determinação e é o parâmetro de eficácia da relação entre duas variáveis. Segundo Moriasi et al. (2007), este pode ser calculado de acordo com a equação 10:

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(\sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}}$$

Este valor é classificado da seguinte forma:

- Para R^2 maior que 0.6, a relação entre as variáveis é considerada forte;
- Para R^2 entre 0.3 e 0.6 a relação entre as variáveis é considerada moderada;
- Para R^2 menor que 0.3 a relação entre as variáveis é considerada fraca;
- Para R^2 igual a 0, considera-se que não há relação entre as variáveis.

3.5. Uso do programa Scilab para a Criação da Equação de Correlação Nível x Área

Para a realização da aplicação do método dos mínimos quadrados, criou-se um algoritmo no Software Scilab 6.0 que permitiu gerar uma equação que relaciona o nível da água do reservatório com sua respectiva área. O uso do Scilab se justifica pois nele é possível resolver sistemas de equações lineares e há a possibilidade de lidar com biblioteca de imagens. Para tal, utilizou-se uma rotina para leitura dos arquivos das imagens tif para extração das informações (LUH, 2019).

Para a execução do algoritmo, foram inseridos dois arquivos de entrada. O primeiro arquivo foi uma pasta contendo a coleção de imagens *.tif* apresentando a área de inundação do reservatório em diferentes datas. As imagens são do tipo binária, ou seja, a cor preta constitui a região com ausência de água e é representado pelo 0; e a cor branca, que representa a existência de água, será constituída pelo 1 (Figura 18). O segundo arquivo é do tipo *.txt* contendo os valores do nível da água de cada uma das datas escolhidas para extração das imagens.

Figura 18: Exemplo de imagem binária extraída do Google Earth Engine.



A biblioteca utilizada para a execução do algoritmo (LUH, 2019) interpretou essa imagem binária e criou uma matriz onde cada elemento desta matriz representa um número binário existente na imagem. Para o cálculo da área de inundação, foi contabilizado o número de pixels que representam a existência de água e esse valor multiplicado pela área real que cada pixel representa. Como se trata de uma imagem Landsat, cada pixel representa 30m x 30m.

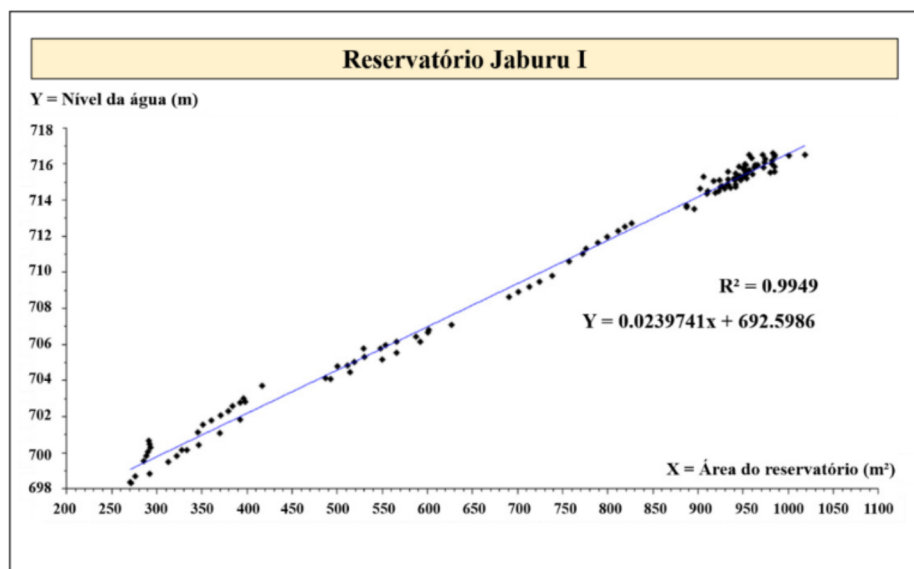
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização de todas as etapas metodológicas, obteve-se como resultado a reta de correlação linear e sua respectiva equação (Figuras 19, 20, 21 e 22). Para cada um dos reservatórios, obteve-se o resultado apresentado a seguir.

4.1. Reservatório Jaburu I

O reservatório Jaburu I apresentou uma boa correlação linear: $R^2 = 0.9949$. Este valor é consequência da boa qualidade das imagens, pois todas as 117 imagens extraídas apresentavam a fácil visualização do reservatório. O gráfico apresentado na Figura 19 mostra que há uma notória aproximação dos pontos a reta, confirmando o bom resultado de correlação.

Figura 19: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Jaburu I.



A equação de correlação do reservatório Jaburu I é dada por:

$$Y = 0,0239741 x + 692,5986$$

Onde:

X representa a área de reservatório em m²;

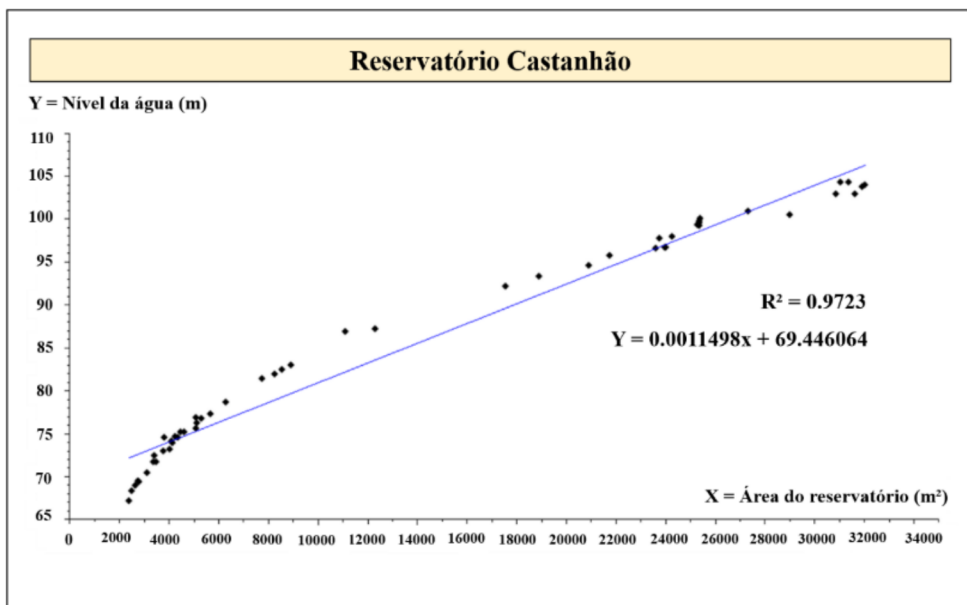
Y representa o nível da água em m.

4.2. Reservatório Castanhão

O reservatório Castanhão apresentou uma boa correlação linear: $R^2 = 0.9723$. Este valor é consequência da boa qualidade das imagens. Dessa forma, foi esperado que esse resultado fosse próximo ao valor do reservatório Jaburu I, de correlação $R^2 = 0.9949$, pois ambos apresentaram imagens de boa qualidade.

A figura 20 representa reta de regressão juntamente com o valor da equação e R^2 .

Figura 20: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Castanhão.



A equação de correlação do reservatório Castanhão é dada por:

$$Y = 0,0011498 x + 69,446064$$

Onde:

X representa a área de reservatório em m²;

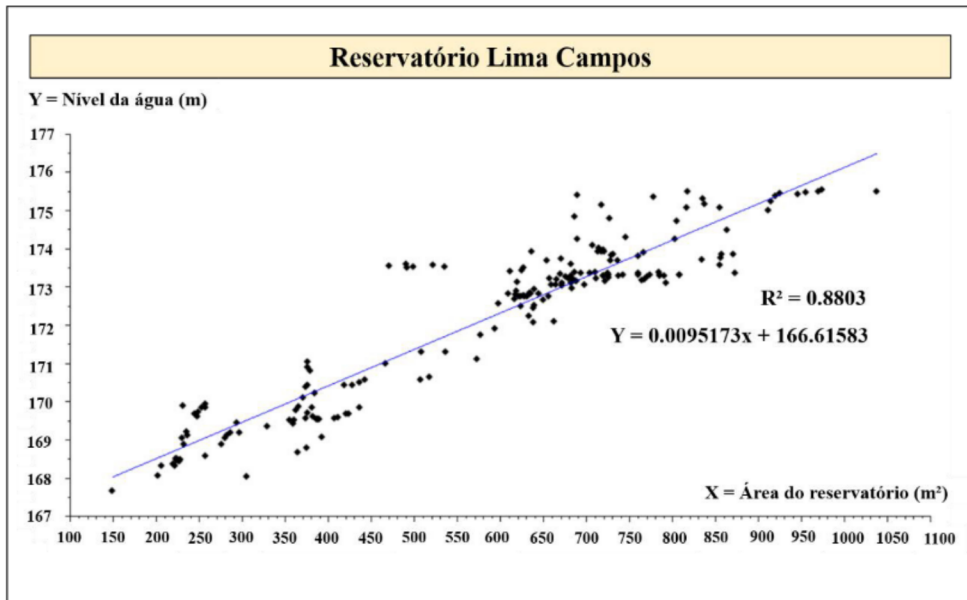
Y representa o nível da água em m.

4.3. Reservatório Lima Campos

O reservatório Lima Campos apresentou uma correlação linear relativa de $R^2 = 0.8803$. Infere-se que este valor é consequência da grande quantidade de imagens com baixa qualidade, resultado da grande incidência de nuvens e da eutrofização do reservatório. O resultado do reservatório Lima Campos permitiu afirmar que há influência no valor de correlação a

qualidade das imagens extraídas para a criação da equação. A Figura 21 mostra o gráfico da reta de regressão acompanhado de sua equação.

Figura 21: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Lima Campos.



A equação do reservatório Lima Campos é dada por:

$$Y = 0,0095173 x + 166.61583$$

Onde:

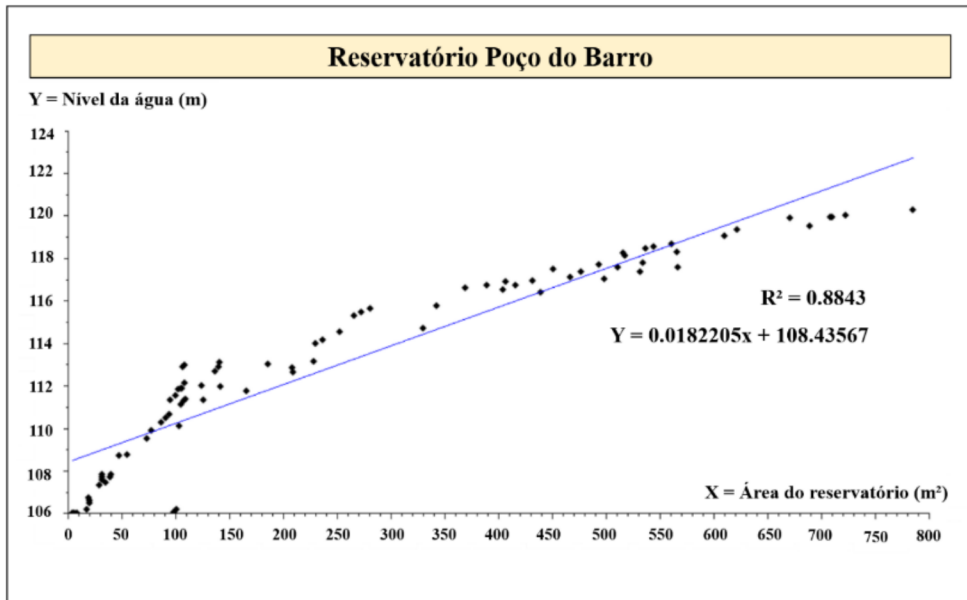
X representa a área de reservatório em m²;

Y representa o nível da água em m.

4.4. Reservatório Poço do Barro

O reservatório Poço do Barro, representando o reservatório com a coleção de imagens de pouca quantidade e estas de má qualidade, apresentou uma correlação relativa em relação aos reservatórios Jaburu I e Castanhão: $R^2 = 0.8843$. Analisando estes valores, foi possível concluir que imagens de boa qualidade influenciam diretamente na correlação linear para a geração da equação e que quanto mais imagens de qualidade ruim, menor será a correlação. A Figura 22 mostra o gráfico da reta de regressão acompanhado de sua equação.

Figura 22: Reta de regressão linear Cota x Área do reservatório Poço do Barro.



A equação do reservatório Poço do Barro é dada por:

$$Y = 0,0182205 x + 108,43567$$

Onde:

X representa a área de reservatório em m²;

Y representa o nível da água em m.

4.5. Aparato geral de resultados

A Tabela 3 apresenta um resultado geral comparativo entre os quatro reservatórios estudados. Conforme é mostrado, percebe-se a diferença de correlação para os reservatórios que possuem boa qualidade das imagens em comparação aos que não possuem.

Entretanto, mesmo com diferença nos valores, todos os valores de R^2 foram satisfatórios para o objetivo final do trabalho, validando a eficácia da metodologia e tecnologias empregadas.

Tabela 3: Quadro-resumo dos resultados.

RESERVATÓRIO	QUALIDADE DAS IMAGENS	QUANTIDADE DE IMAGENS	R²
Jaburu I	BOA	ELEVADA	0.9949
Castanhão	BOA	REDUZIDA	0.9723
Lima Campos	RUIM	ELEVADA	0.8803
Poço do Barro	RUIM	REDUZIDA	0.8843

5. DISPONIBILIDADE DE DADOS

O algoritmo desenvolvido no *software* Scilab para a geração das equações por regressão linear encontra-se disponível para *download* e pode ser acessado através do link, disponível em: http://www.aquacad.net/reservoirs_level_satellite_images. O banco de dados das imagens coletadas também se encontra disponível no link supracitado. Para executar o programa desenvolvido, é necessário instalar a biblioteca de imagens desenvolvida por LUH (2019).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo principal do trabalho foi utilizar a plataforma Google Earth Engine como tecnologia para realizar a extração da área de inundação de 4 (quatro) reservatórios em diferentes datas ao longo de sua operação e, com os respectivos dados do nível da água, criar uma equação por regressão linear para cada um deles que faça a relação entre a cota e a área do reservatório.

Conforme foi apresentado os resultados, concluiu-se que este objetivo foi alcançado, ao mostrar que informações fornecidas por processamento de imagens podem ser um instrumento complementar para confecção e atualização das CAV's, pois obteve-se valores de correlação dos resultados acima de 0,88, evidenciando a eficiência da metodologia utilizada.

Outra conclusão que pode ser feita é que mesmo tendo bons resultados de forma geral para os quatro reservatórios, obteve-se uma diferença entre os valores de correlação quanto à qualidade das imagens. Coleções de imagens que apresentaram boa qualidade, isto é, a fácil visualização do reservatório, foram as de melhores resultados na regressão linear. Isso mostra que mesmo a metodologia sendo de grande eficácia, esta será ainda maior à medida se trabalha com imagens de boa qualidade.

De forma geral, o sensoriamento remoto pode ser uma ferramenta para complementar e auxiliar na gestão de reservatórios hídricos, tanto com o uso de imagens quanto de dados altimétricos de sensores embarcados em satélites. Mesmo sabendo que os principais açudes construídos na região possuem seções de réguas para medições de nível da água, verificamos que as séries históricas possuem muitas falhas, assim o dado de altimetria com satélite pode ajudar a recompor parte dessas séries.

As perspectivas futuras para o uso do sensoriamento remoto são boas pois com o avanço da tecnologia e da melhor resolução espacial e temporal das imagens, será possível difundir o uso da metodologia para reservatórios locais de menor porte, auxiliando ainda mais na gestão de recursos hídricos.

Recomenda-se estender este trabalho de dissertação para todos os reservatórios cearenses monitorados pela COGERH, para aqueles que não possuem a frequência de medição do nível de água in loco e para os reservatórios locais de menor porte e que se realize a criação de equações para análises de outros parâmetros hidráulicos, como é o caso do volume de água dos reservatórios.

Outra recomendação a ser feita é que, devido a escolha das imagens neste trabalho ter sido feita de forma manual, seria interessante que fosse analisado o uso de técnicas de inteligência artificial para que sejam identificadas e separadas as imagens boas das ruins, que esse processo seja feito de forma mais automatizada. Além disso, outra sugestão a ser feita é solicitar junto a COGERH a possibilidade de acesso ao banco de dados dos valores do nível da água, assim como verificar junto a Google a possibilidade de acesso ao banco de dados das imagens, ambos via linguagem de programação.

Todas as sugestões acima são interessantes para a criação de um futuro trabalho de maior impacto científico pois, dessa forma, seria criado um programa que realizaria todas as etapas feitas neste trabalho de forma automatizada, criando assim uma excelente ferramenta de gestão dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

COGERH – **Companhia de Gestão de Recursos Hídricos**. Portal Hidrológico, 2020. Disponível em: <http://www.hidro.ce.gov.br/>.

COSTA, F. A. **Sensoriamento remoto aplicado ao monitoramento de reservatório no semiárido do nordeste: Poço da Cruz, Pernambuco**. 2019. Dissertação (Mestrado em Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

DNOCS – **Departamento Nacional de Obras Contra as Secas**. Monitoramento de reservatórios. Fortaleza, 2016. Disponível em: http://www.dnocs.gov.br/~dnocs/php/comunicacao/monitoramento_de_reservatorios.php.

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*, v. 134, p. 403-416, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2013.03.010>.

GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., MOORE, R., 2017. **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**. *Remote Sens. Environ.* 2013.

INPE – **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Geoprocessamento: Principais Reservatórios Cearenses. Brasil, 2018. Disponível em: http://geopro.crn.inpe.br/RH_reser_Ceara.htm.

KILHIAN, K. **Regressão linear**, 2019. Disponível em: <https://www.obaricentrodamente.com/2010/07/regressao-linear.html>.

LUH, T. C. **Image Processing and Computer Vision Toolbox**: version 6.0. Scilab. Disponível em: <https://atoms.scilab.org/toolboxes/PCV>. Acesso em: 04 fev. 2020.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L., 2007. **Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations**. American Society of Agricultural and Biological Engineers. <https://www.researchgate.net/publication/43261199>.

OECD: **Water Quality and Agriculture: Meeting the Policy Challenge**, OECD Studies on Water, OECD Publishing, doi:10.1787/9789264168060-en, 2012.

SÁ, L. A.; **Utilização de imagens de satélite para determinação das curvas cota x área x volume do açude Itans, localizado no município de Caicó, Rio Grande do Norte, Brasil**. [2018]. 11 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Geoprocessamento Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

SILVA, A. L. F.; **Estudo de seca na Península Ibérica usando o Google Earth Engine**. [2018]. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia Geográfica) - Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, 2018.

TOLEDO, C. E.; ARAÚJO, J. C.; ALMEIDA, C. L. **The use of remote-sensing techniques to monitor dense reservoir networks in the Brazilian semiarid region**. International Journal of Remote Sensing, v. 35, n. 10, p. 3683-3699, 2014. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2014.915593>.

U.S. Geological Survey, 2010. **Thousands of Landsat Scenes in Google's Earth Engine**. URL: <https://landsat.usgs.gov/google-earth-engine> (Accessed 02.12.2017).

APÊNDICE – Dados dos níveis de água dos reservatórios

Reservatório Jaburu I			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
22/01/1993	714,68	20/09/2005	715,25
24/12/1993	713,47	06/10/2005	715,07
25/09/1995	716,38	07/11/2005	714,62
17/01/1997	715,52	26/01/2006	713,66
18/02/1997	715,54	02/05/2006	714,84
26/06/1997	716,44	21/07/2006	715,72
30/09/1997	715,96	09/10/2006	715,01
16/10/1997	715,85	10/11/2006	714,6
01/09/1998	715,18	26/11/2006	714,36
19/10/1998	714,66	25/08/2007	714,68
08/02/1999	713,6	10/09/2007	714,49
02/07/1999	716,27	11/08/2008	715,84
10/07/1999	716,28	15/11/2008	714,77
04/09/1999	715,92	17/12/2008	714,32
07/11/1999	715,25	01/10/2009	715,96
23/11/1999	715,08	02/11/2009	715,53
02/01/2000	714,84	27/04/2010	715,06
13/08/2000	716,46	18/09/2010	714,45
22/09/2000	715,94	03/07/2011	716,49
08/10/2000	715,78	08/07/2013	709,77
24/10/2000	715,62	09/08/2013	709,45
25/11/2000	715,28	25/08/2013	709,16
03/12/2000	715,19	10/09/2013	708,9
16/08/2001	715,93	26/09/2013	708,59
01/09/2001	715,8	15/12/2013	707,06
25/09/2001	715,59	01/02/2014	706,39
03/10/2001	715,51	24/05/2014	706,78
11/10/2001	715,42	09/06/2014	706,63
19/10/2001	715,33	11/07/2014	706,14
04/11/2001	715,14	12/08/2014	705,5
24/02/2002	714,83	28/08/2014	705,15
15/05/2002	716,56	29/09/2014	704,44
03/08/2002	716,07	15/10/2014	704,07
20/09/2002	715,65	18/12/2014	703,68
06/10/2002	715,45	14/07/2015	701,81
13/07/2003	716,17	31/08/2015	701,05
22/02/2004	716,5	02/10/2015	700,43
13/06/2004	716,48	18/10/2015	700,11

Reservatório Jaburu I			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
04/11/2004	715,33	03/11/2015	699,78
04/09/2005	715,4	19/11/2015	699,46
21/12/2015	698,81	16/03/2018	701,09
07/02/2016	698,31	19/05/2018	705,75
30/06/2016	700,66	06/07/2018	706,14
16/07/2016	700,47	07/08/2018	705,95
01/08/2016	700,27	23/08/2018	705,74
17/08/2016	700,03	24/09/2018	705,26
02/09/2016	699,78	10/10/2018	705,02
18/09/2016	699,52	26/10/2018	704,81
05/11/2016	698,66	29/12/2018	704,1
21/11/2016	698,36	15/02/2019	704,75
16/05/2017	702,78	25/07/2019	712,68
19/07/2017	702,99	10/08/2019	712,5
04/08/2017	702,77	26/08/2019	712,25
20/08/2017	702,55	11/09/2019	711,94
05/09/2017	702,3	27/09/2019	711,61
21/09/2017	702,04	13/10/2019	711,26
07/10/2017	701,78	29/10/2019	711,02
23/10/2017	701,51	30/11/2019	710,6
11/01/2018	700,13		

Reservatório Castanhão			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
27/03/2004	100,45	05/11/2015	81,96
05/10/2004	100,86	21/11/2015	81,36
21/08/2005	99,32	12/03/2016	78,65
06/09/2005	99,16	18/07/2016	76,76
28/01/2006	97,68	03/08/2016	76,24
24/08/2006	100,06	04/09/2016	75,11
25/09/2006	99,74	20/09/2016	74,52
11/10/2006	99,56	07/11/2016	74,52
12/09/2007	97,93	16/04/2017	73,13
26/06/2008	104,3	02/05/2017	73,86
12/07/2008	104,23	06/08/2017	71,66
14/09/2008	103,74	25/10/2017	69,33
31/07/2009	103,98	26/11/2017	68,27
20/11/2009	102,86	28/12/2017	67,18
06/08/2011	102,85	06/06/2018	77,24
08/06/2013	96,69	22/06/2018	76,88
24/06/2013	96,64	09/08/2018	75,61
10/07/2013	96,52	25/08/2018	75,13
12/09/2013	95,73	10/09/2018	74,62
15/11/2013	94,58	26/09/2018	74,08
11/06/2014	93,28	28/10/2018	72,98
14/08/2014	92,19	22/04/2019	72,47
27/04/2015	87,17	12/08/2019	71,66
13/05/2015	86,87	29/09/2019	70,4
04/10/2015	82,99	31/10/2019	69,43
20/10/2015	82,42	16/11/2019	68,9

Reservatório Lima Campos			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
23/07/1986	175,34	14/10/1993	171
09/09/1986	174,3	17/12/1993	169,35
25/09/1986	173,69	06/07/1994	169,06
15/01/1987	173,39	29/07/1994	168,8
21/04/1987	175,13	07/08/1994	168,68
24/06/1987	175,4	02/11/1994	168,04
11/08/1987	174,8	01/08/1995	173,59
12/09/1987	173,97	17/08/1995	173,49
09/05/1988	175,5	26/08/1995	173,53
21/07/1988	175,45	27/09/1995	173,54
06/08/1988	175,38	20/10/1995	173,53
22/08/1988	175,23	05/11/1995	173,57
30/09/1988	173,85	25/06/1996	175,5
09/08/1989	175,01	02/07/1996	175,47
01/09/1989	174,49	20/09/1996	173,8
24/05/1990	172,52	22/10/1996	173,36
31/05/1990	172,44	19/06/1997	175,5
16/06/1990	172,65	21/07/1997	175,08
27/07/1990	172,94	23/09/1997	173,32
19/08/1990	172,83	22/06/1998	173,06
06/10/1990	172,8	10/09/1998	173,04
15/10/1990	172,85	26/09/1998	173,05
25/12/1990	172,77	28/10/1998	173,05
08/03/1991	173,44	25/06/1999	175,31
19/06/1991	173,91	11/07/1999	175,17
05/07/1991	173,69	05/08/1999	175,08
22/08/1991	172,76	08/10/1999	173,7
09/10/1991	172,83	24/10/1999	173,32
18/04/1992	173,49	31/10/1999	173,09
13/05/1992	173,13	02/12/1999	172,09
14/06/1992	172,9	03/12/1999	172,06
08/08/1992	172,74	06/07/2000	174,84
17/08/1992	172,74	29/07/2000	173,74
20/10/1992	172,74	15/08/2000	173,26
05/11/1992	172,74	22/08/2000	173,19
24/01/1993	172,68	24/09/2000	173,25
09/02/1993	172,79	01/10/2000	173,22
20/03/1993	172,56	02/10/2000	173,22
21/04/1993	172,83	10/10/2000	173,18
07/05/1993	173,4	15/02/2001	171,1

Reservatório Lima Campos			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
22/05/2001	170,65	25/09/2006	173,2
30/05/2001	170,56	22/01/2007	173,14
24/07/2001	169,84	07/05/2007	173,69
01/08/2001	169,69	01/07/2007	173,25
02/08/2001	169,67	20/08/2008	173,86
17/08/2001	169,59	29/08/2008	173,58
18/08/2001	169,57	01/11/2008	173,17
04/10/2001	169,55	24/09/2009	173,28
20/10/2001	169,56	20/11/2009	173,31
13/11/2001	169,54	13/10/2010	173,3
07/12/2001	169,53	29/08/2011	173,9
08/12/2001	169,53	28/04/2013	173,91
22/04/2002	169,62	08/06/2013	173,92
08/05/2002	170,42	01/07/2013	173,86
20/07/2002	170,22	03/09/2013	173,3
21/08/2002	169,85	12/09/2013	173,32
13/09/2002	169,71	19/09/2013	173,3
25/11/2002	169,42	14/10/2013	173,36
06/07/2003	171,03	21/10/2013	173,37
15/07/2003	170,91	08/12/2013	173,28
22/07/2003	170,81	02/06/2014	174,24
23/08/2003	170,42	04/07/2014	174,09
01/09/2003	170,39	20/07/2014	174,02
10/10/2003	170,1	05/08/2014	173,92
11/11/2003	169,86	14/08/2014	173,82
20/11/2003	169,77	22/09/2014	173,23
13/12/2003	169,51	24/10/2014	173,38
07/01/2004	169,51	06/02/2015	173,14
30/05/2004	175,53	13/02/2015	173,09
01/07/2004	175,43	27/04/2015	173,34
12/10/2004	173,36	14/06/2015	173,59
06/11/2004	173,32	24/08/2015	173,35
31/12/2004	173,38	25/09/2015	173,09
06/04/2005	173,75	04/10/2015	172,96
12/08/2005	173,32	27/10/2015	172,5
06/09/2005	173,31	05/11/2015	172,24
29/09/2005	173,28	21/11/2015	171,9
31/10/2005	173,26	28/11/2015	171,74
20/05/2006	174,72	14/12/2015	171,29
08/08/2006	174,25	29/04/2016	171,3

Reservatório Lima Campos			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
09/07/2016	170,58	09/08/2018	169,72
18/07/2016	170,49	16/08/2018	169,68
25/07/2016	170,43	25/08/2018	169,61
07/11/2016	169,18	28/10/2018	169,21
26/06/2017	169,44	13/11/2018	169,11
06/08/2017	169,19	20/11/2018	169,05
13/08/2017	169,12	15/12/2018	168,89
22/08/2017	169,05	18/07/2019	168,37
07/09/2017	168,89	03/08/2019	168,33
09/10/2017	168,59	28/08/2019	168,44
26/11/2017	168,06	13/09/2019	168,49
28/12/2017	167,66	20/09/2019	168,47
22/06/2018	169,93	06/10/2019	168,47
29/06/2018	169,9	31/10/2019	168,51
08/07/2018	169,85	07/11/2019	168,5
15/07/2018	169,84	25/12/2019	168,31

Reservatório Poço do Barro			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
08/01/1987	117,38	03/02/2008	116,74
24/01/1987	117,03	12/07/2008	119,91
25/02/1987	116,41	14/09/2008	119,34
30/04/1987	117,56	19/12/2008	118,23
23/10/1987	114,7	13/06/2009	120,28
26/12/1987	113,13	06/08/2011	117,49
22/08/1988	119,06	08/06/2013	111,87
09/10/1988	118,47	24/06/2013	111,89
12/12/1988	117,59	10/07/2013	111,83
10/09/1989	119,52	11/08/2013	111,56
22/04/1990	117,8	27/08/2013	111,34
27/07/1990	117,11	15/11/2013	109,9
13/05/1992	118,29	26/05/2014	112,96
17/08/1992	117,35	11/06/2014	112,87
20/10/1992	116,53	14/08/2014	112,15
14/04/1993	114,16	27/04/2015	108,77
30/04/1993	114	13/05/2015	108,7
04/08/1993	113,03	04/10/2015	107,82
24/11/1993	110,12	20/10/2015	107,7
09/06/1996	120	21/11/2015	107,43
25/06/1996	119,95	02/07/2016	107,85
12/06/1997	116,88	18/07/2016	107,71
16/09/1997	115,76	03/08/2016	107,58
15/06/1998	111,96	04/09/2016	107,33
06/09/1999	112,86	07/11/2016	106,73
03/12/1999	111,76	02/05/2017	106,62
25/04/2000	112,64	03/06/2017	106,5
15/02/2001	111,35	06/08/2017	106,19
20/07/2002	115,63	25/10/2017	106
05/08/2002	115,47	26/11/2017	106
21/08/2002	115,3	28/12/2017	106
01/09/2003	116,61	06/06/2018	111,38
02/08/2004	119,93	22/06/2018	111,28
10/02/2005	117,68	24/07/2018	111,1
21/08/2005	116,94	09/08/2018	106,18
06/09/2005	116,71	25/08/2018	106,04
28/01/2006	114,55	10/09/2018	110,64
24/08/2006	118,68	26/09/2018	110,47
11/10/2006	118,13	12/10/2018	110,29
12/09/2007	118,54	15/12/2018	109,52

Reservatório Poço do Barro			
Data da Imagem	Nível da água (m)	Data da Imagem	Nível da água (m)
29/09/2019	113,1	31/10/2019	112,68
15/10/2019	112,9	18/12/2019	112,01