

LAUDO TÉCNICO CONCLUSIVO

Avaliação das Condições Físicas da Barragem Lomba do Sabão



Contratante:



Consultoria:



Engenharia & Meio Ambiente

Contrato nº 19.10.000008750-5
OSA 2019-071
Março de 2020

LAUDO TÉCNICO CONCLUSIVO - BARRAGEM LOMBA DO SABÃO: AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DA BARRAGEM LOMBA DO SABÃO

Preparado para:
DMAE - DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS
Porto Alegre - RS

Preparado por:
AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI - EPP
Porto Alegre - RS

Distribuição:

01 cópia DMAE - DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS

01 cópia AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI - EPP

NOTA

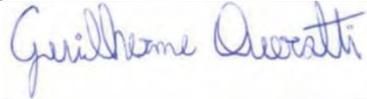
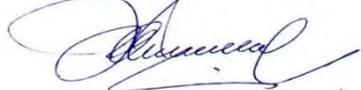
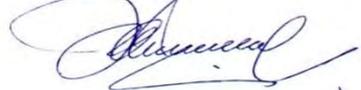
Este Relatório foi preparado pela Agrosig a partir das normas técnicas recomendadas para trabalhos desta natureza, em estreita observação aos ditames da Legislação vigente e dos termos e condições contratuais firmados com o Cliente. Considerada esta premissa, a Agrosig se isenta de quaisquer responsabilidades perante o Cliente ou terceiros pela utilização dos dados e conteúdos contidos neste Relatório, ainda que parcialmente, fora do contexto citado no Contrato de Prestação de Serviços. Reitera-se, que todo o conteúdo é confidencial e destinado à utilização exclusiva do Cliente, de forma que a Agrosig não se responsabiliza pela utilização do material, ainda que parcialmente, por terceiros. Cópias do conteúdo ou a utilização dos dados para outros fins somente poderão ser efetuadas a partir da obtenção da autorização formal do Cliente ou da Agrosig. A impressão ou reprodução deste documento sem autorização torna a cópia não controlada.

A primeira via deste documento contém todas as páginas devidamente rubricadas pelo(a) Responsável pela elaboração do Relatório.

Mês/Ano	Ordem Serviço	Contrato	Código Documento
Março, 2020	OSA2019-071	19.10.000008750-5	OSA 2019-071 DMAE INSPECAO BARRAGEM LOMBA SABAO R2.docx

Controle Versões	Documento		Data Emissão
	Versão 1	<input type="checkbox"/>	02/03/2020
	Revisão 1	<input type="checkbox"/>	12/03/2020
	Revisão 2	<input checked="" type="checkbox"/>	26/03/2020
	Versão Aprovada Cliente	<input type="checkbox"/>	

Controle de Produção do Documento

	Profissional	Qualificação	Registro Profissional	Assinatura
Elaborado	Guilherme Querotti	Engenheiro Civil	CREA RS 242661	
Revisado	Evandro Gottardo	Geólogo Ms Dr	CREA RS 83699	
Aprovado	Jorge Vidal Olivera Duarte	Engenheiro Agrícola Ms Especialista	CREA RS 44141	
Autorizado	Jorge Vidal Olivera Duarte	Engenheiro Agrícola Ms Especialista	CREA RS 44141	

LAUDO TÉCNICO CONCLUSIVO - BARRAGEM LOMBA DO SABÃO: AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DA BARRAGEM LOMBA DO SABÃO

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	6
1.1 - Informações Gerais	6
1.2 - Identificação da Empresa de Consultoria Ambiental	6
2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
3 - HISTÓRICO.....	8
3.1 - Histórico do Empreendimento	8
3.2 - Histórico de Vistorias	9
4 - ASPECTOS GERAIS DA BARRAGEM.....	10
4.1 - Vertedouro	10
4.2 - Reservatório	11
4.3 - Maciço/taipa do Barramento	12
4.4 - Canal de Descarga e Bacia de Dissipação	12
4.5 - Tomada D'água	13
5 - ESTUDO HIDRÁULICO/HIDROLÓGICO.....	14
5.1 - Cálculo da Área de Contribuição.....	14
5.2 - Definição do Coeficiente <i>Curve Number</i>	16
5.3 - Cálculo da Chuva de Projeto.....	16
5.4 - Estudo Hidrológico	17
5.5 - Estudo Hidráulico	20
5.6 - Verificação dos Órgãos Extravasores	22
5.7 - Mancha de Inundação.....	22
6 - IMAGEAMENTO DE ALTA RESOLUÇÃO COM DRONE	23
6.1 - Equipamentos Técnicos	25
6.2 - Condições Climáticas	26
6.3 - Parâmetros Técnicos do Voo	26
6.4 - Rede de Pontos de Apoio de Campo.....	28
6.5 - Geração do Mosaico de Fotos Aéreas e Modelo Digital de Superfície	29
7 - ANOMALIAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	31
7.1 - Vegetação Excessiva	31
7.1.1 - Manifestação Patológica.....	31
7.1.2 - Diagnóstico	33
7.1.3 - Prognóstico	35
7.1.4 - Terapia	35

7.1.5 - Profilaxia	35
7.2 - Atividade de Animais e Insetos	36
7.2.1 - Manifestação Patológica	36
7.2.2 - Diagnóstico	37
7.2.3 - Prognóstico	37
7.2.4 - Terapia	37
7.2.5 - Profilaxia	37
7.3 - Trilhas ao Longo da Crista	38
7.3.1 - Manifestação Patológica	38
7.3.2 - Diagnóstico	39
7.3.3 - Prognóstico	39
7.3.4 - Terapia	39
7.3.5 - Profilaxia	39
7.4 - Perda/Falha no <i>Rip-Rap</i>	39
7.4.1 - Manifestação Patológica	39
7.4.2 - Diagnóstico	40
7.4.3 - Prognóstico	40
7.4.4 - Terapia	40
7.4.5 - Profilaxia	41
7.5 - Fissuras	41
7.5.1 - Manifestação Patológica	41
7.5.2 - Diagnóstico	43
7.5.3 - Prognóstico	43
7.5.4 - Terapia	43
7.5.5 - Profilaxia	43
7.6 - Ruptura do Canal de Descarga	43
7.6.1 - Manifestação Patológica	43
7.6.2 - Diagnóstico	46
7.6.3 - Prognóstico	46
7.6.4 - Terapia	46
7.6.5 - Profilaxia	46
7.7 - Erosões	47
7.7.1 - Manifestação Patológica	47
7.7.2 - Diagnóstico	48
7.7.3 - Prognóstico	48
7.7.4 - Terapia	48
7.7.5 - Profilaxia	48

7.8 - Obstrução do Vale à Jusante	48
7.8.1 - Manifestação Patológica	48
7.8.2 - Diagnóstico	49
7.8.3 - Prognóstico	50
7.8.4 - Terapia	51
7.8.5 - Profilaxia	51
7.9 - Eutrofização do Reservatório	51
7.9.1 - Manifestação Patológica	51
7.9.2 - Diagnóstico	52
7.9.3 - Prognóstico	52
7.9.4 - Terapia	52
7.9.5 - Profilaxia	53
8 - CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS CORRETIVAS	53
9 - IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO	54
9.1 - Piezômetros Instalados no Aterro	55
9.2 - Marcos Topográficos e de Referência	56
9.3 - Instrumentação Adicional	56
9.4 - Instalação de Drenos	57
10 - ANÁLISE CONCLUSIVA	57
11 - EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO	58
12 - EQUIPE TÉCNICA	58
13 - REFERÊNCIAS	59
14 - ANEXOS	60

1 - INTRODUÇÃO

O Relatório em apreço trata do serviço de laudo técnico conclusivo das condições físicas e avaliação do estado geral de segurança da Barragem Lomba do Sabão, cujo responsável do empreendimento é o Departamento Municipal de Água e Esgotos (DMAE) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre. São apresentadas e comentadas as anomalias e manifestações patológicas da estrutura por meio de vistoria *in loco*, além de verificações hidráulico/hidrológica dos dispositivos extravasores.

Em sequência constam as informações gerais do empreendimento e identificação da empresa consultora.

1.1 - INFORMAÇÕES GERAIS

Dessa forma, primeiramente, é apresentada a localização do empreendimento. Posteriormente, é descrito um breve histórico dos principais eventos relacionados à Barragem Lomba do Sabão, além de dados gerais da estrutura. Os produtos principais deste trabalho são a análise hidráulico/hidrológica com verificação dos dispositivos

1.2 - IDENTIFICAÇÃO DA EMPRESA DE CONSULTORIA AMBIENTAL

Os principais dados de identificação da empresa de consultoria responsável pelos estudos técnicos constam do Quadro 1.

Quadro 1 - Dados gerais da empresa consultora.

Dados Gerais da Empresa Consultora			
Razão Social: Agrosig Engenharia e Meio Ambiente EIRELI - EPP			
CNPJ/M.F: 05.848.147/0001-50	CREA RS: 171.356	CRBIO 3 (RS): 657-03/2011	CTF/IBAMA: 5473920
Endereço Correspondência: Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201-204			
Bairro: Moinhos de Vento	CEP: 90510-040	Município: Porto Alegre/RS	
Telefone: (51) 3072-6563 ou (51) 3072-6863			
Contatos: Geólogo Evandro Gottardo / Engenheiro Jorge Vidal Olivera Duarte			
Endereço eletrônico: comercial.agrosigeng@gmail.com			

2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de interesse situa-se dentro do **Parque Natural Municipal Saint'Hilaire**, divisa entre os municípios de Porto Alegre e Viamão. Em relação a capital gaúcha, o Parque localiza-se no extremo leste com acesso principal pela Avenida Bento Gonçalves. O acesso ao interior do Parque se dá pela Rua da Represa, já no município de Viamão.

A Barragem Lomba do Sabão (Figura 1) está localizada nas coordenadas aproximadas de

latitude -30,0892 e longitude -51,1085, no Arroio Sabão, da Bacia Hidrográfica do Lago Guaíba, Região Hidrográfica do Guaíba e Sistema Aquífero Embasamento Cristalino I.



Figura 1 - Localização da área de estudo da Barragem Lomba do Sabão. Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH. Acesso em 29/01/2020.

A bacia do Arroio Dilúvio, importante curso hídrico da região, ocupa uma área total de 83,74 km², sendo que desta, 69,50 km² pertencem ao município de Porto Alegre e 14,24 km² ao município de Viamão. As nascentes do Arroio Dilúvio localizam-se nos limites do **Parque Natural Municipal Saint'Hilaire**, município de Viamão, formando o sistema principalmente pelos arroyos Vitorino, Taquara, Pequeno e Casa Velha, para então formar a Represa Lomba do Sabão.

3 - HISTÓRICO

3.1 - HISTÓRICO DO EMPREENDIMENTO

A construção da barragem Lomba do Sabão teve início na década de 40, a partir de 1944 com a aquisição da área com o objetivo de promover uma proteção hidrológica das diversas nascentes da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio, fato consumado em 1947 com a homologação da Lei nº 16/1947 que cria o Parque Municipal Saint'Hilaire.

Em 1951 iniciam-se as obras para construção de uma nova barragem junto à antiga, que havia pertencido a Companhia Porto alegreense, na Lomba do Sabão. Em 1954, entra em operação a Estação de Tratamento de Água (ETA) Lomba do Sabão, tendo como captação o manancial da barragem recentemente construída.

Com o passar do tempo, a represa tornou-se reserva estratégica de água potencialmente tratável para a população porto-alegrense, em caso de acidente ambiental que impossibilite temporariamente a utilização da água do Lago Guaíba, principal fonte de captação do DMAE. Em 2012, através da Portaria nº 44, foi constituída Comissão com representantes da Secretaria Municipal do Meio Ambiente (SMAM), Secretaria Municipal do Meio Ambiente e da Sustentabilidade de Porto Alegre (SPM), Secretaria Municipal da Fazenda de Porto Alegre (SMF), Procuradoria-Geral do Município de Porto Alegre (PGM), Departamento Municipal de Água e Esgotos(DMAE), Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB) e Centro Administrativo Regional do Partenon (CAR PARTENON), para fins de estudo das condições da Barragem da Lomba do Sabão.

O Atlas de Abastecimento Urbano de Água (2015) da ANA descreve o sistema de abastecimento da barragem, conforme Figura 2.

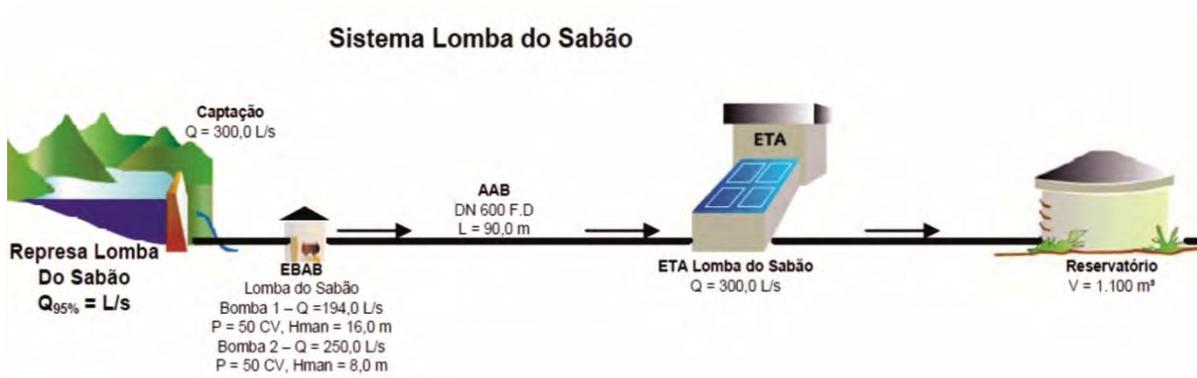


Figura 2-Sistema de Abastecimento Urbano de Água da Barragem Lomba do Sabão.Fonte: ATLAS Brasil ANA(2015).

De acordo com PMPA (2015), o município de Porto Alegre contou com o Sistema Lomba do Sabão até o ano de 2012. Em 2013 a ETA Lomba do Sabão foi desativada e as áreas até então abastecidas por este sistema foram absorvidas pelo Sistema Menino Deus, no entorno da Avenida Bento Gonçalves, e pelo Sistema Belém Novo. Em maio de 2013 a ETA da Lomba do Sabão foi desativada e as áreas até então abastecidas por este sistema foram absorvidas pelo Sistema de Abastecimento de Água do Menino Deus e Belém Novo.

Em setembro de 2013 foi realizado serviço de retirada de considerável volume de macrófitas no canal da barragem por empresa contratada, com vistas a promover a limpeza do canal, como medida remediativa após evento de fortes chuvas ocorrido no mês anterior. Em maio de 2013, a partir da desativação da ETA Lomba do Sabão, a Gerência de Tratamento de Água (GTAG) iniciou uma supervisão diária do nível da barragem, enquanto a Gerência de Serviços Compartilhados (GSER) responde pela segurança patrimonial no local, mediante contrato de vigilância em tempo integral.

Entre abril e julho de 2014 o Dmae instalou, através da Gerência de Manutenção Industrial (GMAN), dois sifões com diâmetro de 450/500mm no vertedouro da barragem. Posteriormente, em setembro de 2015, a GMAN instalou um terceiro sifão de 600mm.

No Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) não consta o cadastro da barragem. O sistema possui informações de barramentos para diferentes usos, inclusive para abastecimento urbano, submetidas ou não à Lei nº 12.334/2010. De acordo com o Ofício GAB nº 052/2019 da Divisão de Outorga e Fiscalização da SEMA, de 18 de junho de 2019, a barragem se enquadra na Política Nacional de Segurança de Barragens.

3.2 - HISTÓRICO DE VISTORIAS

De acordo com dados fornecidos pela Equipe de Planos Diretores de Água e Esgoto (EQPDAE), Gerência de Planejamento (GPLA) do DMAE, foram produzidos três trabalhos externos com relatório de vistoria/inspeção, conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Lista de vistorias/inspeções externas documentadas.

Autor	Data	Responsável técnico	Total de Páginas do Documento
TECNOSOLO	15/07/2005	Eng. Civil Everton Ghignatti	44
Departamento Municipal de Habitação (DEM HAB)	01/02/2019	Eng. Civil Edgar Eifler	20
Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (SEMA)	18/06/2019	Eng. Civil Paulo Renato Paim	07

A importância das vistorias no barramento se dá pelo dano potencial associado a possíveis impactos que um empreendimento desse porte pode proporcionar em situações de ruptura. Este trabalho em questão foi realizado por meio de duas vistorias em campo, sendo a primeira de reconhecimento de campo, registro fotográfico e coleta de informações, realizada no dia 20/01/2020; a segunda vistoria de coleta de informações adicionais e realização do voo para imageamento de alta resolução com drone (VANT), realizada no dia 07/02/2020.

4 - ASPECTOS GERAIS DA BARRAGEM

Em sequência são abordados os dados técnicos gerais do empreendimento Barragem Lomba do Sabão, com informações construtivas e hidrológicas.

4.1 - VERTEDOURO

A Barragem Lomba do Sabão não utiliza a vazão afluyente para aproveitamento hidrelétrico, pois seu principal uso é reservação de água para consumo humano e bacia de amortecimento de cheias do Arroio Dilúvio. Nesse caso, não há desvios de escoamento e todo volume excedente deveria ser vertido pelo vertedouro de concreto do tipo soleira livre em perfil CRAEGER, com aproximadamente 40 metros de comprimento, pode ser visualizado na Foto 1.



Foto 1 - Vertedouro de concreto da Barragem Lomba do Sabão. Data: 20/01/2020.

A estrutura possui capeamento com laje de concreto armado com espessura aproximada de 0,15 m, revestindo o talude de terra.

4.2 - RESERVATÓRIO

O reservatório possui área alagada de 69,2 hectares, aproximadamente. Já o perímetro molhado do corpo hídrico é estimado em 8,66 km. Tschiedel (2017a) estimou, por meio de modelo digital de elevação, a curva cota-volume (Figura 3) para o reservatório da barragem Lomba do Sabão. De acordo com o autor, o volume calculado superestimou em 16% em relação ao publicado por Maizonave *et al.* (2005).

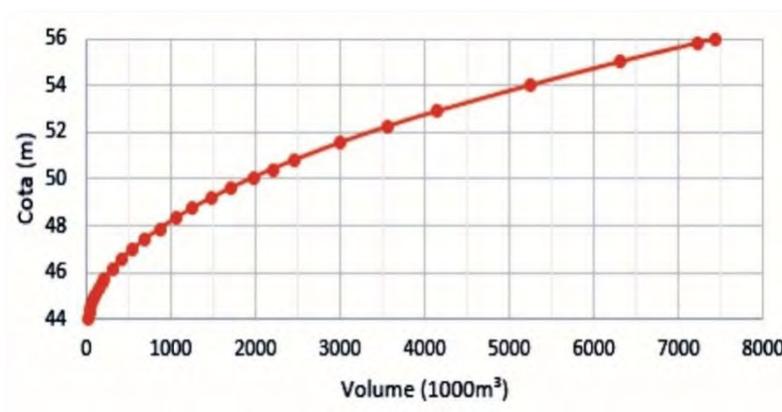


Figura 3 - Curva cota-volume para reservatório da Barragem Lomba do Sabão. Fonte: Tschiedel (2017a).

Ressalta-se que a curva apresenta valores relativamente superestimados, visto o processo de eutrofização do reservatório (Foto 2) com grande quantidade de vegetação aquática.



Foto 2 - Reservatório da Barragem Lomba do Sabão. Data: 20/01/2020.

A área de contribuição, ou seja, a área de drenagem até o exutório considerado no

vertedouro do barramento é de 15,4 km², equivalente a 1.541 ha, formado por seis principais afluentes. O volume normal armazenado é de 3.000.000,00 m³.

4.3 - MACIÇO/TAIPA DO BARRAMENTO

O maciço de terra tem aproximadamente 340 metros de extensão longitudinal, com talude de montante protegido por enrocamento e seção transversal é variável ao longo do corpo do barramento. De acordo com o último levantamento topográfico, os níveis variáveis entre 54,00 e 54,70 metros e largura média da crista de 5,10 metros, no qual formou-se em via de acesso, não pavimentada, com muro de pedras de granito para coroamento em ambos os lados, no sentido longitudinal em grande parte do trecho. A Foto 3 ilustra a crista do barramento.



Foto 3 - Crista da Barragem Lomba do Sabão. Data: 20/01/2020.

O talude de montante possui inclinações aproximadas a 1(V):2,5(H), com proteção de pedras do rip-rap em enrocamento, diâmetro médio de 40 cm. Já o talude de jusante possui inclinações correspondente a 1(V):2,2(H).

4.4 - CANAL DE DESCARGA E BACIA DE DISSIPAÇÃO

A jusante do vertedouro encontra-se o canal de descarga, com desenvolvimento curvo em planta, e seção transversal trapezoidal de largura variável. Seu fundo e paredes laterais são revestidos com lajes de concreto armado.

No final do canal foi projetada uma soleira de concreto com seção trapezoidal no sentido transversal ao escoamento, com o objetivo de promover o ressalto hidráulico e, dessa forma, dissipar a energia do escoamento. A jusante da estrutura está prevista uma laje para formação da bacia de dissipação. A Foto 4 demonstra a rampa do canal de descarga em tomada de jusante para montante.

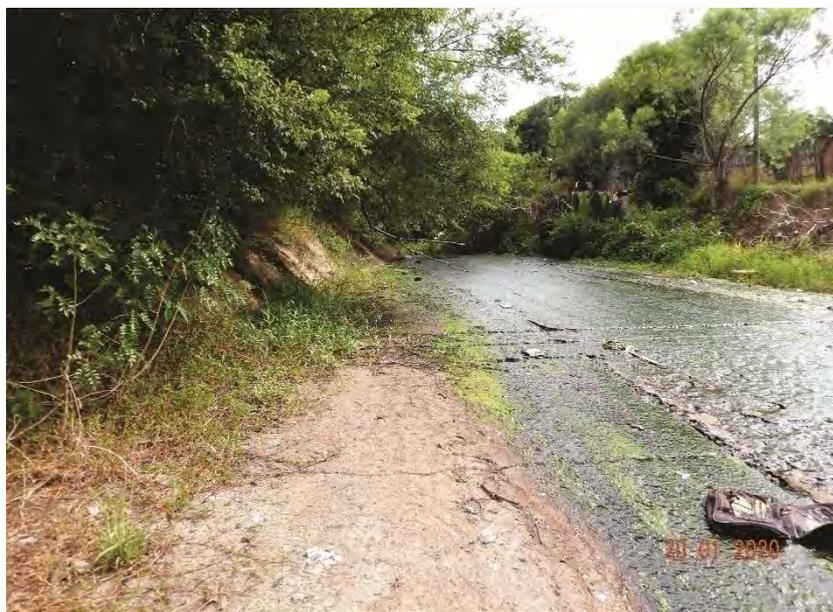


Foto 4 - Canal de descarga visto de jusante para montante. Data: 20/01/2020.

4.5 - TOMADA D'ÁGUA

Próximo a ombreira direita do barramento e do portão de acesso a ETA, a montante da barragem, localiza-se a torre em estrutura de concreto em formato cilíndrico que forma a **tomada d'água da estação de tratamento de água, que** atualmente se encontra desativada.

A jusante da tomada d'água, se localiza a torre de concreto com diâmetro externo de 5,20 metros, encontra-se a casa de bombas, também em desuso devido a não operação de ETA.

A Foto 5 apresenta a **torre de tomada d'água do empreendimento.**



Foto 5 - Tomada d'água da ETA da Barragem Lomba do Sabão. Data: 07/02/2020.

5 - ESTUDO HIDRÁULICO/HIDROLÓGICO

5.1 - CÁLCULO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO

A área de contribuição da Barragem Lomba do Sabão foi calculada por meio de técnica de geoprocessamento. Na criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) foi utilizada a junção de duas bases: base altimétrica vetorial contínua de Porto Alegre na escala 1:1.000, com curvas de nível a cada um metro processadas pelo Laboratório de Geoprocessamento (Labgeo) do Centro de Ecologia da UFRGS, e as curvas de nível do Relevo da Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao milionésimo 1:1.000.000 (BCIM), do IBGE, para complementação de espaços vazios. Os arquivos foram unidos para a criação do *raster* no *software ArcGis®ArcMap™ 10.5*, no qual é produzido um mosaico (Figura 4) georreferenciado no sistema de referência geocêntrico SIRGAS 2000 e sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa de Mercator*), amarrado em altitude ortométrica (marégrafo de Imbituba/SC).

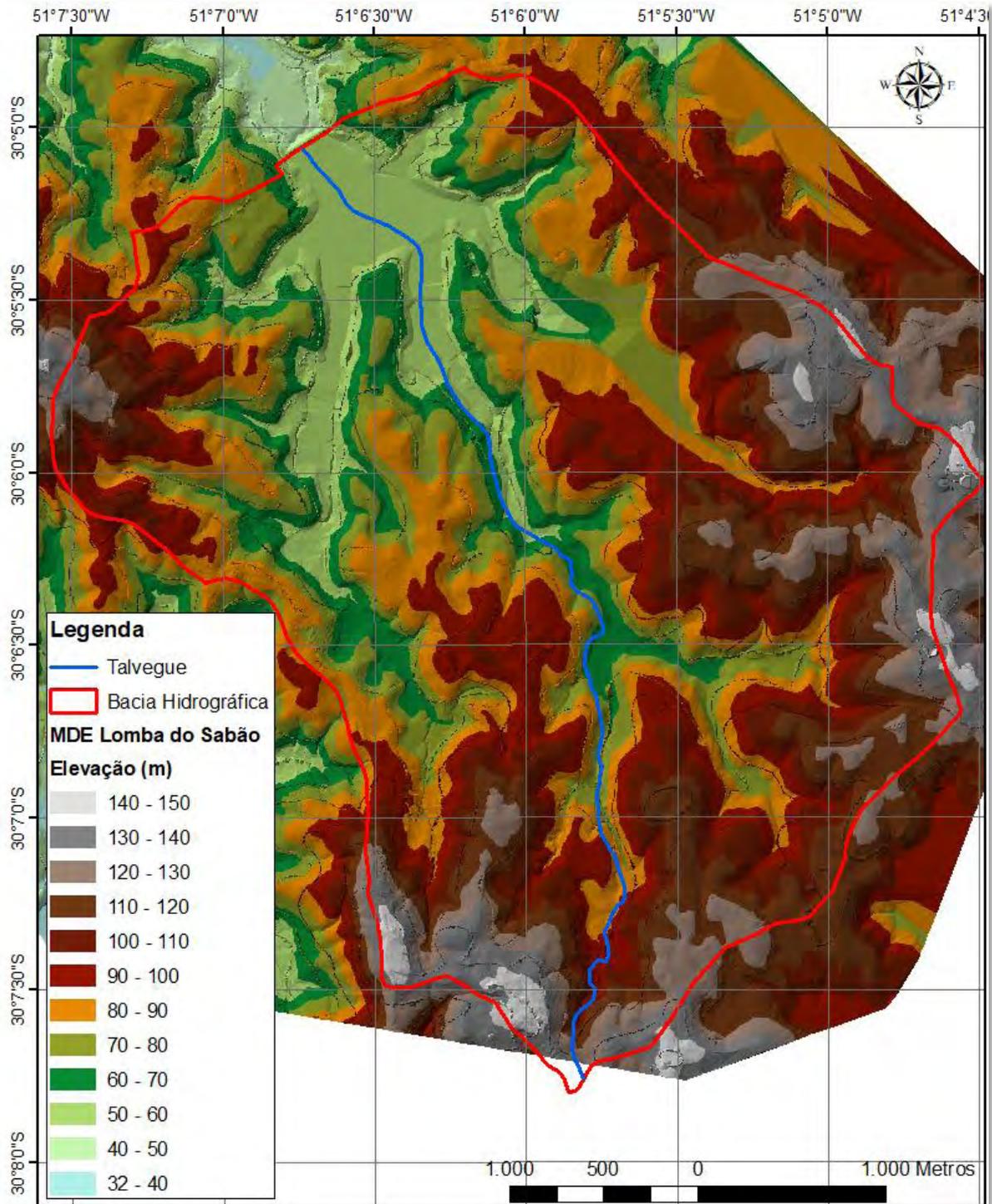


Figura 4 - Modelo digital de elevação da região da Barragem Lomba do Sabão.

Em posse do MDE, determina-se as dimensões de área de drenagem (km²) e perímetro da bacia (km) por meio da ferramenta *Watershed Processing*. Para este procedimento, seleciona-se o ponto de localização do vertedouro do barramento, que representa o exutório

da bacia no ponto mais baixo e, por meio da delimitação dos divisores de água, calcula-se o tamanho de área que flui a água até o ponto de interesse. Após, a delimitação da bacia foi ajustada com imagens de satélite, sobretudo sobre as vias públicas que são divisores de água. Por fim, a área de drenagem foi definida em 15,57 km² (equivalente a 1.557 ha) e perímetro da bacia de 16,629 km.

5.2 - DEFINIÇÃO DO COEFICIENTE *CURVE NUMBER*

Tassi *et al.* (2016) calcularam, por meio de 159 eventos de precipitações, o coeficiente *Curve Number* para quatro sub-bacias da bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio no município de Porto Alegre, incluindo a parte mais a montante da bacia, na região do Parque **Saint'Hilaire**, localidade das nascentes que contribuem para o reservatório da barragem. O estudo se dá com as simulações chuva-vazão pelo método SCS, no qual o coeficiente CN é calibrado com diferentes eventos hidrológicos conhecidos. Portanto, o CN médio estimado para a região é de 69,22 para a bacia de contribuição da Barragem Lomba do Sabão.

5.3 - CÁLCULO DA CHUVA DE PROJETO

Para geração do hidrograma de cheia no local do barramento foi utilizado o software **HEC-HMS**, com o método SCS (*Soil Conservation Service*), que representa um modelo chuva-vazão baseado em aproximações empíricas entre um dado evento de precipitação e aspectos geomorfológicos da bacia hidrográfica. A partir da geração dos hidrogramas (representação gráfica da variação da vazão ao longo do tempo), é possível analisar comparativamente a vazão de pico entre os locais de interesse deste.

Primeiramente, foi definida a equação IDF (Intensidade-Frequência-Duração). No Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PMPA, 2005), consta uma lista de equações IDF indicadas geograficamente por bairros do município. Nesse caso, a equação IDF adotada é a do Posto IPH/UFRGS, conforme Equação 1.

$$i = \frac{509,859 \cdot T^{0,196}}{(t+10)^{0,72}} \quad (1)$$

Onde: i = intensidade pluviométrica (mm/h);

T = tempo de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

Foram adotados diferentes tempos de retorno na aplicação do método dos blocos alternados, para obtenção do hietograma de projeto no local de estudo. O método de blocos

alternados tem por finalidade determinar o pico de precipitação, formando o bloco principal. Os blocos laterais são definidos por ordem de grandeza de valores no gráfico de precipitação. A Figura 5 ilustra o hietograma com 500 anos de tempo de retorno.

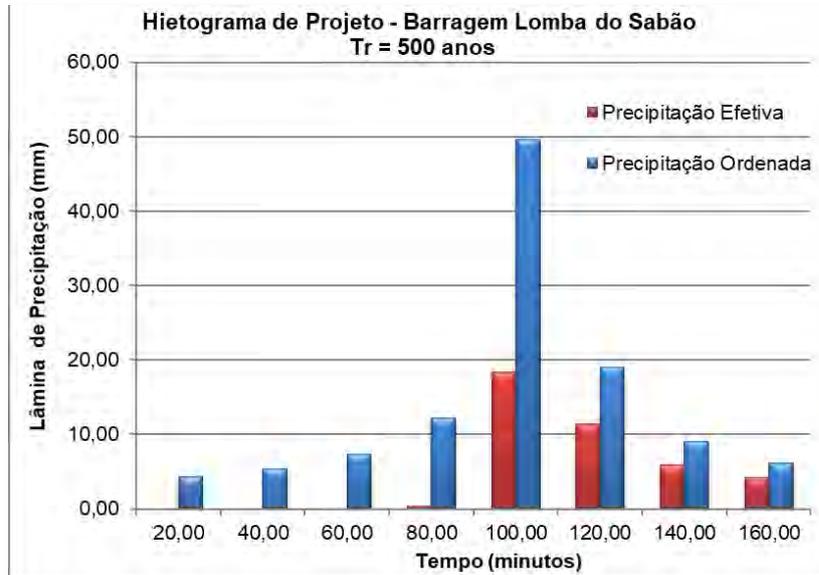


Figura 5 - Hietograma de projeto para a Barragem Lomba do Sabão.

5.4 - ESTUDO HIDROLÓGICO

Posteriormente, é determinado o tempo de concentração, denominação do tempo de duração do escoamento de determinada gota de chuva que precipita no ponto mais a montante da bacia até o ponto de exutório. De acordo com Silveira (2005), existem diversas equações para o cálculo do tempo de concentração. A escolha do tipo de equação leva em consideração as dimensões espaciais da bacia hidrográfica e o uso do solo, que nesse caso é predominantemente rural, com ocupação de 22% de mancha urbana na bacia até o barramento de interesse. A equação adotada é a de Kirpich, no qual apresenta bons resultados em bacias rurais, conforme Equação 2.

$$tc = 0,0663 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (2)$$

Onde: tc = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue principal (km);

S = declividade média do talvegue principal (m/m).

O comprimento de talvegue resultou em 5,90 km na medição em dois diferentes modelos digitais de elevação, configurando veracidade do valor medido. Já a declividade média do talvegue. Logo, com a aplicação da equação de Kirpich, temos a seguinte resolução:

$$tc = 0,0663 \cdot 5,90^{0,77} \cdot 0,016^{-0,385}, \text{ logo, } tc = 1,28 \text{ h ou } 76,67 \text{ min}$$

Em continuação da aplicação do método SCS, é necessária a aplicação do Método do Hidrograma Unitário Triangular, que leva em consideração o escoamento unitário em função da precipitação antecedente, a impermeabilização do solo, o tipo de cobertura vegetal, resultando em um único coeficiente, que transforma a precipitação total em precipitação efetiva. Na Figura 6 pode ser visualizado o hidrograma unitário para o local de interesse.

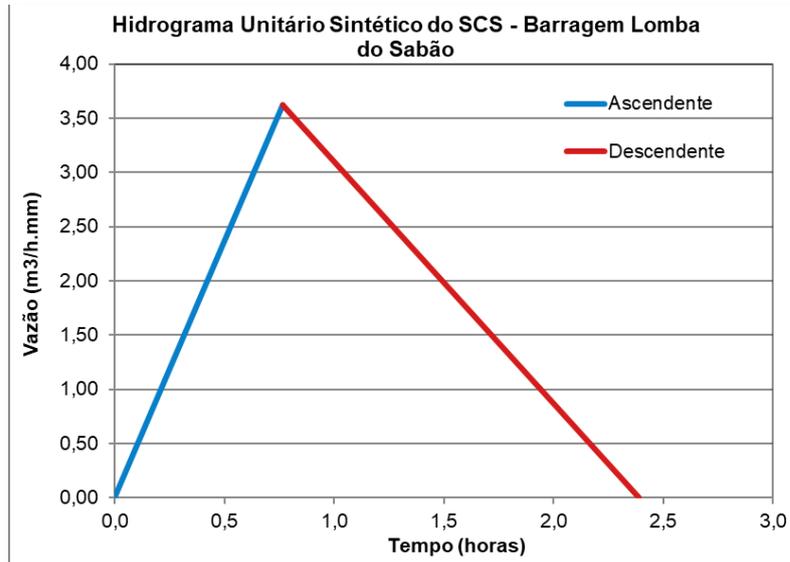


Figura 6 - Hidrograma unitário para a Barragem Lomba do Sabão.

Por meio da convolução entre hidrograma unitário e precipitação efetiva, são gerados os hidrogramas das cheias naturais (Figura 7) para diferentes tempos de recorrência.

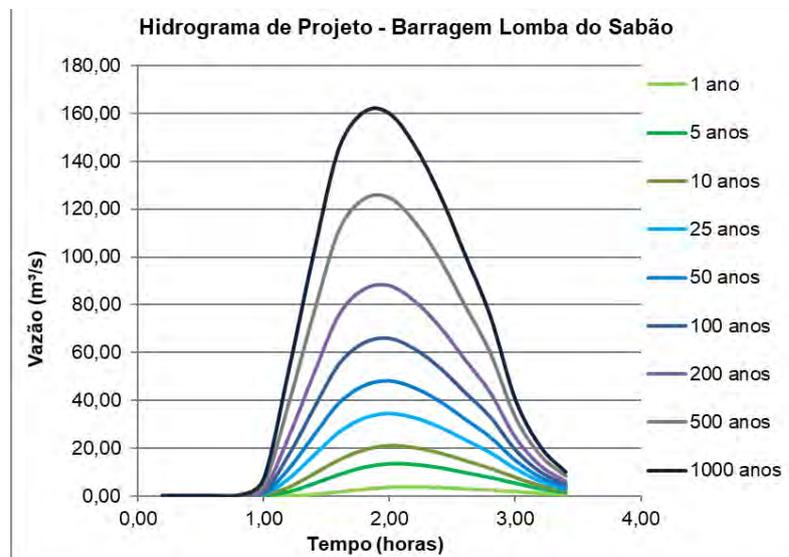


Figura 7 - Hidrogramas de cheia naturais para a Barragem Lomba do Sabão.

O Quadro 3 apresenta os valores de vazão de pico, em metros cúbicos por segundo, de cada hidrograma de cheia naturais e seus tempos de recorrência.

Quadro 3 - Vazões de pico naturais (m³/s) em diferentes tempos de retorno (anos).

Tempo de retorno (ano)	Vazão de pico (m ³ /s)	Tempo de retorno (anos)	Vazão de pico (m ³ /s)
01	3,70	100	65,87
05	13,57	200	87,85
10	20,91	500	124,88
25	34,47	1000	160,61
50	48,29		

A vazão efluente de pico para tempo de retorno de 500 anos é de 124,88 m³/s. Já a simulação hidráulica da bacia de amortecimento foi realizada por meio do Método de Puls, que avalia o volume armazenado em cada intervalo de tempo, em função das vazões de entrada e de saída do reservatório. A Figura 8 apresenta hidrogramas de cheia modificados para diferentes tempos de retorno.

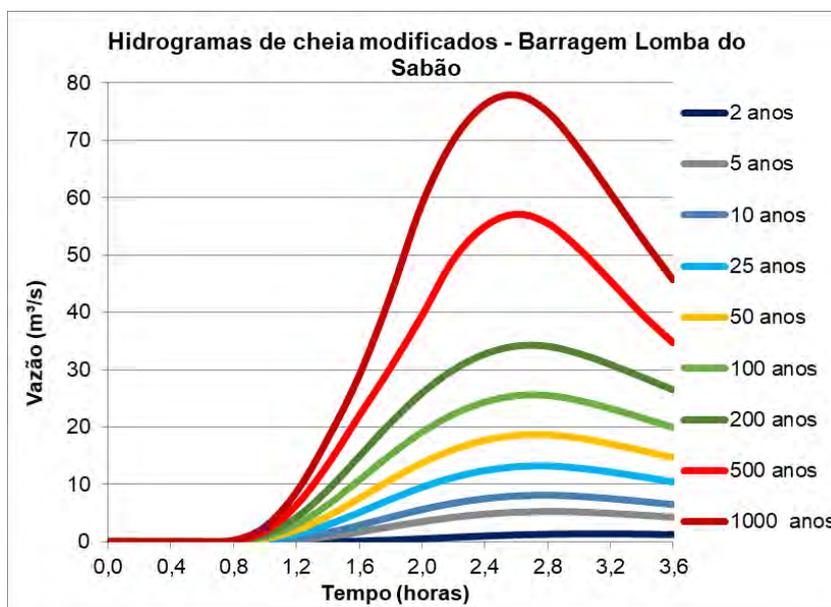


Figura 8 - Hidrogramas de cheia modificados para a Barragem Lomba do Sabão.

O Quadro 3 apresenta os valores de vazão de pico, em metros cúbicos por segundo, de cada hidrograma de cheia e seus tempos de recorrência.

Quadro 4 - Vazões de pico modificadas (m³/s) em diferentes tempos de retorno (anos).

Tempo de retorno (ano)	Vazão de pico (m ³ /s)	Tempo de retorno (anos)	Vazão de pico (m ³ /s)
01	1,38	100	25,55
05	5,20	200	34,17
10	8,04	500	57,09
25	13,30	1000	78,00
50	18,69		

Portanto, a vazão afluyente de pico para tempo de retorno de 500 anos é de **57,09 m³/s**. A Figura 9 ilustra o hidrograma de entrada (afluyente pré-urbanização) e o hidrograma de saída (efluyente pós-urbanização) para um tempo de retorno de 500 anos.

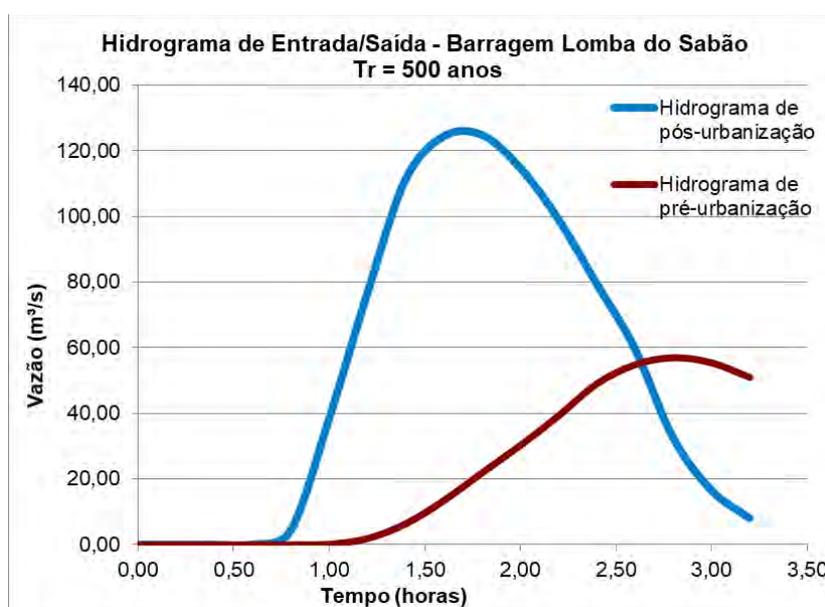


Figura 9 - Hidrograma de cheia natural e modificado para Tr = 500 anos.

5.5 - ESTUDO HIDRÁULICO

O volume de água excedente passa pelo vertedouro do tipo soleira livre e segue pelo canal de descarga até a bacia de dissipação, com volume de água não monitorado ou controlado por comportas. Na barragem em questão não foram localizados dispositivos de limpeza do reservatório.

Analisando a funcionalidade da estrutura do barramento, desconsiderando os três sifões provisórios, deve-se considerar que a estrutura hidráulica trabalha como vertedouro, aplicando dessa forma a Equação 2 para este tipo de estrutura.

$$Q_{vertedouro} = 1,838 \cdot (L - 0,2 \cdot H) \cdot H^{3/2} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{vertedouro}$ = vazão excedente que passa pela soleira do barramento (m^3/s);

L = comprimento do vertedouro (m);

H = altura da lâmina d'água vertente.

De acordo com dados do levantamento topográfico elaborado pela empresa AEROGEO, datado em setembro de 2016, a menor cota da crista do talude de montante do barramento, localizada mais próximo da tomada d'água, é de 54,579 m. Já a cota topográfica do vertedouro é 52,461 m. Ao considerarmos 100 cm mínimos de segurança de borda livre, teremos a seguinte altura de lâmina vertente, conforme Equação 3.

$$Lâmina\ vertente = Cota\ do\ barramento - Cota\ do\ vertedouro - borda\ livre \quad (3)$$

$$Lâmina\ vertente = 54,579\ m - 52,461\ m - 1,00\ m$$

$$Lâmina\ vertente = 1,118\ m$$

A largura do vertedouro é conhecida e possui 40 metros de extensão. Dessa forma, para efeito de cálculo, temos a seguinte resolução da Equação 2.

$$Q_{vertedouro} = 1,118 \cdot (40 - 0,2 \cdot 1,118) \cdot 1,118^{3/2}$$

$$Q_{vertedouro} = 86,424\ m^3/s$$

A Figura 10 apresenta a curva vazão por lâmina vertente do vertedouro construído na barragem.

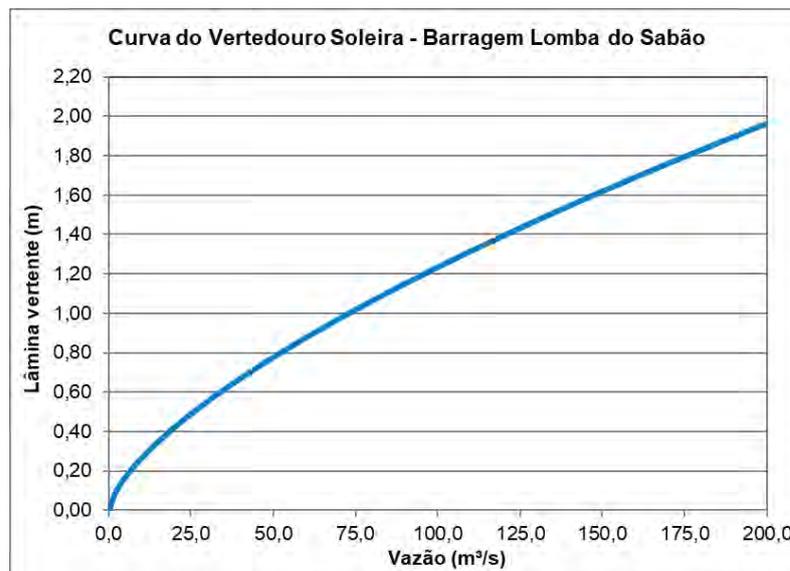


Figura 10-Curva do vertedouro soleira livre na Barragem Lomba do Sabão.

5.6 - VERIFICAÇÃO DOS ÓRGÃOS EXTRAVASORES

A barragem Lomba do Sabão foi projetada e construída com um único órgão extravasor que é o vertedouro, não operado, com escoamento por gravidade. Nesse caso, não existem comportas ou descarregadores de fundo. Logo, como a descarga se faz livremente, sem controle por comportas, não se definem regras de operação desse órgão.

As regras de operações de barragens indicam que órgãos extravasores devem permitir a passagem da Cheia Afluyente de Projeto (CAP). A verificação da capacidade de escoamento do vertedouro se deu para tempo de retorno de 500 anos pois, em barragens com reservação de água inferior a 3,0 hm³, o TR mínimo de projeto é de 500 anos.

O vertedouro da Barragem Lomba do Sabão tem capacidade para escoar 86,424 m³/s para um bordo livre de 1,0 metro na menor altura da taipa. A vazão de pico modificada para o tempo de retorno de 500 anos é de 57,09 m³/s, no qual necessitaria de uma lâmina de 85 cm sobre o vertedouro. Considerando o amortecimento da cheia produzido pelo barramento e a modificação da vazão de pico, o extravasor possui capacidade hidráulica para escoar as cheias de projeto modificadas.

Hidraulicamente, o vertedouro possui capacidade de escoamento das cheias de projeto. Não obstante, os cálculos hidráulicos são considerados para estruturas em normal estado de conservação. Nesse caso, após a execução das terapias citadas ao longo deste documento, o vertedouro deve ser utilizado, conforme projetado, sem a utilização dos sifões provisórios.

5.7 - MANCHA DE INUNDAÇÃO

TSCHIEDEL *et al.* (2017a), elaboraram um estudo no *software HEC-RAS* para estimativa da mancha de inundação em possível rompimento da Barragem Lomba do Sabão (estudo de *Dam Break*). Os autores, com base nos resultados produzidos, classificaram a barragem em categoria de Alto Risco com Alto Dano Potencial Associado. A classificação dos autores se deu com base na resolução nº 143 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

O estudo comprovou, por meio das simulações realizadas, o grande potencial de perdas de vidas humanas na cidade de Porto Alegre em caso de ruptura da Barragem Lomba do Sabão. Em relação a brecha adotada na simulação, os autores adotaram uma geometria trapezoidal, com largura de base de 100 metros completando-se em 1 hora, com 10 metros de altura. A cota de base da brecha foi adotada na cota de 45 m e a cota máxima em 55 m, e inclinação lateral de 45°. O Modelo Digital de Superfície usado

possui com resolução espacial de 1 metro (Zanardi et al., 2013).

De forma geral, o volume do reservatório está superestimado visto que foi aplicado um coeficiente de 1,4 no volume estimado. As dimensões da brecha e geometria são consideradas satisfatórias, seguindo o padrão Manual do *software HEC_RAS* descrito em USACE (2016) e de acordo com a topografia local.

Contudo, não é recomendada a utilização desse estudo para a elaboração de um Plano de Ação de Emergência (PAE), visto que a modelagem não considera as pontes sobre o Arroio Dilúvio e para um PAE esse fator de interferência deve ser considerado.

6 - IMAGEAMENTO DE ALTA RESOLUÇÃO COM DRONE

O imageamento de alta resolução com drones é uma tecnologia que tem avançado a passos largos nos últimos anos em função do aprimoramento de diversos ramos das ciências computacionais, visão de máquina, algoritmos de estrutura do movimento, mecanismos precisos de navegação e geoposicionamento e registro de imagens. A partir de diversos equipamentos, sensores, instrumentos, algoritmos, é possível atualmente gerar produtos aerofotogramétricos a muito menor custo e com elevada precisão e acurácia, altamente aplicáveis a áreas de dimensões em área que abrangem desde alguns poucos até mesmo centenas de hectares.

Desta forma, para os projetos de geomática e ambientais, esta revolução tem trazido extensas possibilidades que permitem a geração de imagens fotográficas de alta resolução espacial, atualizadas e que são georreferenciadas, ortorretificadas e mosaicadas para gerar mapas de ampla utilidade para as equipes projetistas e para os fiscalizadores do empreendimento.

Sob este prisma, na área do barramento foi efetuado um imageamento de alta resolução com drone conforme procedimentos relatados a seguir e organizados no fluxograma metodológico-operativo da Figura 11.

Os serviços técnicos abrangeram as seguintes atividades:

- Mapeamento aerofotogramétrico de uma porção de terras de aproximadamente 140 hectares;
- Geração do mosaico fotográfico ortorretificado e georreferenciado da área de interesse;
- Elaboração do modelo numérico de superfície da área de interesse;

- Remoção, o tanto quanto possível da cobertura vegetal, edificações e outros elementos, para obtenção do modelo numérico de terreno;
- Extração das curvas de nível a partir do modelo numérico de terreno.

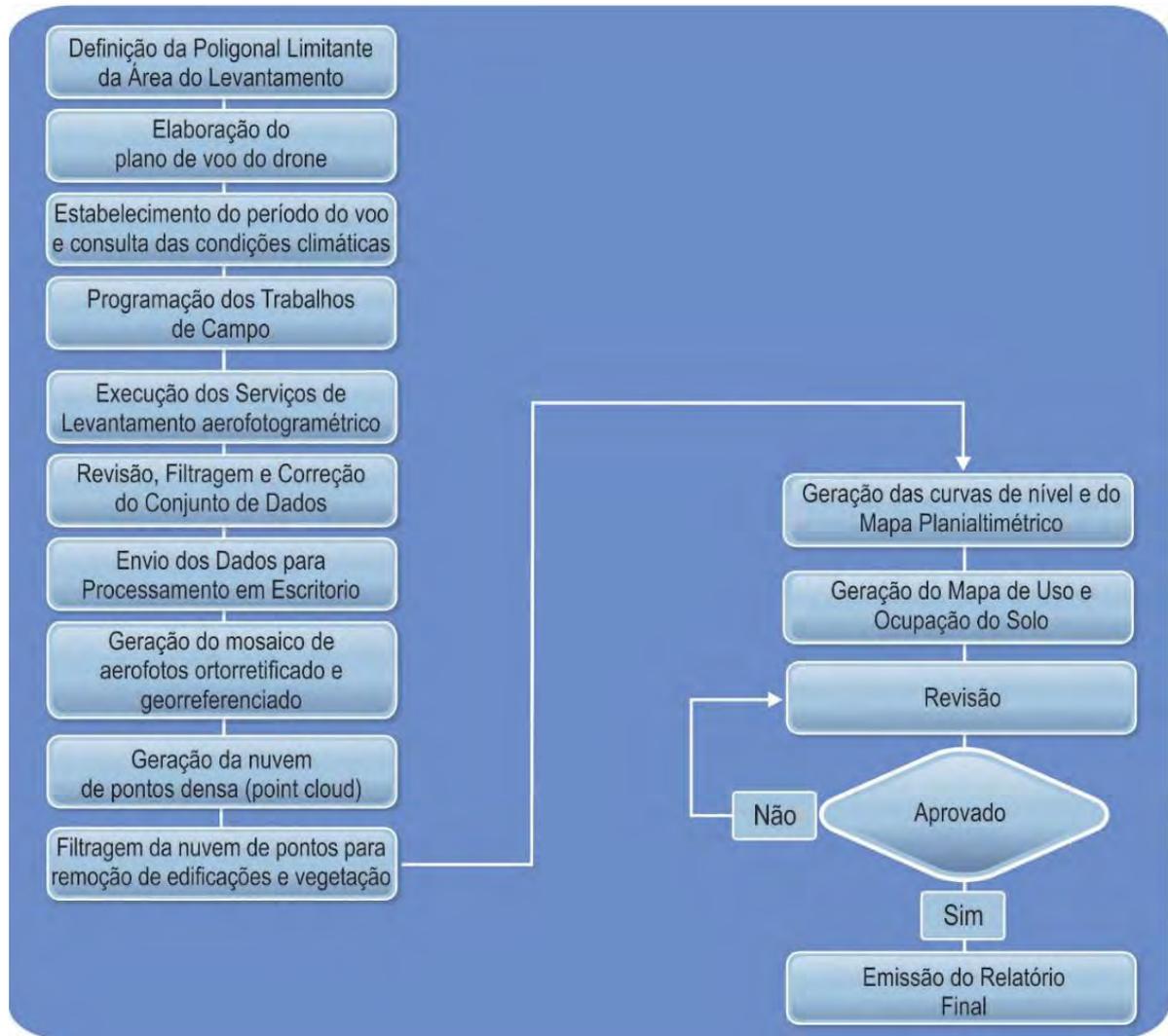


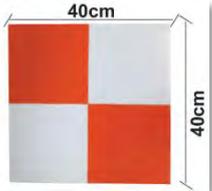
Figura 11 - Fluxograma metodológico e operacional do imageamento aerofotogramétrico de alta resolução realizado com drones na área de interesse.

Os elementos da campanha de levantamento, tais como altura do voo, geometria das linhas de voo, número de pontos de controle de campo, resolução das imagens fotográficas e precisão e acurácia vertical e horizontal do levantamento bem como o restante dos procedimentos de processamento resultantes da aplicação da metodologia supramencionada será descrito a seguir.

6.1 - EQUIPAMENTOS TÉCNICOS

Para realização dos serviços de levantamento aerofotogramétrico foram utilizados equipamentos específicos, conforme relacionado no Quadro 5.

Quadro 5 - Relação de equipamentos técnicos utilizados para a realização dos serviços.

Item	Descrição	
1	Sistema aéreo não tripulado (RPAS/VANT/drone) multirrotor (quadricóptero) marca DJI, modelo INSPIRE 1 PRO X5 (16MP) para fotogrametria aérea	
2	Receptor GNSS com correção diferencial em modo RTK marca PENTAX modelo LGN-100N RTK	
3	Tablet para controle de voo do drone e apoio aos serviços de campo	
4	Alvos de acrílico com dimensão controlada para apoio de campo e georreferenciamento dos mosaicos aerofotogramétricos gerados pelos drones	
5	Anemômetro digital para medição de velocidade do vento	

Item	Descrição	
6	Binóculo de longo alcance para avistagem e observação de detalhes em campo	

A Foto 6 ilustra o equipamento VANT em decolagem para fotogrametria da região da Barragem Lomba do Sabão.



Foto 6 - VANT em decolagem na região da barragem Lomba do Sabão. Data: 07/02/2020.

6.2 - CONDIÇÕES CLIMÁTICAS

As condições meteorológicas do período de levantamento foram bastante favoráveis, com céu claro, poucas nuvens e baixíssima velocidade do vento, o que propiciou a execução do voo com pouca turbulência e boas condições climáticas para captura das imagens fotográficas.

6.3 - PARÂMETROS TÉCNICOS DO VÔO

O voo realizado buscou atender ao objetivo do serviço.

O ponto de lançamento considerou uma área com amplo espaço livre para possibilitar a decolagem segura da aeronave e adequadamente posicionada em relação à área proposta para levantamento.

A poligonal limitante considerou uma área de levantamento maior do que a área

efetivamente do reservatório, com intuito de possibilitar o descarte de imagens de borda onde as deformações geométricas e radiométricas tendem a ocorrer com maior incidência e magnitude.

O voo considerou como premissa principal da programação e planejamento a execução de linhas de voo bastante próximas, com recobrimento acentuado - cerca de 80% tanto longitudinal quanto lateral, conforme recomendado pela literatura técnica especializada para serviços de mapeamento.

A altura do voo também foi determinada a uma altitude elevada para reduzir a deformação geométrica das fotografias aéreas.

A observação dessas diretrizes possibilitou a obtenção de um mosaico com elevada resolução e densidade da nuvem de pontos utilizada na geração do modelo 3D. Destaca-se ainda a qualidade digital dos registros obtidos que permitem uma elevada resolução espacial dos objetos imageados a campo.

De maneira sintética Quadro 6 consta os principais parâmetros da campanha aerofotogramétrica realizada na área.

Quadro 6 - Principais parâmetros da campanha aerofotogramétrica.

Item	Descrição	
1	Data do levantamento	07/02/2020
2	Período	Manhã
3	Classe do drone	Microdrone multirotor marca DJI modelo INSPIRE 1
4	Sensor imageador	Câmera fotográfica de pequeno formato DJI X5 com Pixels Efetivos: 16 Mpix; Resolução máxima de 4608x3456p; ISO: 100-25600; Velocidade do obturador: 8 s-1/8000 s; Campo de Visão: DJI MFT 15mm f/ 1,7 ASPH 72°
5	Área total do levantamento	140 hectares
6	Altura do voo	162 m
7	Recobrimento longitudinal dos registros fotográficos	80%
8	Recobrimento transversal dos registros fotográficos	80%
9	Número de registros fotográficos do mosaico	628
10	Resolução espacial efetiva no solo (pixel da imagem)	3,81 cm/pix

Na Figura 12, a seguir, observa-se os pontos de tomada das fotografias aéreas com o respectivo número de superposições das fotografias.

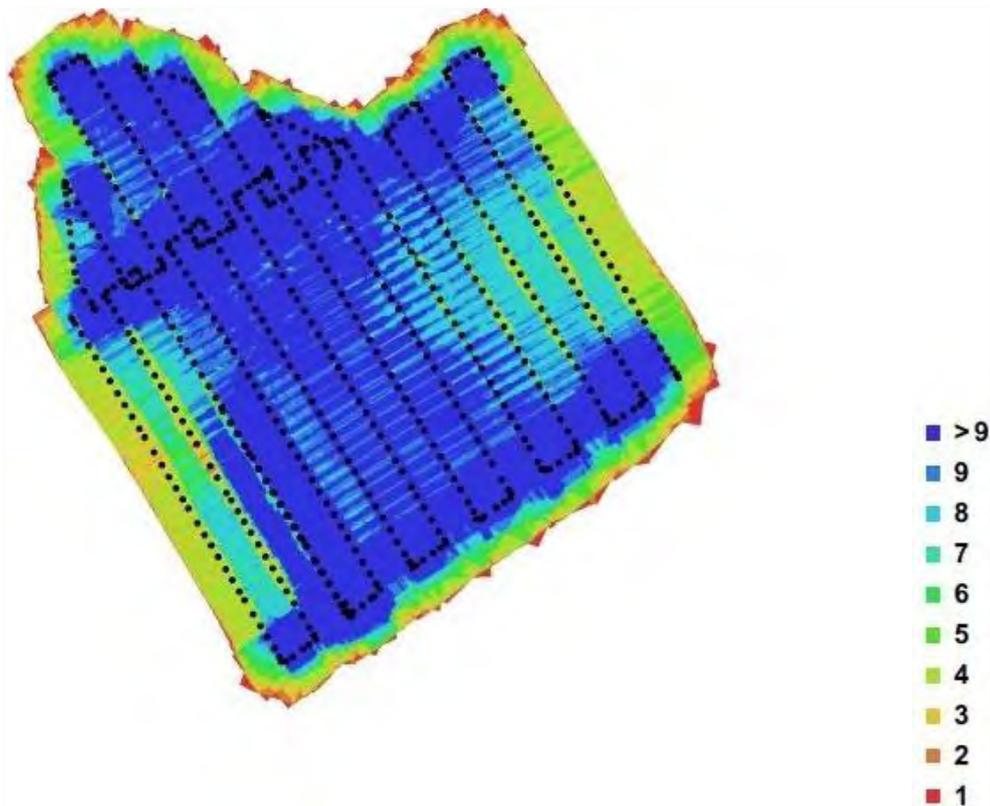


Figura 12 - Distribuição dos pontos de tomada das fotografias e número de superposições em escala de cores.

A observação da Figura 12 permite concluir que a maior parte do levantamento alcançou um número de mais de 9 fotos superpostas, o que é considerado muito adequado para elaboração dos procedimentos subsequentes de processamento computacional.

6.4 - REDE DE PONTOS DE APOIO DE CAMPO

Dado que a aeronave não dispõe de GNSS com a precisão e a acurácia necessárias para realização de um voo fotogramétrico preciso, foi necessária a implementação de uma rede de pontos de apoio de campo para controle posicional do mosaico de fotografias aéreas também denominadas **GCP's** (da denominação em inglês *GROUND CONTROL POINTS*).

Para tanto, foram utilizados os alvos de acrílico com geometria regular distribuídos no terreno em posições consideradas adequadas para o posterior reconhecimento visual nas fotografias aéreas e para capturar as variações do terreno de interesse (barramento, canal e entorno).



Figura 13 - Representação de campo dos alvos posicionados que são utilizados para apoio ao georreferenciamento do mosaico aerofotogramétrico.

Em cada GCP foi efetuada a coleta da coordenada e da cota com GNSS submétrico NAVCOM SF3040, de correção diferencial STARFIRE. No Quadro 7 e Quadro 8 constam os erros médios quadráticos associados aos pontos de controle de campo e pontos de checagem de campo.

Quadro 7 - Erro médio quadrático (RMSE) dos pontos de controle de campo.

Número	Xerror(cm)	Yerror(cm)	Zerror(cm)	XYerror(cm)	Total(cm)	Imagem(pixel)
1	2,49175	3,52259	2,41481	4,31479	4,94457	0,431

Quadro 8 - Erro médio quadrático (RMSE) dos pontos de checagem de campo.

Número	Xerror(cm)	Yerror(cm)	Zerror(cm)	XYerror(cm)	Total(cm)	Imagem(pixel)
3	7,82765	7,31519	9,8497	9,5409	9,9936	1,033

Observa-se que os erros médios obtidos são muito baixos, inferiores a 5 cm para os pontos de controle de campo e pouco maior que 10 cm para os pontos de checagem.

6.5 - GERAÇÃO DO MOSAICO DE FOTOS AÉREAS E MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE

O processamento do conjunto de 628 fotografias aéreas foi realizado em software

fotogramétrico a partir do alinhamento das imagens com uso de um algoritmo denominado SFM (*Structure From Motion*) disponível no aplicativo que efetua o ajustamento e o alinhamento das imagens a partir de pontos similares comumente identificados nas diversas fotografias aéreas superpostas. Após a mosaicagem, efetua-se o melhoramento do posicionamento geográfico a partir da inserção das coordenadas e cotas dos pontos de controle de campo. O mosaico resultante desse processamento consta na Figura 14.



Figura 14 - Versão em dimensão reduzida do mosaico aerofotogramétrico produzido para a área de interesse.

7 - ANOMALIAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

A metodologia utilizada para a avaliação das manifestações patológicas se deu por vistoria e inspeção na Barragem Lomba do Sabão, a fim de observar a existência de anomalias no empreendimento, com objetivo de caracterizar a edificação quanto à localização e processo construtivo. Tais manifestações podem ser observadas por meio em registros fotográficos realizados nos dias das inspeções, identificando a localização das manifestações patológicas em croqui. Cada item representa uma manifestação patológica distinta encontrada no local. A metodologia de trabalho é representada em cada item com os seguintes subitens:

- a) Manifestação patológica: descreve de forma sucinta cada manifestação identificada, de forma individualizada, com indicação do local;
- b) Diagnóstico: descreve de forma minuciosa o mecanismo, a origem e as causas que efetivaram o problema patológico;
- c) Prognóstico: estima a evolução da manifestação patológica ao longo do tempo, prevendo os possíveis problemas.
- d) Terapia: indica soluções de tratamento das manifestações com recomendações imediatas ou não.
- e) Profilaxia: propõe métodos e medidas que objetivam evitar o surgimento de novas manifestações.

Ressalta-se que as manifestações patológicas estão classificadas de acordo com os Manuais de Segurança de Barragem da Agência Nacional de Águas (ANA), conforme as Resoluções ANA 132/16 e 236/17, principalmente com base no Volume II - Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem.

7.1 - VEGETAÇÃO EXCESSIVA

7.1.1 - Manifestação Patológica

Presença de vegetação natural da área, de forma excessiva por toda extensão do barramento de aterro, seja no talude de montante e jusante, com vegetação de grande porte estabelecida. Na Foto 7 pode ser visualizada uma vista do talude de montante do barramento e, na Foto 8, consta uma vegetação de grande porte no talude de jusante, sendo uma árvore com tronco de diâmetro aproximado de 90 cm, retratando as condições atuais do barramento tomado por vegetação.



Foto 7 - Vista do talude de montante do barramento tomado por vegetação. Data: 07/02/2020.



Foto 8 - Vegetação de grande porte localizada no talude de jusante. Data: 07/02/2020

A localização dessa manifestação patológica encontra-se ilustrada na Figura 15.



Figura 15 - Localização da manifestação patológica 7.1.

7.1.2 - Diagnóstico

A origem desta manifestação tem origem no surgimento de sementes de vegetação depositadas pelo vento, animais ou pela escorrência de água. A falta de manutenção na estrutura e inexistência de procedimentos de manutenção adequados resultou no crescimento desenfreado de árvores de grande porte.

A Figura 16 ilustra duas imagens área da região da Barragem Lomba do Sabão em diferentes épocas, no qual é possível fazer um comparativo acerca da quantidade de vegetação no local. A imagem de cima é o registro mais antigo disponibilizado no *Google Earth* para a área de estudo, datada em 12/12/2002; a imagem de baixo é o registro de satélite mais recente disponibilizado na plataforma, datado em 11/07/2019.



Figura 16 - Comparação do barramento da Barragem Lomba do Sabão em diferentes épocas. Fonte: Adaptado de GOOGLE EARTH. Acesso em 29/01/2020.

Observa-se que ao longo do período de comparação (diferença de 16,59 anos), a quantidade de vegetação aumentou consideravelmente, sobretudo nos taludes de montante e jusante do barramento. É possível visualizar no registro de 2002 a estrada de acesso sobre a crista do barramento em sua totalidade, em contrapartida, no registro de 2019, a crista é visualmente sobreposta pela vegetação encontrada no local.

7.1.3 - Prognóstico

Raízes profundas podem criar caminhos para passagem de água e podem provocar o processo de *piping*, que causa a erosão interna do maciço e pode levar a ruptura da estrutura. O crescimento de raízes pode provocar encurtamento do caminho de percolação e vazios no maciço pela decomposição de raízes ou arrancamento de árvores. Além disso, arbustos e grama alta dificultam as inspeções visuais em vestígios de tocas e abrigos de roedores e/ou outros animais.

7.1.4 - Terapia

Remover as árvores de raízes profundas e arbustos no maciço e nas proximidades. Erradicar vegetação no maciço que dificulte as inspeções visuais. Remover toda a vegetação existente, com exceção da grama, que deve ser preservada para ajudara combater a erosão superficial. As raízes devem ser retiradas até a profundidade em que sejam praticáveis as escavações. O reaterro deve ser feito com material adequado e bem compactado. O material cortado deve ser removido para fora da área da barragem.

Não obstante, o derrube, extração ou secagem do sistema de raízes das árvores pode provocar erosão interna, pelo que o processo da sua remoção pode exigir a consulta de especialistas. As raízes das arvores/arbustos de grande porte, ao serem cortados tardiamente, quando arrancados pelo vento ou quando morrem,constituem caminhos de percolação de água que podem levar ao carreamento de materiais e a ruptura da barragem. Recomenda-se, em nível de segurança, acompanhamento especializado para monitoramento do maciço durante a execução do desbaste.

Com o desbaste e reconstrução dos taludes, deve-se dar atenção aos drenos internos no maciço, visando à melhoria da deformabilidade e resistência dos terrenos e redução de percolação e de subpressões excessivas. Os drenos existentes devem ser substituídos.

7.1.5 - Profilaxia

Execução de manutenção periódica com desbaste de novas árvores/arbustos e fazer reposição de solo orgânico nas zonas com falta de vegetação, controlando o crescimento. Um programa de manutenção deve ser estabelecido para evitar o surgimento de vegetação indesejável no futuro.

7.2 - ATIVIDADE DE ANIMAIS E INSETOS

7.2.1 - Manifestação Patológica

Buracos, túneis e cavernas são causados por tocas de animais, formigueiros. O *habitat* do Parque Saint'Hilaire, com diversos tipos de plantas e árvores, além da proximidade com o corpo hídrico do reservatório, potencializa a procriação animais e insetos. Na vistoria do dia 07/02/2020 constatou-se a presença de animais (Foto 9), com a localização da Figura 17.

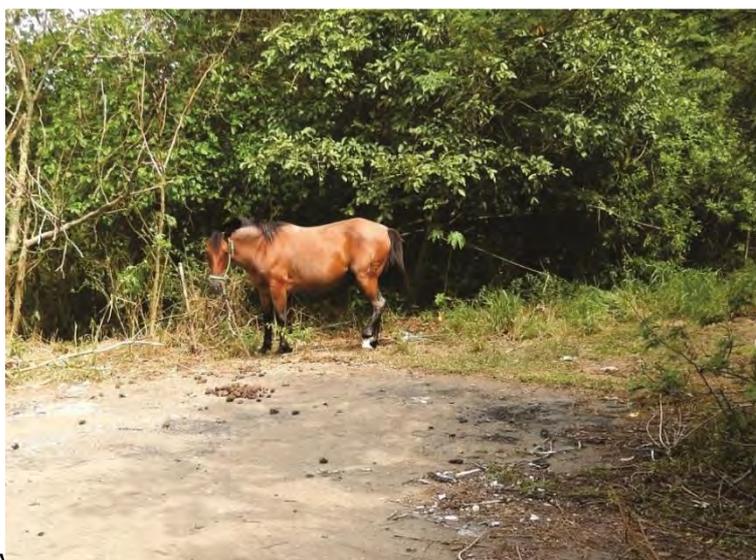


Foto 9 - Acesso livre de animais nas dependências do barramento. Data: 20/01/2020.



Figura 17 - Localização da manifestação patológica 7.2.

7.2.2 - Diagnóstico

A densidade de vegetação dificulta a visualização de buracos ao logo da estrutura. Porém, na vistoria do dia 07/02/2020 foi visto um lagarto sobre a crista do barramento. Além disso, é notório que a estrutura já está totalmente inserida no *habitat* do ecossistema local.

7.2.3 - Prognóstico

Buracos favorecem a passagem da água superficial para dentro do maciço, permitindo a saturação das áreas adjacentes, o que pode provocar rupturas localizadas. Ainda podem reduzir o caminho de percolação da água e provocar *piping*, fenômeno de erosão interna no maciço. Se os túneis atravessam a maior parte do maciço, podem levar a ruptura da barragem. Especialmente perigosas se os furos penetrarem abaixo da linha freática. Durante os períodos de elevação do nível do reservatório, o caminho de percolação pode ficar muito reduzido, o que facilita a ocorrência de *piping*.

Formigueiros, tocas e túneis produzidos por animais podem ser perigosos, devido ao enfraquecimento do aterro e, principalmente, a facilidade de infiltração da água da chuva, propiciando eventuais fenômenos de erosão interna.

7.2.4 - Terapia

Colmatar (aterrar) tocas, túneis e buracos de animais existentes, com material adequado e bem compactado ou preencher as tocas dos animais com calda de cimento.

7.2.5 - Profilaxia

Controlar a população de animais e insetos para prevenir maiores danos e eliminar habitats favoráveis ao desenvolvimento de espécies nocivas. Nesse caso, o cercamento do local deve ser projetado e executado para desencorajar as atividades de animais na região do maciço. Além disso, os moradores do entorno do barramento estão localizados próximos da estrutura e não existe nenhuma barreira física para restrição de acesso.

7.3 - TRILHAS AO LONGO DA CRISTA

7.3.1 - Manifestação Patológica

Formação de trilhas ao longo da crista do barramento em sua totalidade de 340,00metros de comprimento de taipa



Foto 10 - Trilhas ao longo da crista do barramento. Data: 20/01/2020.

A localização dessa manifestação patológica encontra-se ilustrada na Figura 18.



Figura 18 - Localização da manifestação patológica 7.3.

7.3.2 - Diagnóstico

Tráfego de veículos pesados na superfície da crista sem manutenção adequada.

7.3.3 - Prognóstico

Ajudam no processo de deterioração da superfície da crista, pois permitem a acumulação de água sobre a barragem, podendo causar a saturação do maciço.

7.3.4 - Terapia

Após a remoção da vegetação, deve ser feita a reparação do pavimento sobre a crista da barragem. Nesse caso, a água acumulada deve ser drenada para recomposição da crista com material adequado e bem compactado. Restabelecer as inclinações previstas no projeto (1:2,5 taludes de montante e 1:2,2 taludes de jusante) e implantar um sistema de drenagem superficial eficiente. Além disso, deve-se recuperar o pavimento, aplicando camada de material que possa funcionar como revestimento primário (cascalho, brita ou similar).

7.3.5 - Profilaxia

Assim como no item 7.1.5 - realizar o cercamento do empreendimento para controle de acesso de pessoas e veículos.

7.4 - PERDA/FALHA NO RIP-RAP

7.4.1 - Manifestação Patológica

Perda de grande parte do rip-rap de proteção do talude de montante, composto por enrocamento.

A localização dessa manifestação patológica encontra-se ilustrada na Figura 19.



Figura 19 - Localização da manifestação patológica 7.4.

7.4.2 - Diagnóstico

Há relatos de furtos de partes das rochas que compõem o rip-rap por meio do acesso de terceiros no interior do barramento, facilitado pela falta de cercamento e vigilância do local. Também há a possibilidade de falha na colocação e posicionamento do material ou granulometria deficiente, facilitando o escorregamento.

7.4.3 - Prognóstico

A não reparação da camada protetora do rip-rap resulta da exposição do talude de montante ao contato da movimentação de água (ação das ondas) e vento, potencializando processos erosivos no talude com remoção, em especial, do material da camada de apoio (transição).

A quantidade excessiva de vegetação prejudica a determinação da quantidade de material removido.

7.4.4 - Terapia

Após a remoção de vegetação, recolocar o rip-rap de acordo com a especialidade. Nesse caso, devem-se fazer as recargas e regularização do material de proteção, além da substituição dos materiais que estiverem degradados, com enrocamento de rochas de diâmetro médio de 40 centímetros.

7.4.5 - Profilaxia

Assim como no item 7.1.5 - realizar o cercamento do empreendimento para controle de acesso de pessoas aos taludes do barramento.

7.5 - FISSURAS

7.5.1 - Manifestação Patológica

Considerada a manifestação patológica mais frequente em barragens, as fissuras subverticais foram localizadas nas estruturas de concreto de ambas as ombreiras do vertedouro com espessura média de 3,0 cm (Foto 11) e na laje de concreto armado da margem direita do trecho médio do canal de descarga com espessura média de 1,0 cm (Foto 12), sendo ambas em direção transversal, sem avanço ao talude de terra e classificadas como rachaduras.



Foto 11 - Fissura na ombreira esquerda do vertedouro. Data: 20/01/2020.

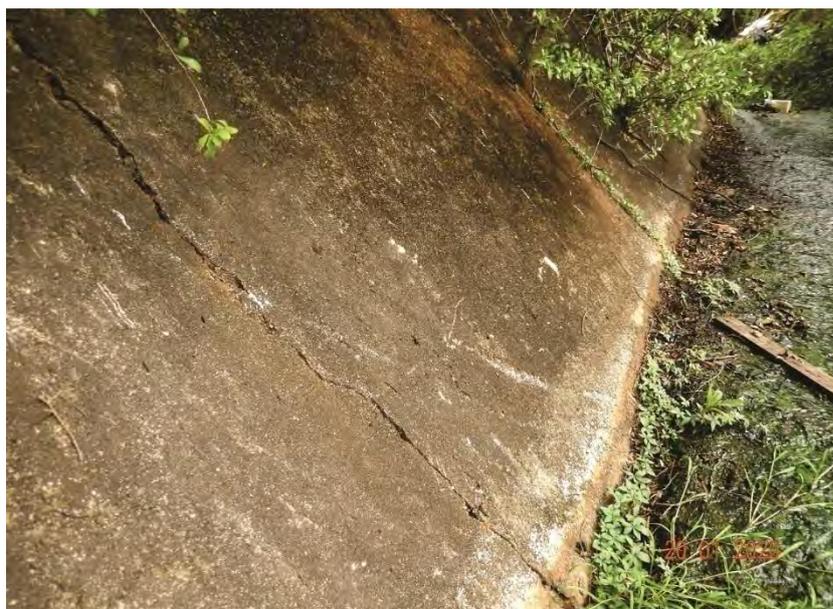


Foto 12 - Fissura no revestimento de concreto da margem direita do canal de descarga. Data: 20/01/2020.

Os locais das manifestações patológicas encontram-se na ilustração da Figura 20.



Figura 20 - Localização das manifestações patológicas 7.5.

7.5.2 - Diagnóstico

Em ambos os casos as fissuras podem ter origem térmica na variação diária de temperatura, com a expansão/retração do material ou por transferência de tensões no solo de recalques diferenciais.

7.5.3 - Prognóstico

Em ambos os casos as fissuras não tratadas tendem a evoluir em progressão pela falta de proteção e infiltração de água, podendo consolidar o colapso da estrutura do dispositivo, além da exposição do maciço de terra.

7.5.4 - Terapia

Para o tratamento pontual das fissuras deve-se efetuar a reparação por meio de remendos. Nesse caso, injeta-se epóxi para vedar as fissuras e restaurar a resistência do concreto. As fissuras, se não tratadas, podem induzir alterações químicas do concreto, degradando-o até a instabilidade estrutural.

7.5.5 - Profilaxia

Indica-se tratamento pontual nos locais de abertura das fissuras. As juntas não devem ter mais de 1 cm e devem ser seladas com asfalto ou outro material flexível. Limpar as juntas, substituir os materiais erodidos e selar as juntas. Drenar e preparar corretamente a fundação. Por fim, selar as juntas e fissuras com argamassa.

7.6 - RUPTURA DO CANAL DE DESCARGA

7.6.1 - Manifestação Patológica

Ruptura do canal de descarga da barragem, no trecho de jusante próximo a soleira de concreto de dissipação de energia, com levantamento da fundação das lajes na bacia de dissipação.



Foto 13 - Vista de montante para jusante do trecho final do canal de descarga rompido. Data: 20/01/2020.



Foto 14 - Vista de jusante para montante do trecho final do canal de descarga rompido. Data: 20/01/2020.

Além da ruptura no canal de descarga, a soleira de concreto que teoricamente deveria promover a dissipação de energia do escoamento proveniente do canal de descarga encontra-se tombada e danificada, conforme Foto 15.



Foto 15 - Soleira dissipadora de energia tombada e danificada. Data: 20/01/2020.

A localização dessa manifestação patológica encontra-se ilustrada na Figura 21.



Figura 21 - Localização da manifestação patológica 7.6.

7.6.2 - Diagnóstico

A erosão do solo de base da laje do canal de descarga produziu o colapso da estrutura. A erosão do solo se deu, fundamentalmente, pela infiltração da água escoada nas juntas de dilatação em falha de impermeabilização e no provável mau funcionamento do dreno de fundo.

7.6.3 - Prognóstico

No caso da não reconstrução do trecho médio-final do canal de descarga, o escoamento vertente acentuará a erosão na base do canal, podendo causar mais pontos de colapso da estrutura.

7.6.4 - Terapia

Em condições climáticas favoráveis (período seco), é recomendada a recuperação do canal de descarga devem ser executados os seguintes itens:

- O canal de descarga deve ser reconstruído, com remoção da laje de concreto entre o trecho médio e jusante, na região onde ocorreu erosão do solo de base;
- Limpeza das estruturas dos vertedouros, retirando os materiais arrastados pelo escoamento ou caídos das margens adjacentes;
- Os resíduos sólidos e a vegetação existente nas paredes e piso do canal deverão ser removidos;
- O volume de solo erodido pode ser preenchido com concreto ciclópico para reconfiguração da base;
- A soleira de concreto armado com seção trapezoidal deve ser reconstruída, conforme projeto;
- O dreno da laje de fundo deve ser refeito, com diâmetro mínimo de 100 mm.

7.6.5 - Profilaxia

Recomenda-se a limpeza e remoção das vegetações ao longo do canal de descarga, assim como o tratamento das juntas de dilatação, com objetivo de evitar novas infiltrações em direção à bacia de dissipação.

7.7 - EROSÕES

7.7.1 - Manifestação Patológica

Sobre escavação do talude de apoio para a laje da ombreira direita do vertedouro, conforme Foto 16.



Foto 16 - Soleira dissipadora de energia tombada e danificada. Data: 07/02/2020.

A localização dessa manifestação patológica encontra-se ilustrada na Figura 22.



Figura 22 - Localização da manifestação patológica 7.7.

7.7.2 - Diagnóstico

Sobre escavação por ação da água de qualquer zona de vertedouro. Além disso, moradores da região criaram uma trilha para acesso, danificando a ombreira esquerda do vertedouro, com ação facilitada pelo livre acesso para o interior do empreendimento, sem separação física.

7.7.3 - Prognóstico

As zonas previamente erodidas são possuem tendência de serem mais erodidas no acontecimento da próxima cheia. As erosões na zona de restituição do vertedouro podem provocar alterações das margens ou danificar a própria barragem.

No caso de erosões na crista do barramento, encurtam o caminho de percolação devido à redução da seção transversal da barragem.

7.7.4 - Terapia

Preencher a cavidade erodida, no espaço entre o solo e o vertedouro, com concreto magro.

7.7.5 - Profilaxia

Assim como no item 7.1.5 - realizar o cercamento do empreendimento para controle de acesso de pessoas e veículos. Proteger o talude do contato com o escoamento vertente.

7.8 - OBSTRUÇÃO DO VALE À JUSANTE

7.8.1 - Manifestação Patológica

Obstrução do vale a jusante da Barragem Lomba do Sabão por ocupações irregulares. A localização dessa manifestação patológica encontra-se ilustrada na Figura 23.

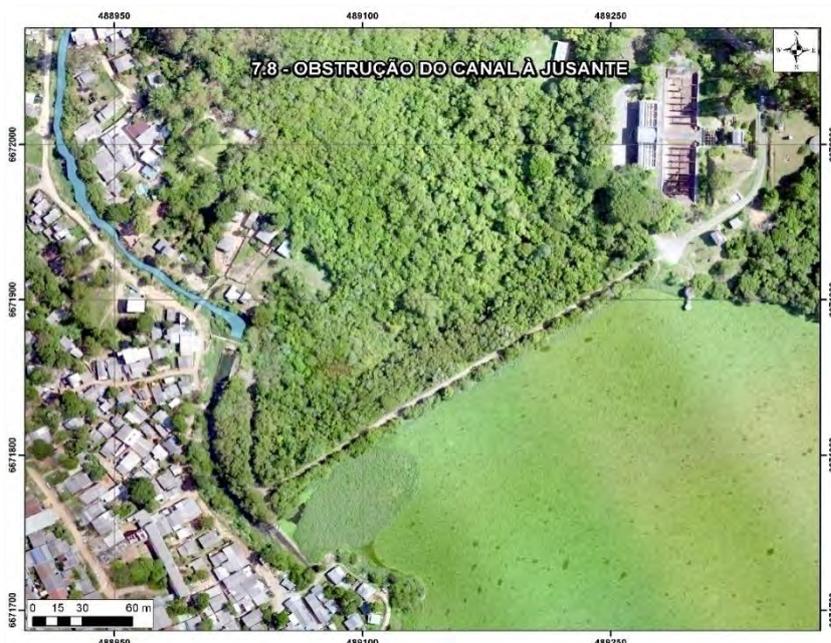


Figura 23 - Localização da manifestação patológica 7.8.

7.8.2 - Diagnóstico

Em mapeamento pela imagem do drone, foram contabilizadas 471 residências em raio de 100 metros do canal à jusante do vertedouro, até a Avenida Bento Gonçalves, conforme Figura 24. A mancha urbana do entorno do barramento é predominantemente ocupada de forma irregular.



Figura 24 - Quantificação das residências no entorno do vale a jusante da barragem.

7.8.3 - Prognóstico

A vegetação e as edificações contribuem para elevação do nível de água à jusante da obra de dissipação de energia. A obstrução do canal natural no vale à jusante da barragem promove o estrangulamento e, conseqüentemente, a redução da seção transversal do canal,

reduzindo sua capacidade hidráulica. Outro fator relevante é a ocupação urbana na área de inundação do canal que acaba por potencializar o alagamento na região em ocorrência de evento significativo de precipitação. A ocupação irregular nas imediações do barramento acaba por colocar em risco a vida de milhares de pessoas que ali fazem moradia no caso de ruptura da estrutura.

7.8.4 - Terapia

Essa terapia não depende exclusivamente do empreendedor, pois o vale a jusante é de propriedade de terceiros e a responsabilidade pelas áreas invadidas, nesse caso, são dos municípios nos locais de área pública. A recomendação, visando à eficiência hidráulica e de segurança em caso de rompimento é a retirada das edificações que poderão ser afetadas pela onda de cheia derivante de uma possível ruptura da barragem. Para tal, recomenda-se fazer o inventário de ocupação do local para conhecimento e coleta de dados que auxiliam nas medidas de gerenciamento e conhecimento do dano.

7.8.5 - Profilaxia

Proteção das áreas de risco, evitando a ocupação ribeirinha. Profilaxia de abordagem do Poder Público nas áreas municipais.

7.9 - EUTROFIZAÇÃO DO RESERVATÓRIO

7.9.1 - Manifestação Patológica

Quantidade excessiva de vegetação aquática do tipo macrófita ao longo de maior parte do espelho d'água do reservatório da barragem, conforme Foto 17.



Foto 17 - Espelho d'água tomado por macrófitas. Data: 07/02/2020.

7.9.2 - Diagnóstico

A ocupação irregular das áreas de margem da represa, associada às características do solo e a fatores climáticos, altera a qualidade da água reservada e favorece a floração de cianobactérias (algas azuis), além do aumento da concentração de manganês.

7.9.3 - Prognóstico

A não retirada das plantas aquáticas favorece a colmatação do reservatório, reduzindo a capacidade laminar do corpo hídrico.

7.9.4 - Terapia

Devido ao grande volume de vegetal, indica-se a remoção mecanizada das macrófitas com indicação prévia da área de descarte.

A instalação provisória dos três sifões nos anos de 2014 e 2015 deu-se com o objetivo de evitar o escoamento da vegetação aquática através do vertedouro para o canal de descarga e, conseqüentemente, para o canal a jusante. Ressalte-se que essa medida não resolve o problema em questão pois, em caso da ocorrência de um evento de precipitação com alto tempo de recorrência os sifões não possuirão capacidade hidráulica para escoamento e a massa aquática escoará de forma significativa.

Pompêo (2017) recomenda que sejam efetuadas análises em laboratório com o intuito de compreender os aspectos ecológicos e biológicos das macrófitas aquáticas, pois os processos se tornam difíceis de serem acompanhados em observações efetuadas em condições de campo.

7.9.5 - Profilaxia

Monitoramento da qualidade das águas do reservatório e adoção de regras operacionais que permitam o controle das infestações de plantas aquáticas e/ou moluscos aquáticas. Contudo, a simples remoção não garante a erradicação da manifestação.

8 - CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS CORRETIVAS

De acordo com as inspeções em campo, foi proposto um cronograma de implantação das medidas corretivas, nos quais são indicadas as possíveis situações de alerta e de emergência em face das anomalias (manifestações patológicas).

Para a classificação das situações das manifestações patológicas foi utilizada a metodologia do nível de resposta proposto no Manual de Segurança de Barragens da ANA, conforme explicitado no Quadro 9.

Quadro 9 - Classificação das por nível de perigo. Fonte: ANA (2016a).

Nível de resposta	Status	Descrição
Nível 0	normal	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos a barragem não compromete sua segurança, mas devem ser controladas e monitoradas ao longo do tempo.
Nível 1	atenção	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos a barragem não compromete sua segurança no curto prazo, mas devem ser controladas, monitoradas ou reparadas.
Nível 2	alerta	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos a barragem representa risco a sua segurança no curto prazo, devendo ser tomadas providências para a eliminação do problema.
Nível 3	emergência	quando as anomalias encontradas ou a ação de eventos externos a barragem representa risco de ruptura iminente, devendo ser tomadas medidas para prevenção e redução dos danos materiais e humanos decorrentes do colapso da barragem.

Indica-se, em caráter prioritário, a execução das medidas recuperativas (terapias) no barramento de terra. Em termos de cronograma de implantação, a sequência de recuperações dar-se-ão com a sequência das seguintes manifestações patológicas conta no Quadro 10, considerando o nível de perigo para a situação atual da barragem em questão.

Quadro 10 - Classificação das anomalias por nível de perigo para Barragem Lomba do Sabão.

Ordem de prioridade	Item do relatório	Manifestação patológica	Página do relatório	Nível de resposta
1	7.1 -	Vegetação excessiva	31	2
2	7.4 -	Perda/falha no rip-rap	39	2
3	7.6 -	Ruptura do canal de descarga	43	2
4	0	Obstrução do canal à jusante	48	2
5	7.2 -	Atividade de animais e insetos	36	1
6	7.9 -	Eutrofização do reservatório	51	1
7	7.5 -	Fissuras	41	0
8	7.7 -	Erosões	47	0
9	7.3 -	Trilhas ao longo da crista	38	0

Mesmo após a implantação das terapias, recomenda-se a realização de inspeções periódicas no barramento, de modo a detectar em tempo as anormalidades ou situações de risco, reportando-as por escrito à autoridade encarregada de sua operação. Por fim, estima-se o cronograma de implantação proposto no Quadro 11.

Quadro 11 - Cronograma de implantação por nível de perigo.

Manifestação patológica	Semanas													
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14
Vegetação excessiva	⊙	⊙	⊙	⊙										
Perda/falha no rip-rap				⊙	⊙									
Ruptura do canal de descarga					⊙	⊙	⊙							
Obstrução do canal à jusante								⊙	⊙	⊙	⊙			
Atividade de animais e insetos				⊙										
Eutrofização do reservatório											⊙	⊙	⊙	⊙
Fissuras							⊙							
Erosões							⊙							
Trilhas ao longo da crista				⊙										

Recomenda-se inspeções especiais após a ocorrência de evento de precipitação com intensidade relevante.

9 - IMPLANTAÇÃO DE DISPOSITIVOS E EQUIPAMENTOS DE MONITORAMENTO

Além do tratamento das terapias, indica-se a intensificação de monitoramento contínuo do corpo da barragem. Portanto, é de fundamental necessidade a implantação dos dispositivos a seguir.

9.1 - PIEZÔMETROS INSTALADOS NO ATERRO

Foi verificada a necessidade de instalação de piezômetro no corpo do barramento. O equipamento é utilizado para medição dos níveis piezométricos, fornecendo conhecimento da linha de saturação no maciço e pressões da água na barragem e fundação. Recomenda-se a instalação de no mínimo quatro piezômetros, com boa distribuição espacial.

A Figura 25 demonstra um exemplo de piezômetro a ser instalado na Barragem Lomba do Sabão.

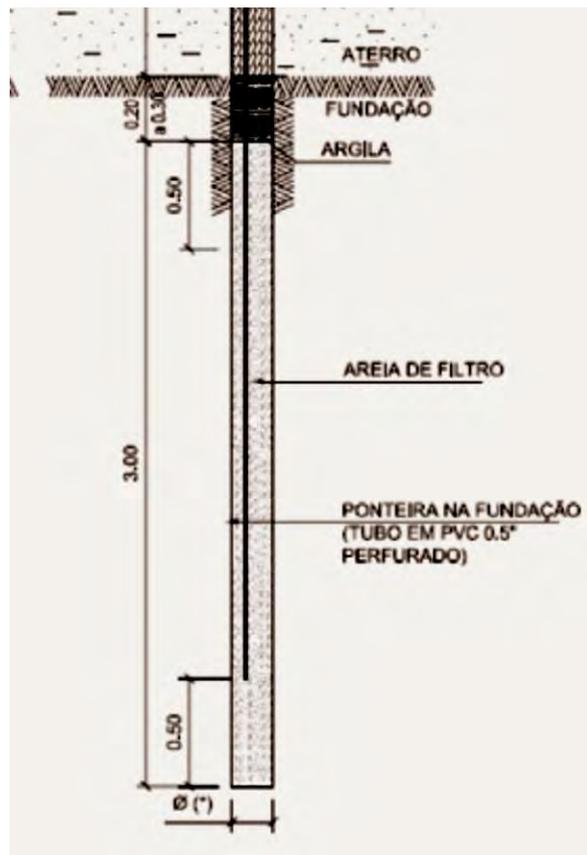


Figura 25 - Corte esquemático de um piezômetro de tubo aberto ou Casagrande.
Fonte: COBA, S.A./Banco de Imagens ANA.

O equipamento de medição pode ser construído com tubo metálico ou de plástico. Na extremidade inferior consta uma câmara de tomada de pressão, materializada por uma placa ou ponteira porosa, ou por orifícios ou rasgos executados nas paredes do tubo.

Os piezômetros também podem ser elétricos ou pneumáticos. Ambos possuem tempo de resposta mais rápido, que proporciona um acompanhamento imediato.

9.2 - MARCOS TOPOGRÁFICOS E DE REFERÊNCIA

Foi verificada a necessidade de instalação de marcos topográfico e de referência para auxílio da determinação os deslocamentos dos tacos de nivelamento, posicionados ao longo da crista da barragem e, eventualmente, ao longo das bermas.

A Figura 26 demonstra um exemplo de marco topográfico a ser instalado na Barragem Lomba do Sabão.



Figura 26 - Marco topográfico com uso de peça destinada ao encaixe de bastão.
Fonte: COBA, S.A./Banco de Imagens ANA.

9.3 - INSTRUMENTAÇÃO ADICIONAL

Outras instrumentações podem vir a serem instaladas no barramento para aumento do controle e monitoramento. Entre as alternativas existem as placas de recalque, pois permite calcular o recalque entre placas e o recalque vertical total.

Uma alternativa são os inclinômetros que medem deslocamentos no interior da barragem de aterro ou no maciço de fundação. No caso da Barragem Lomba do Sabão o equipamento pode ser instalado a partir de furos de sondagem.

Além de instrumentos, é interessante a utilização de métodos geodésicos, pois são ferramentas que podem contribuir para a avaliação do grau de saturação do maciço e verificação de deslocamentos superficiais com bom grau de confiabilidade.

9.4 - INSTALAÇÃO DE DRENOS

Após o desbaste e reconformação dos taludes danificados pelas raízes, para efeito de segurança, devem ser instalados os drenos de pé no talude de jusante, os quais não foram localizados nas vistorias.

Os drenos adicionais, com largura mínima de 0,4 m, conferem melhor deformabilidade e resistência aos terrenos, além da redução de percolação e de subpressões excessivas.

10 - ANÁLISE CONCLUSIVA

O relatório em tela apresentou a identificação das anomalias que apresentam riscos à segurança da Barragem Lomba do Sabão, além de suas condições físicas e estudo hidráulico/hidrológico.

De forma geral, a barragem encontra-se em desuso e, por falta de manutenção, apresenta uma diversidade de anomalias. Além disso, há de considerar que o empreendimento, desde sua construção, já possui em torno de 70 anos de vida útil.

A inspeção visual dos taludes de jusante e montante tornou-se praticamente inexecutável devido à grande densidade de vegetação, dificultando a verificação de possíveis surgências, escorregamentos e/ou ravinamentos. A imprevisibilidade produzida pela massa vegetal no barramento ressalta o caráter de urgência para a execução das medidas de segurança. Inclusive, a densidade de vegetação não permite o levantamento/inspeção das estruturas, principalmente para observação de percolação, fissuras, afundamentos, deflexões, mau funcionamento do sistema de drenagem ou outros sinais de perigo. Portanto, em caso de abandono, a classificação do dano potencial associado para a barragem é alto.

Para aumento de controle e segurança, as informações fundamentadas contidas neste documento devem ser utilizadas. Destaca-se a importância a aplicação das terapias descritas no item 7 - ANOMALIAS E MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS, além da implantação dos equipamentos de monitoramento.

A desativação da barragem não deve ser descartada. Para tal, deve-se ser elaborado um plano de descomissionamento da barragem, com estudos detalhados da retirada de serviço da barragem e incluindo as medidas necessárias para garantir as condições de segurança, além de estudos hidráulicos sobre a formação do novo leito a montante, controle da cheia e estudo dos sedimentos. No entanto, ressaltamos a importância hidrológica da barragem para

controle de cheias do Arroio Dilúvio e como manancial para o município de Porto Alegre, sendo reserva técnica de água em caso de impossibilidade de abastecimento por parte do Lago Guaíba.

Por fim, ressaltamos a necessidade de elaboração do Plano de Ação Emergencial (PAE), de acordo com a Lei Federal nº 12.334/2010 que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. A barragem enquadra-se na PNSB em dois itens do Art. 1º: II - capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ e IV - categoria de dano potencial associado alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humana.

11 - EMPRESA RESPONSÁVEL PELA ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO

Os principais dados de identificação da empresa de consultoria responsável pelos estudos técnicos constam do Quadro 12.

Quadro 12 - Dados gerais da empresa consultora.

Dados Gerais da Empresa Consultora			
Razão Social: Agrosig Engenharia e Meio Ambiente EIRELI - EPP			
CNPJ/M.F: 05.848.147/0001-50	CREA RS: 171.356	CRBIO 3 (RS): 657-03/2011	CTF/IBAMA: 5473920
Endereço Correspondência: Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201-204			
Bairro: Moinhos de Vento	CEP: 90510-040	Município: Porto Alegre/RS	
Telefone: (51) 3072-6563 ou (51) 3072-6863			
Contatos: Geólogo Evandro Gottardo / Engenheiro Jorge Vidal Olivera Duarte			
Endereço eletrônico: comercial.agrosigeng@gmail.com			

12 - EQUIPE TÉCNICA

No Quadro 13 está relacionada a equipe técnica da empresa consultora responsável pela execução dos estudos que compõem o Relatório em questão.

Quadro 13 - Equipe responsável pela elaboração do Relatório Técnico.

Profissional	Qualificação	Registro Profissional	ART
Jorge Vidal Olivera Duarte	Eng. Agrícola, Ms. em Engenharia, Esp. Saneamento Ambiental	CREA RS 44141	10670755
Guilherme Querotti e Silva	Engenheiro Civil, Técnico em Hidrologia	CREA RS 242661	10670798
Evandro Gottardo	Geólogo, Ms. Dr. em Engenharia	CREA RS 83699	10670819
Guilherme Damin Zanatta	Formando em Geologia	-----	-----

13 - REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas. **Nota Técnica nº46/2018/SPR**. Brasília, 2018. Disponível:
https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/en/resources.get?id=580&fname=NOTA_TECNICA_46_2018_SPR.pdf.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Instruções para Apresentação do Plano de Segurança da Barragem**. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens. Vol. I, Brasília, 2016a.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem**. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens. Vol. II, Brasília, 2016b.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Guia de Revisão Periódica de Segurança de Barragem**. Manual do Empreendedor sobre Segurança de Barragens. Vol. III, Brasília, 2016c.

DEP. Departamento de Águas Pluviais. **Cadernos de Encargos**. Porto Alegre, Vol. 1, Pg. 302005.

MAIZONAVE, C. R. M.; BENDATI, M. M.; WERNER, V. R.; CYBIS, L. F. A.; CARVALHO, E. N. **Avaliação planctônica do reservatório da Lomba do Sabão (Porto Alegre/RS) com ênfase na ocorrência de cianobactérias**: implicações para o abastecimento público. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 2005.

POMPÊO, Marcelo. **Monitoramento e manejo de macrófitas aquáticas em reservatórios tropicais brasileiros**. Instituto de Biociências da USP, São Paulo, 2017.

PMPA. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Manual de Drenagem Urbana. Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. Vol. 6, Pg. 167, 2005.

PMPA. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Diagnóstico. Vol. 1, Pg. 234, 2015.

SILVEIRA. André Luiz Lopes da. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 10, n.1, 5-23, 2005.

TASSI, R; ALASSIA, D.G; MELLER, A; MIRANDA, T.C; SILVEIRA, A.L.L. **Determinação do Parâmetro CN para Sub-Bacias Urbanas do Arroio Dilúvio - Porto Alegre**. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. 2006.

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura. **Avaliação de Incerteza em Estudos de Rompimento de Barragens**. 2017. Dissertação. PPGRHSA. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2017a.

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura. **Rompimento da barragem Lomba do Sabão: diferentes abordagens dimensionais**. Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2017b.

USACE. United States Army Corps of Engineers. **HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual**. Davis, Califórnia, 2016.

ZANARDI, R. P.; SCHNEIDER, A. H.; SALOMONI, T. R.; SALOMONI, C. S.; REISS, M. L. L. **Validação da Qualidade do Perfilamento a Laser aerotransportado da cidade de Porto Alegre**. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu. 2013.

14 - ANEXOS

A documentação anexa a seguir relacionada complementa o Relatório Técnico:

Anexo I - Mosaico Aerofotogramétrico Produzido Para a Área de Interesse.

Anexo II - Dados dos Hietogramas de Precipitação e Precipitação Efetiva de Projeto.

Anexo III - Dados do Hidrograma de Vazões Naturais de Projeto.

Anexo IV - Dados do Hidrograma de Vazões Modificadas de Projeto.

Anexo V - Anotações de Responsabilidade Técnica.

ANEXOS

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 e 202 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: agrosig@agrosigeng.com.br. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Pela Elaboração



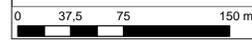
Anexo I - Mosaico Aerofotogramétrico Produzido Para a Área de Interesse.

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 e 202 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Técnico





			
MOSAICO AEROFOTOGRAMÉTRICO DA ÁREA DO BARRAMENTO, RESERVATÓRIO E ENTORNO DMAE - LOMBA DO SABÃO			
Data do Levantamento:	Escala:	Folha Formato:	Datum:
19/11/2019	1:2.500	A1	SIRGAS2000

488500

489000

489500

490000

6671500

6672000

6672500

6671500

6672000

6672500

Anexo II - Dados dos Hietogramas de Precipitação e Precipitação Efetiva de Projeto.

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 e 202 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Técnico



Precipitação para os hietogramas de projeto.

Tempo (min)	TR 1 ano 0(mm)	TR 5 anos (mm)	TR 10 anos (mm)	TR 25 anos (mm)	TR 50 anos (mm)	TR 100 anos (mm)	TR 200 anos (mm)	TR 500 anos (mm)	TR 1000 anos (mm)
20,00	1,29	1,77	2,03	2,43	2,79	3,19	3,66	4,38	5,01
40,00	1,61	2,20	2,52	3,02	3,46	3,96	4,54	5,43	6,23
60,00	2,18	2,99	3,42	4,10	4,69	5,37	6,16	7,37	8,44
80,00	3,60	4,94	5,66	6,77	7,76	8,89	10,18	12,18	13,96
100,00	14,68	20,13	23,06	27,59	31,61	36,21	41,48	49,64	56,86
120,00	5,65	7,74	8,87	10,61	12,15	13,92	15,95	19,09	21,86
140,00	2,70	3,70	4,23	5,07	5,80	6,65	7,62	9,11	10,44
160,00	1,84	2,53	2,90	3,47	3,97	4,55	5,21	6,23	7,14
180,00	1,43	1,96	2,25	2,69	3,08	3,53	4,04	4,84	5,54

Precipitação efetiva para os hietogramas de projeto.

Tempo (min)	TR 1 ano 0(mm)	TR 5 anos (mm)	TR 10 anos (mm)	TR 25 anos (mm)	TR 50 anos (mm)	TR 100 anos (mm)	TR 200 anos (mm)	TR 500 anos (mm)	TR 1000 anos (mm)
20,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
40,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,38	0,98
100,00	0,01	0,73	1,57	3,39	5,46	8,29	12,02	18,40	24,51
120,00	0,34	1,54	2,32	3,65	4,94	6,51	8,40	11,46	14,26
140,00	0,34	0,99	1,40	2,09	2,75	3,54	4,48	5,99	7,36
160,00	0,29	0,76	1,05	1,54	2,01	2,56	3,21	4,26	5,20
180,00	0,26	0,63	0,87	1,26	1,62	2,06	2,57	3,39	4,12

Anexo III - Dados do Hidrograma de Vazões Naturais de Projeto.

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 e 202 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Técnico



Anexo IV - Dados do Hidrograma de Vazões Modificadas de Projeto.

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 e 202 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Técnico



Vazões de projeto para hidrograma de cheia modificadas.

Tempo (h)	TR 1 ano (m ³ /s)	TR 5 anos (m ³ /s)	TR 10 anos (m ³ /s)	TR 25 anos (m ³ /s)	TR 50 anos (m ³ /s)	TR 100 anos (m ³ /s)	TR 200 anos (m ³ /s)	TR 500 anos (m ³ /s)	TR 1000 anos (m ³ /s)
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
0,80	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,07	0,10	0,19	0,29
1,00	0,00	0,08	0,16	0,34	0,55	0,82	1,19	1,90	2,66
1,20	0,00	0,35	0,66	1,29	1,99	2,93	4,16	6,41	8,68
1,40	0,04	0,90	1,59	2,96	4,45	6,42	8,97	13,51	18,01
1,60	0,13	1,68	2,85	5,13	7,56	10,74	14,84	21,99	28,99
1,80	0,30	2,59	4,25	7,44	10,79	15,16	20,72	30,35	43,00
2,00	0,53	3,47	5,57	9,56	13,73	19,10	25,93	39,39	58,88
2,20	0,79	4,21	6,67	11,29	16,08	22,23	30,01	49,14	70,03
2,40	1,01	4,75	7,45	12,50	17,70	24,36	32,76	54,95	76,29
2,60	1,19	5,08	7,91	13,17	18,58	25,49	34,17	57,09	78,00
2,80	1,31	5,20	8,04	13,30	18,69	25,55	34,15	55,54	75,09
3,00	1,37	5,12	7,87	12,93	18,10	24,66	32,88	51,11	68,65
3,20	1,38	4,89	7,48	12,25	17,10	23,27	30,97	45,54	60,95
3,40	1,33	4,57	6,98	11,42	15,93	21,65	28,79	39,78	53,15
3,60	1,26	4,22	6,45	10,53	14,69	19,96	26,54	34,74	45,75
3,80	1,18	3,87	5,91	9,65	13,45	18,27	24,28	29,70	38,36

Anexo V - Anotações de Responsabilidade Técnica.

AGROSIG

Rua Hilário Ribeiro, nº 294, Conjs. 201 e 202 - Bairro Moinhos de Vento, Porto Alegre - RS CEP 90510-040
Tel.: (51) 3072-6563 - (51) 3072-6863. E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com. Site: www.agrosigeng.com.br

Rubrica de Controle do Responsável Técnico





Tipo: PRESTAÇÃO DE SERVIÇO Participação Técnica: INDIVIDUAL/PRINCIPAL
 Convênio: NÃO É CONVÊNIO Motivo: NORMAL

Contratado
 Carteira: RS044141 Profissional: JORGE VIDAL OLIVEIRA DUARTE E-mail: jorge.vidal@agrosigeng.com.br
 RNP: 2201929327 Título: Engenheiro Agrícola
 Empresa: AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI-EPP Nr.Reg.: 171356

Contratante
 Nome: DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS E-mail:
 Endereço: RUA 24 DE OUTUBRO 200 Telefone: CPF/CNPJ: 92924901000198
 Cidade: PORTO ALEGRE Bairro.: MOINHOS DE VENTO CEP: 90510010 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço
 Proprietário: DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS CPF/CNPJ: 92924901000198
 Endereço da Obra/Serviço: BARRAGEM LOMBA DO SABÃO NO ARROIO SABÃO CEP:
 Cidade: PORTO ALEGRE Bairro: LOMBA DO SABÃO PARQUE SAINT HILAIRE UF: RS
 Finalidade: AMBIENTAL Vlr Contrato(RS): 30.000,00 Honorários(RS):
 Data Início: 20/01/2020 Prev.Fim: 03/06/2020 Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Coordenação Técnica	Barragem	300,00	M
Coordenação Técnica	Hidrologia	300,00	M
Coordenação Técnica	Sensoriamento Remoto	300,00	M
Coordenação Técnica	Barragem	35.000,00	M ³
Laudos Técnico	Barragem	300,00	M
Observações	LAUDO TÉCNICO CONCLUSIVO - BARRAGEM LOMBA DO SABÃO.	300,00	M
Observações	AValiação DAS CONdições FÍSICAS DA BARRAGEM LOMBA DO SABÃO	300,00	M
Observações	CONTRATO Nº 19.10.000008750-5 (OSA 2019-071)	300,00	M

ART registrada (paga) no CREA-RS em 03/03/2020

 Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima JORGE VIDAL OLIVEIRA DUARTE	De acordo Eng. Ricardo Skotsky Reibner - 546763 DNEA - GRLA - EOPDAE
	Profissional	Contratante DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODERÁ SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK CIDADÃO - ART CONSULTA

Jorge Vidal Oliveira Duarte
 Eng. Agrônomo
 Ms. Engenharia
 CREA/R S 44141



Anotação de Responsabilidade Técnica - ART
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio Grande do Sul



ART Número
10670798

Tipo: PRESTAÇÃO DE SERVIÇO **Participação Técnica:** INDIVIDUAL/PRINCIPAL
Convênio: NÃO É CONVÊNIO **Motivo:** NORMAL

Contratado

Carteira: RS242661 **Profissional:** GUILHERME QUEROTTI E SILVA **E-mail:** guilhermequerotti@live.com
RNP: 2219098893 **Título:** Engenheiro Civil
Empresa: NENHUMA EMPRESA **Nr.Reg.:**

Contratante

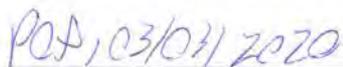
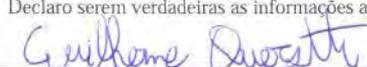
Nome: AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI EPP **E-mail:**
Endereço: RUA HILÁRIO RIBEIRO 294 201 **Telefone:** **CPF/CNPJ:** 05848147000150
Cidade: PORTO ALEGRE **Bairro.:** MOINHOS DE VENTO **CEP:** 90510040 **UF:** RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: DMAE-DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS **CPF/CNPJ:** 92924901000198
Endereço da Obra/Serviço: BARRAGEM LOMBA DO SABÃO NO ARROIO SABÃO
Cidade: PORTO ALEGRE **Bairro:** LOMBA DO SABÃO PARQUE SAINT HILAIRE **CEP:** **UF:** RS
Finalidade: AMBIENTAL **Valor Contrato(R\$):** 3.000,00 **Honorários(R\$):**
Data Início: 01/02/2020 **Prev.Fim:** 03/06/2020 **Ent.Classe:**

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Laudo Técnico	Avaliação de Áreas de Risco	100,00	HA
Laudo Técnico	Análise de Riscos	300,00	M
Laudo Técnico	Barragem de Terra	300,00	M
Laudo Técnico	Barragens - Vertedores	40,00	M
Laudo Técnico	Barragens - Obras de Desvio	100,00	M
Laudo Técnico	Cartografia	100,00	HA
Laudo Técnico	Estruturas - Barragem de Terra	300,00	M
Laudo Técnico	Hidrologia - Danos Causados por Cheias	100,00	HA
Laudo Técnico	Hidrologia - Dimensionamento de Cheias	100,00	HA
Laudo Técnico	Hidrologia - Escoamento em Rios e Reservatórios	100,00	HA
Laudo Técnico	AVALIAÇÃO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS	300,00	M
Observações	LAUDO TÉCNICO CONCLUSIVO - BARRAGEM LOMBA DO SABÃO:	300,00	M
Observações	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DA BARRAGEM LOMBA DO SABÃO	300,00	M
Observações	CONTRATO Nº 19.10.000008750-5 (OSA 2019-071)	300,00	M

ART registrada (paga) no CREA-RS em 03/03/2020

 Local e Data	Declaro serem verdadeiras as informações acima  GUILHERME QUEROTTI E SILVA Profissional	De acordo  AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI EPP Contratante
---	---	--

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODERÁ SER CONFIRMADA NO SITE DO CREA-RS, LINK CIDADÃO - ART CONSULTA

Jorge Vidal Oliveira Duarte
 Engº Agrícola
 Ms. Engenharia
 CREA/RS 44141



Tipo: PRESTAÇÃO DE SERVIÇO Participação Técnica: EQUIPE ART Vínculo: 10670755
Convênio: NÃO É CONVÊNIO Motivo: NORMAL

Contratado

Carteira: RS083699 Profissional: EVANDRO GOTTARDO E-mail: comercial.agrosigeng@gmail.com
RNP: 2206221853 Título: Geólogo
Empresa: AGROSIG ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE EIRELI-EPP Nr.Reg.: 171356

Contratante

Nome: DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS-DMAE E-mail:
Endereço: RUA FERNANDO GOMES 200 Telefone: CPF/CNPJ: 92924901000198
Cidade: PORTO ALEGRE Bairro.: MOINHOS DE VENTO CEP: 90510010 UF: RS

Identificação da Obra/Serviço

Proprietário: DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS-DMAE CPF/CNPJ: 92924901000198
Endereço da Obra/Serviço: BARRAGEM LOMBA DO SABÃO NO ARROIO SABÃO
Cidade: PORTO ALEGRE Bairro: LOMBA DO SABÃO PARQUE SAINT HILAIRE CEP: UF: RS
Finalidade: AMBIENTAL Vlr Contrato(RS): 30.000,00 Honorários(RS):
Data Início: 20/01/2020 Prev.Fim: 03/06/2020 Ent.Classe:

Atividade Técnica	Descrição da Obra/Serviço	Quantidade	Unid.
Laudo Técnico	Modelagem 3D com uso de Drone	100,00	HA
Laudo Técnico	Uso e interpretação de dados aerofotogr. obtidos com drone	100,00	HA
Laudo Técnico	Análise de Risco Ambiental	100,00	HA
Laudo Técnico	Cartografia	100,00	HA
Observações	LAUDO TÉCNICO CONCLUSIVO - BARRAGEM LOMBA DO SABÃO:	100,00	HA
Observações	AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES FÍSICAS DA BARRAGEM LOMBA DO SABÃO	100,00	HA
Observações	CONTRATO Nº 19.10.000008750-5 (OSA 2019-071)	100,00	HA

ART registrada (paga) no CREA-RS em 03/03/2020

 Local e Data 04/03/20	Declaro serem verdadeiras as informações acima EVANDRO GOTTARDO Profissional	De acordo Eng. Adriano Sotelsky Reinheimer - 546763 DMAE - GPLA - EPPDAE DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTOS-DMAE Contratante
------------------------------	--	--

A AUTENTICIDADE DESTA ART PODERÁ SER CONFIRMADA NO SITE www.crea-rs.org.br CREA-RS, LINK CIDADÃO - ART CONSULTA

Evandro Gottardo
Geólogo
Ms. & Dr. em Engenharia
CREAIRS 83699