

INVENTÁRIO DE PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS E OUTRAS INFORMAÇÕES DE INTERESSE DA BARRAGEM DO CHASQUEIRO/RS

Karina Retzlaff Camargo (Universidade Federal do Rio Grande) karinacamargo@furg.br
Alexandre Felipe Bruch (Universidade Federal de Pelotas) afbruch@gmail.com
Jeanderson Lima da Silva (Universidade Federal do Rio Grande) jeandersonlima.s@outlook.com
Gilberto Loguercio Collares (Universidade Federal de Pelotas) gilbertocollares@gmail.com

Resumo: Este trabalho descreve e discute os resultados da etapa de inventário de propriedades geotécnicas e outras informações de interesse do processo de auscultação da Barragem do Chasqueiro, uma barragem de terra localizada no sul do estado do Rio Grande do Sul. Os procedimentos realizados têm por objetivo verificar a validade de hipóteses utilizadas no projeto. Os dados evidenciam que a barragem foi assente sobre aluviões arenosos na porção central do barramento, solo transportado argilo-arenoso, na porção intermediária, e solo transportado argilo-siltoso nas porções mais próximas às extremidades do eixo barrável. Observa-se que as menores altitudes ocorrem nas regiões de aluviões transportados pelos arroios e que as maiores aconteciam mais próximo da extremidade do barramento. O mapa de declividade evidencia que a inclinação primitiva do terreno variava entre 0 e 30%, com predomínio de declividades entre 2 e 4%. Quanto aos geomateriais de construção, a maior parte encontrava-se em campo com umidade maior que a umidade ótima de compactação, o que denota que para o uso como material construtivo da barragem, a maior parte dos solos requereu um processo de secagem para o seu uso, o que, em geral, é difícil de ser realizado satisfatoriamente em campo.

Palavras-chave: Barragem de terra, Auscultação de barragem, Modelo digital tridimensional

INVENTORY OF GEOTECHNICAL PROPERTIES AND OTHER INFORMATION OF INTEREST OF CHASQUEIRO DAM/RS

Abstract: This paper describes and discusses the results of the inventory stage of geotechnical properties and other information of interest from the Chasqueiro Dam auscultation process. An earth dam located in the south of the Rio Grande do Sul state. The procedures adopted aim to verify the hypothesis used in the project validity. The data shows that the dam was assented on sandy alluvium in the central portion of it, sandy clay transported soil, in the intermediate portion, and clay-silty transported soil in the portions closest to the ends of the dam. It is observed that the lowest altitudes occurred in the regions of alluvium transported by the streams and the highest occurred closer to the dam end. The slope map shows that the original slope of the terrain varied between 0 and 30%, with a predominance of slopes between 2 and 4%. As for construction geomaterials, most of them were found in the field with humidity greater than the optimum humidity for compaction, which denotes that to be used as construction material for the dam, most soils would require a drying process for their use, which, in general, is difficult to be done satisfactorily in field.

Keywords: Earth dam, Dam auscultation, Tridimensional digital model

1. Introdução

As barragens podem ser definidas como obstáculos artificiais construídos transversalmente a um rio ou talvegue com o objetivo de reter a água ou qualquer outro líquido (rejeitos, detritos, dentre outros). Assim, tem-se a formação de um reservatório, o qual pode ser destinado a diversas finalidades. Mesmo com o avanço tecnológico, problemas em relação a barragens ainda são frequentes. Desde 2011, quando o primeiro Relatório de Segurança de Barragens foi produzido, até 2021, a Agência Nacional das Águas (ANA) registrou 307 acidentes e incidentes (ocorrências que afetam o

comportamento ou estrutura da barragem, os quais podem futuramente causar acidentes) de barragens (ANA, 2023). Dentre estes, dois grandes acidentes envolvendo rompimento de barragens de rejeito, ambos ocorridos em Minas Gerais, uma na cidade de Mariana e outro na cidade de Brumadinho, ganharam bastante repercussão nacional e, até mesmo, internacional. Assim, justifica-se a necessidade de constante monitoramento e manutenção deste tipo de estrutura, a fim de garantir a sua integridade e prevenir eventuais acidentes.

A auscultação corresponde ao conjunto de métodos, métricas e observações de comportamento de uma determinada obra de engenharia, com o objetivo de controlar suas condições de segurança, comprovar a validade de hipóteses e dos métodos de cálculo utilizados em projeto, como também verificar a necessidade de medidas corretivas (USSD, 2008). Em barragens de terra, um dos métodos utilizados em técnicas de auscultação é a comparação de caracterização geotécnica dos solos utilizados como material de construção do barramento com a caracterização geotécnica apresentada em projeto, de forma a verificar se os materiais construtivos utilizados tem o potencial de apresentarem comportamento compatível com aquele esperado em projeto (BEDMAR E ARAGUÁS, 2002; DUFFAUT E LAROUZÉE, 2019; POUGTSCCH *et al.*, 2011). Neste contexto, este trabalho apresenta o inventário de propriedades geotécnicas e outras informações de interesse da Barragem do Chasqueiro (Figura 1), localizada em Arroio Grande, no sul do estado do Rio Grande do Sul (RS). Destaca-se que esta é uma das etapas do processo de auscultação que vem sendo desenvolvido no barramento em questão por uma parceria entre o Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, a ALM (Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim), responsável pela gestão da barragem, e pesquisadores parceiros.

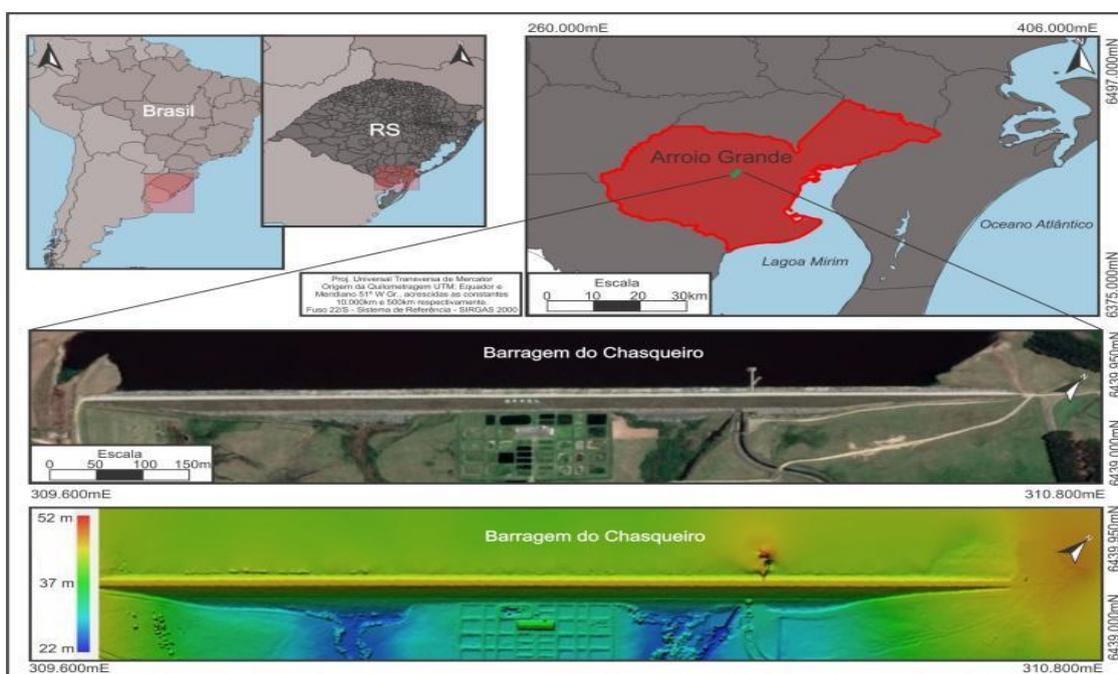


Figura 1 – Mapa de localização da Barragem do Chasqueiro

2. Cenário de estudo

O Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro (DIBAC), do qual a barragem é parte integrante, visa aumentar a disponibilidade hídrica na região e garante o aproveitamento racional de recursos de água e solos para a implantação da agricultura irrigada.

Entende-se que a existência deste barramento foi e é prioritária para o desenvolvimento da bacia hidrográfica da Lagoa Mirim, a qual depende direta ou indiretamente desta forma de agricultura. O projeto DIBAC (Distrito de Irrigação da Barragem do Arroio Chasqueiro) foi realizado em consonância com o Plano de Desenvolvimento Integrado da Bacia da Lagoa Mirim – São Gonçalo, possui caráter binacional, considera fundamentos, objetivos e diretrizes da PNRH (Política Nacional de Recursos Hídricos) (ALM, 2023).

O DIBAC é constituído por terras irrigáveis às margens do Arroio Chasqueiro, distante cerca de 10 km da sede do município de Arroio Grande e 70 km de Pelotas, principal polo geoeconômico da zona sul do RS e a Barragem do Chasqueiro, parte do projeto e objeto de estudo deste trabalho, está em operação desde 1983 e localiza-se na Bacia Hidrográfica do Arroio Chasqueiro (BHAC) (SILVA *et al.*, 2023). A BHAC, no seu curso médio-alto (bacia de captação da barragem), está localizada na unidade geológica mais antiga do RS, denominada Escudo Sul Rio-grandense (ESRG). No ESRG, a área de estudo perfaz os terrenos da borda leste do Batólito Pelotas, o qual é composto basicamente por suítes e complexos graníticos originados no Ciclo Brasileiro (950 a 490 Ma) e septos do embasamento. As maiores declividades do terreno ocorrem nas regiões de encosta, limite entre as Unidades do Planalto Rebaixado Sul Rio-Grandense e Planalto Residual Sul Rio-grandense. Nesta região a declividade varia entre 0 e 47%, com predomínio de 23%. Já nas regiões dos vales dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, a declividade varia entre 0 a 10%, predominando inclinações não superiores a 5%. As colinas são as formas de relevo predominantes na área e são caracterizadas por declividades médias entre 5 e 10% e altitudes que não ultrapassam os 120 m e amplitudes entre 20 e 60 m. Em geral, estão localizadas nos terrenos interfluviais do curso médio entre os Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, com topos arredondados a quase planos (SILVA *et al.*, 2023).

A BHAC apresenta uma relativa homogeneidade pedológica, sendo necessário para a sua individualização a utilização do quarto nível categórico (Subgrupo) da classificação tradicional de solos. Em termos gerais, ocorrem três subgrupos do quarto nível de Argissolos Vermelho-Amarelo na área, conforme Figura 2. Estes solos apresentam como características marcantes o aumento de argila no horizonte superficial A para o subsuperficial B, que é do tipo B textural (Bt), geralmente acompanhados de boa diferenciação de cores e outras características. Enquanto as cores de Bt variam de amareladas a avermelhadas, as do A são sempre mais escurecidas, denotando acúmulo de matéria orgânica. São solos pouco profundos, com horizontes bem definidos, visto a variação de características morfológicas e analíticas de cor, textura e estrutura entre os horizontes ser de progressiva a abrupta (CUNHA *et al.*, 2006). Os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos típicos (PVA Dt), os quais ocorrem mais próximo ao barramento, ocorrem em relevo aplainado de colinas e rampa, com baixa energia. São normalmente bem drenados, com Tb. Os horizontes apresentam sub-horizonte A1 (0 a 20 cm de profundidade), A2 típico consolidado e de aspecto homogêneo e horizonte B com mudança textural típica; o sub-horizonte B2 apresenta fragmentos com cerosidade a sua volta sobrepostos ao horizonte C. Apresentam baixo potencial erosivo e sem rocha aparente (CUNHA *et al.*, 2006).

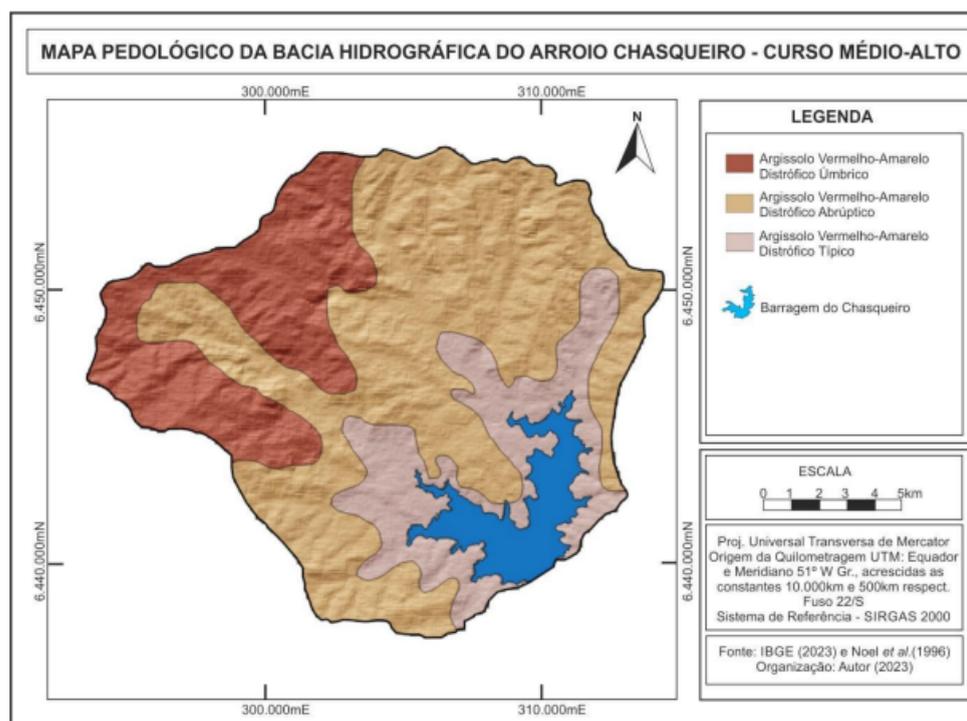


Figura 2 – Mapa pedológico da BHAC – curso médio-alto

3. Materiais e métodos

O Projeto Básico do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro (SONDOTÉNICA, 1976), o qual inclui o projeto básico da barragem, foi concluído em 1976. Assim, a maior parte dos dados obtidos e disponibilizados está em formato analógico e está sob guarda da ALM. Por isso, a primeira etapa deste trabalho foi a identificação de informações, especialmente geotécnicas, de interesse e digitalização destes dados, de forma a servirem de ferramenta para outras análises realizadas por este trabalho. Assim como servir como meio de divulgação destes dados e facilitar eventuais futuras pesquisas que possam vir a ser realizadas sobre o tema. O primeiro dado de interesse identificado no projeto básico do DIBAC foi a planta topográfica primitiva da região da barragem, a qual foi traçada em escala 1:2000. Em seguida, esta planta foi digitalizada e georreferenciada com cinco pontos de controle, no software *QGis*[®].

Para o georreferenciamento foram definidos os sistemas de referência planialtimétricos. Foi utilizado o Datum Sirgas 2000 como referencial geodésico planialtimétrico oficial do Brasil, assim como o Datum vertical, para o qual foi utilizado o marégrafo de Imbituba, ou seja, as altitudes relacionadas ao nível médio dos mares. A partir desse mapa foram vetorizadas as curvas de nível com equidistância de 1 metro, no formato SHP (*Shapefile*). Este processo foi realizado através da ferramenta de edição vetorial e a criação da coluna “Cota” na tabela de atributos, na qual foram registradas as altitudes das curvas de nível. Após, as curvas de nível foram interpoladas com uso da ferramenta interpolador TIN (*Triangular Irregular Network*), o que gerou uma grade irregular com resolução espacial de 1 metro. Esta grade foi exportada no formato TIFF (*Tagged Image File*) para o *software Surfer*[®], o que permitiu a modelagem através da ferramenta hipsométrica. Esses dados foram utilizados para a construção do Modelo Digital do Terreno (MDT) tridimensional da superfície primitiva do terreno da atual Barragem do Chasqueiro.

4. Resultados e discussões

A planta topográfica primitiva do terreno da Barragem do Chasqueiro foi digitalizada e georreferenciada com cinco pontos de controle, e está apresentada na Figura 3, o que resultou num erro quadrático inferior a 1 (pixel). Os dados das figuras evidenciam que a barragem foi assente sobre aluviões arenosos na porção central do barramento, solo transportado argilo-arenoso, na porção intermediária, e solo transportado argilo-siltoso nas porções mais próximas às extremidades da barragem. Além disso, em pequenas áreas havia afloramento rochoso de gnaiss granitoide e/ou pegmatito. Entende-se a partir disso que a escolha por uma barragem de terra foi adequada quanto aos tipos de materiais de fundação, uma vez que este tipo de barramento é adequado desde rocha sã aos mais diversos tipos de sedimentos (NARITA, 2000; FELL *et al.*, 2005).

A modelagem através da ferramenta hipsométrica é apresentada na Figura 4. A análise combinada das Figuras 3 e 4 evidencia que as menores altitudes ocorrem nas regiões de aluviões, transportados pelas águas dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, e que as maiores ocorrem mais próximas das extremidades do barramento, onde há a presença de solo transportado argilo-siltoso. Estes dados foram utilizados para a construção do modelo digital do terreno (MDT) tridimensional da superfície primitiva, conforme mostra a Figura 5. Observa-se que os talwegues, evidenciados pelos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, ocorrem a uma altitude de 23 m, o que vai ao encontro da caracterização do cenário de estudo que descreve as amplitudes das colinas entre 20 e 60 m. A grade TIN também foi utilizada para a geração do mapa derivado Declividade, no qual se utiliza de variações de altitude e distância entre as células para o cálculo da inclinação do terreno. A matriz final é apresentada em porcentagens de inclinação na superfície. A Figura 6 apresenta o mapa de declividades, evidenciando que a inclinação primitiva do terreno variava entre 0 e 30%, com predomínio de declividades entre 2 e 4%, ratificando as informações descritas na caracterização do cenário de estudo deste trabalho, onde indica-se que nesta região há predomínio de declividades inferiores a 5%.

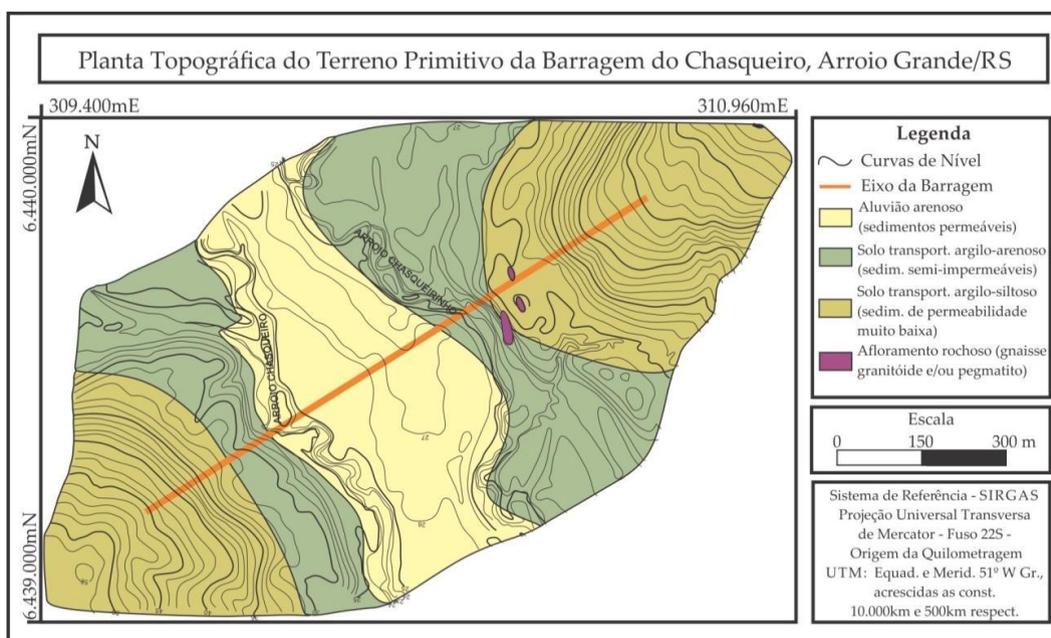


Figura 3 – Planta topográfica primitiva do terreno da Barragem do Chasqueiro

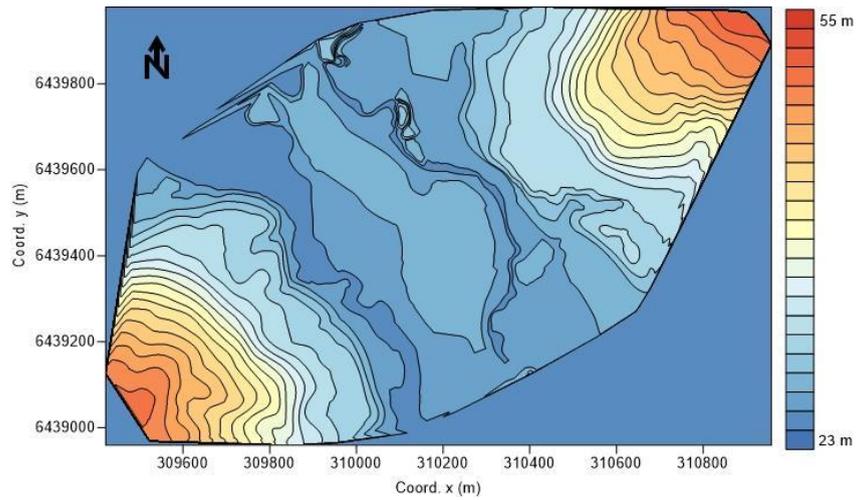


Figura 4 – Mapa hipsométrico primitivo do terreno da Barragem do Chasqueiro

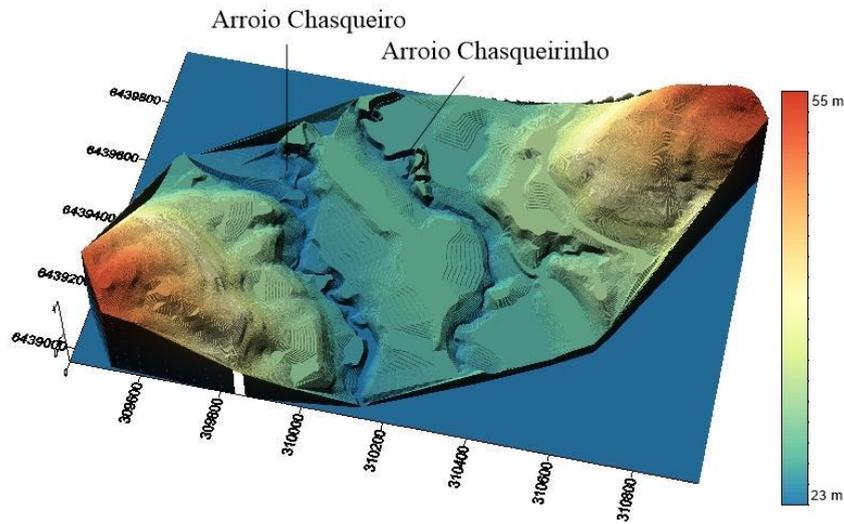


Figura 5 – Modelo digital tridimensional do terreno primitivo da Barragem do Chasqueiro

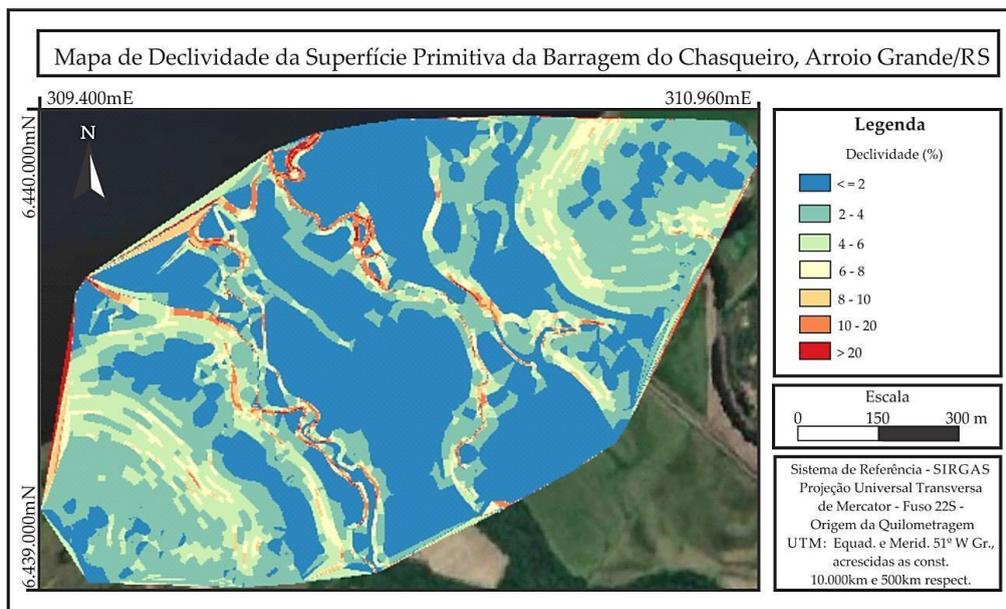


Figura 6 – Mapa de declividade do terreno primitivo da Barragem do Chasqueiro

Para a implantação e construção do DIBAC foram conduzidos diversos estudos, os quais foram realizados e descritos em relatório técnico (SONDOTÉCNICA, 1976). Assim, foram executados, em nível de projeto básico, nos locais de interesse ao empreendimento, investigações geotécnicas, as quais tinham como objetivo a caracterização geotécnica dos materiais de fundação e construção da barragem. A Figura 7 mostra a localização das sondagens à percussão no eixo barrável. A Figura 8 mostra seções representativas construídas a partir dos resultados dos ensaios apresentados na Figura 7. Estas seções foram elaboradas a partir de resultados de sondagens de simples reconhecimento com ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) e digitalizadas por este trabalho. Entretanto, destaca-se que em 1976, época da realização dos ensaios, ainda não havia nenhuma norma técnica brasileira que padronizava a realização destes ensaios. Assim, especialmente quanto aos critérios de paralisação dos ensaios, observam-se algumas inconsistências em relação às preconizações das diferentes versões da norma brasileira.

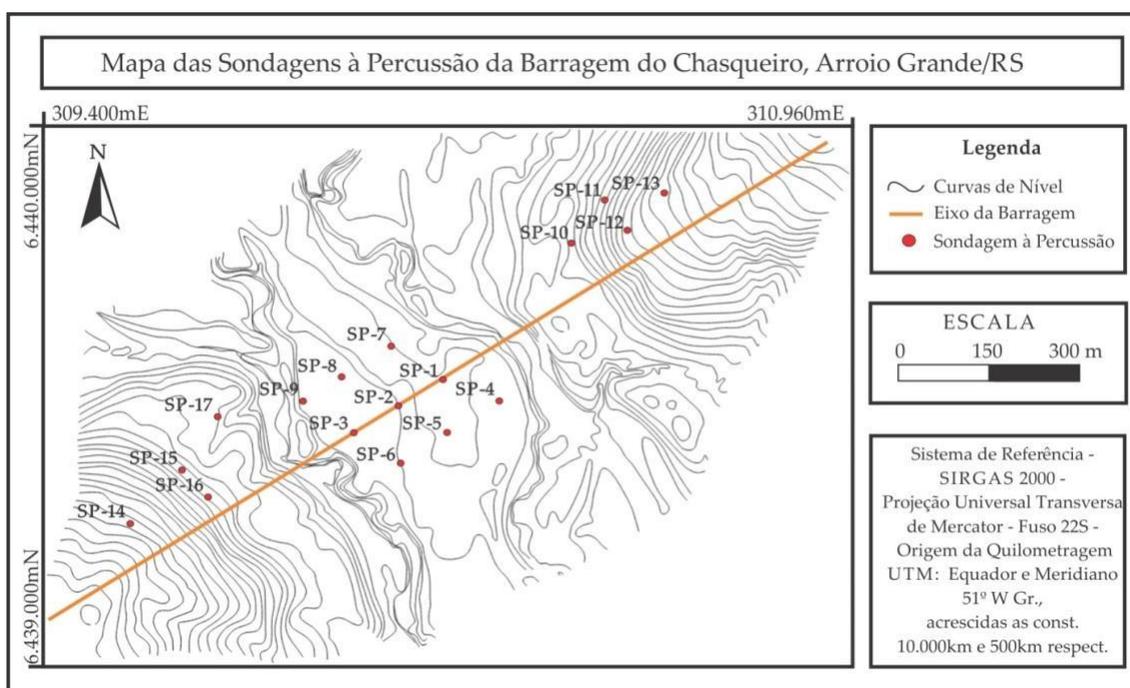


Figura 7 – Mapa de sondagens à percussão no eixo barrável da Barragem do Chasqueiro. Fonte: adaptado de Sondotécnica (1976)

Embora haja alguns detalhamentos na descrição das camadas, em síntese observa-se que, superficialmente, o solo é composto por uma argila arenosa a siltosa escura e, por vezes, com presença de matéria orgânica, a qual varia de espessura entre 0,2 e 7,0 m. Em algumas sondagens, dentro desta camada há uma camada de areia fina a grossa, por vezes, com pedregulhos, dentro da qual em algumas porções ocorrem porções de solos siltosos e argilosos. Esta camada localiza-se acima de uma outra camada argilosa, tão espessa que em alguns pontos amostrais chega até o impenetrável à percussão do perfil.

Quanto aos materiais construtivos, os projetistas indicavam que a espessura de expurgo nas jazidas terrosas variava entre 0,3 e 0,6 m e era correspondente a uma camada de solo transportado, areno-argiloso com raízes, medianamente plástico, fofo, semi-impermeável, marrom-escuro, o qual deveria ser removido por ocasião da limpeza. Observava-se, em ambas as jazidas, ocorrência de água subsuperficial, a uma profundidade média de 1,7 m, no contato entre uma camada de solo transportado, argiloso, quase impermeável, e uma camada de solo residual maduro, numa zona mais arenosa, com cerca de 2 cm de espessura. Entendia-se que esta ocorrência não

prejudicaria a exploração, uma vez que a água poderia facilmente ser drenada por gravidade durante os trabalhos. Ambas as jazidas são constituídas de solo residual de gnaiss e nelas foram identificados três horizontes de solos distintos. O primeiro, com espessura média, da ordem de 1,2 m, formado por argila siltosa de consistência média, elevada plasticidade, quase impermeável, vermelha, por vezes amarelada. No segundo, constituído de solo residual maduro, encontra-se argila siltosa com areia média e grossa, plasticidade elevada, quase impermeável, cor cinza por vezes variegada, com veios amarelados e avermelhados, sendo a espessura média da ordem de 1 m. O terceiro horizonte, composto por solo residual jovem, apresenta areia fina a grossa com pedregulhos médios, siltosa, micácea, compacta, de cor variegada (SONDOTÉCNICA, 1976).

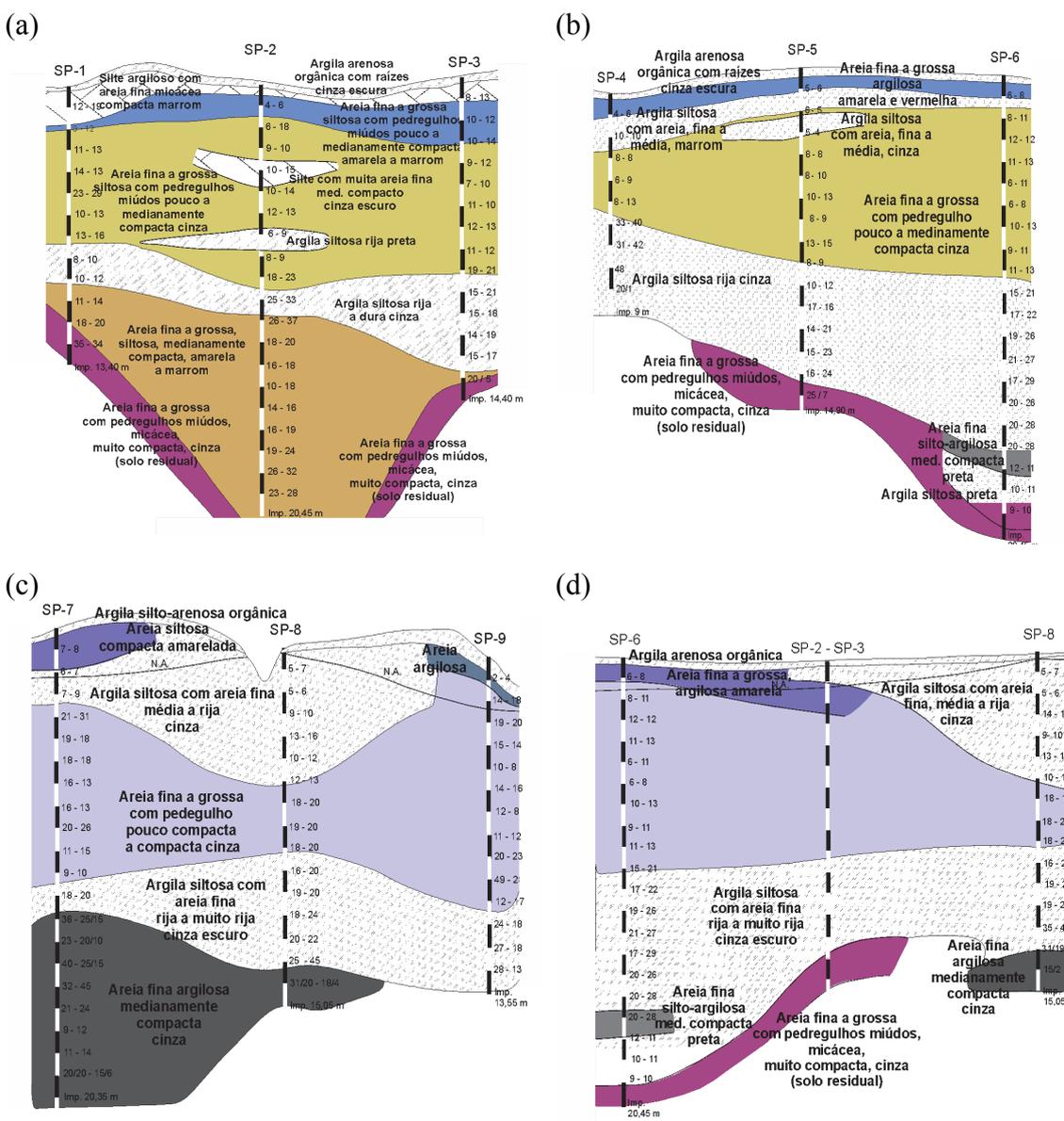


Figura 8 – Seções: (a) 01; (b) 02; (c) 03; e (d) 04. Fonte: adaptado de Sondotécnica (1976)

A Figura 9a apresenta o intervalo de curvas granulométricas dos solos estudados. Embora a figura apresente apenas os limites inferior e superior das curvas granulométricas, há a descrição no projeto da caracterização geotécnica de 32 solos diferentes, os quais variavam o teor de argila entre 15 e 42%. A Figura 9b apresenta as

curvas de compactação, na Energia do Proctor Normal, dos solos argilosos. Os pesos específicos aparentes secos máximos encontrados variam entre 16 e 18,3 kN/m³ e os teores de umidade ótimo de compactação encontrados variam entre 14 e 19%. A Figura 9c apresenta o Gráfico de Plasticidade de Casagrande para estes solos. Predominantemente os solos concentram-se acima da “Linha A” de plasticidade e são classificados pelo SUCS (Sistema Unificado de Classificação de Solos) como CL ou CH, ou seja, argilas inorgânicas de baixa ou alta plasticidade, respectivamente. Com estes dados observa-se que o limite de liquidez apresenta uma mediana de 47%, o limite de plasticidade de 26% e o índice de plasticidade de 22%. Apenas cinco solos apresentam o comportamento, quanto ao índice de plasticidade, como moderadamente plásticos. Assim, todos os demais são classificados como altamente plásticos.

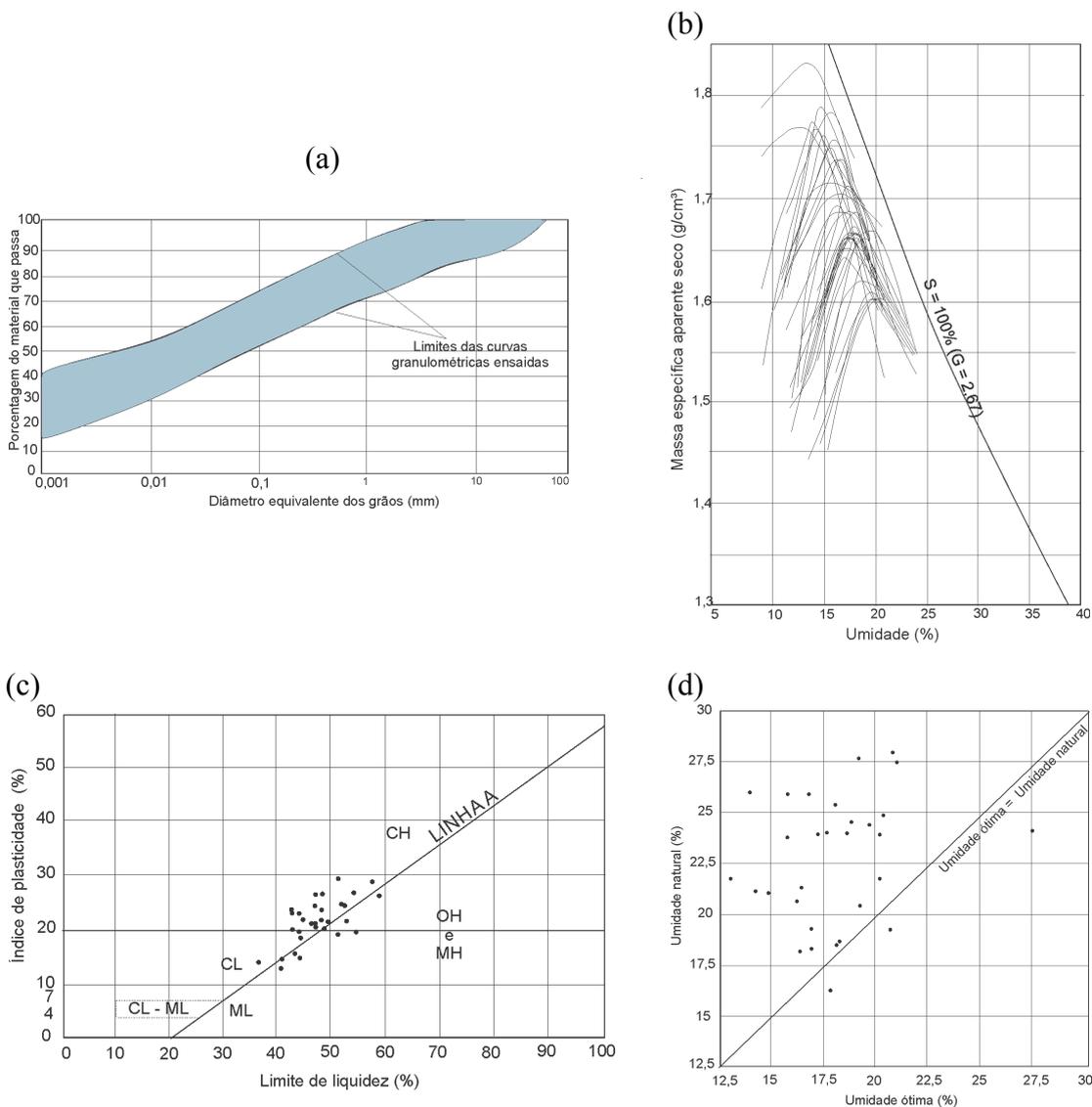


Figura 9 – Caracterização geotécnica dos solos argilosos investigados como material de construção da barragem: (a) intervalo de curvas granulométricas; (b) curvas de compactação; (c) Gráfico de Plasticidade de Casagrande; e (d) comparação entre umidade natural e umidade ótima de compactação. Fonte: adaptado de Sondotécnica (1976)

Por fim, a Figura 9d apresenta a comparação entre a umidade natural dos solos em campo e a umidade ótima de compactação. Os resultados evidenciam que a maior parte dos solos encontrava-se em campo com umidade maior que a umidade ótima de

compactação, o que denota que para o uso como material construtivo da barragem, a maior parte dos solos requereria um processo de secagem para o seu adequado uso, que é reconhecidamente um processo mais dificultoso de ser realizado em campo do que o umedecimento do solo.

A Figura 10 apresenta resultados de ensaios triaxiais do tipo CU (*Consolidated Undrained* – Adensado e Não drenado) com medida de poropressão em termos totais e efetivos, a partir da trajetória de tensões em termos de p e q (termos totais) e p' e q' (termos efetivos). Em síntese os resultados apontam para uma coesão total (c) de 60 kPa, a qual em termos efetivos (c') é reduzida para 40 kPa. Por sua vez, o ângulo de atrito efetivo sofre aumento (18° em termos totais - ϕ - e 30° em termos efetivos - ϕ'). Este aumento do ângulo de atrito a longo prazo em relação a curto prazo é tradicionalmente encontrado na literatura para argilas normalmente adensadas, ou seja, aquelas que apresentam OCR (*Overconsolidation Ratio* – Razão de sobreadensamento) igual a 1, nas quais a máxima tensão de pré-adensamento é igual a tensão efetiva atuante. Entretanto, é usual na literatura (CRAIG, 2000; PINTO, 2000; DAS, 2007) que argilas nestas condições apresentem intercepto coesivo nulo ou muito baixo, ao contrário do observado nesses resultados, os quais são indicativos de argilas fortemente pré-adensadas.

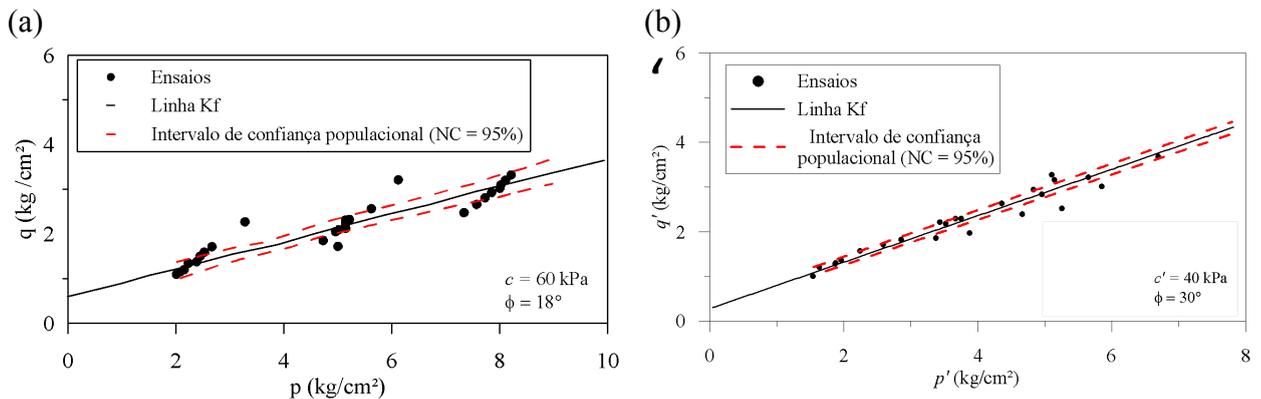


Figura 10 – Resultados de ensaios triaxiais CU com medida de poropressão: (a) em termos de parâmetros totais; e (b) em termos de parâmetros efetivos. Fonte: adaptado de Sondotécnica (1976)

A Tabela 1, onde $w_{ót}$ indica a umidade ótima de compactação, sumariza os resultados de cisalhamento direto realizados em condições drenadas com um material composto por 48% de argila e que apresenta limite de liquidez igual a 54%. Com os resultados apresentados, observa-se que o ângulo de atrito efetivo é insensível à variação de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima de compactação. Por sua vez, a coesão efetiva apresenta redução significativa, principalmente no ramo úmido da curva de compactação. Estes resultados alertam para o fato da necessidade de precisão da umidade de compactação, especialmente pela observação (Figura 9d) que a maioria dos solos em campo encontrava-se com umidade maior que a umidade ótima de compactação.

Tabela 1 – Parâmetros de resistência obtidos por ensaios de cisalhamento direto em condições drenadas

Umidade	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)
$w_{ót}$	35	25
$w_{ót-2\%}$	30	25
$w_{ót+2\%}$	19	25

Fonte: Adaptado de Sondotécnica (1976)

5. Conclusões

Este trabalho descreve e discute os resultados da fase de inventário de propriedades geotécnicas e outras informações de interesse do processo de auscultação de uma barragem de terra, localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul e que cumpre importante papel socioeconômico na região em que se localiza. Inicialmente, a partir de dados interpretados da planta analógica do terreno primitivo do barramento, i.e., mapa de localização, mapa hipsométrico e modelo tridimensional de superfície, pode-se observar que a Barragem do Chasqueiro foi assente sobre aluviões arenosos, na porção central do barramento, solo transportado argilo-arenoso, na porção intermediária, e solo transportado argilo-siltoso nas porções mais próximas às extremidades do eixo barrável. Além disso, em pequenas áreas havia afloramento rochoso de gnaiss granitóide e/ou pegmatito. Entende-se a partir disso que a escolha por uma barragem de terra foi adequada quanto aos tipos de materiais de fundação, uma vez que este tipo de barramento é adequado desde rocha sã aos mais diversos tipos de sedimentos. Observa-se que as menores altitudes ocorriam nas regiões de aluviões, transportados pelas águas dos Arroios Chasqueiro e Chasqueirinho, e que as maiores ocorriam em áreas mais próximas das extremidades do eixo barrável (ocorrência de solo transportado argilo-siltoso). Além disso, os talwegues, evidenciados pelos dois arroios, ocorriam a uma altitude de 23 m e a inclinação primitiva do terreno variava entre 0 e 30%, com predomínio de declividades entre 2 e 4%.

Resultados de sondagens à percussão da época de construção da barragem demonstram que embora haja alguns detalhamentos na descrição das camadas, em síntese observa-se que, superficialmente, o solo é composto por uma argila arenosa a siltosa escura e, por vezes, com presença de matéria orgânica, a qual varia de espessura entre 0,2 e 7,0 m. Em algumas sondagens, dentro desta camada há uma camada de areia fina a grossa, por vezes, com pedregulhos, dentro da qual em algumas porções ocorrem solos siltosos e argilosos. Esta camada localiza-se acima de uma outra camada argilosa, tão espessa que em alguns pontos amostrais chega até o impenetrável à percussão do perfil.

Os materiais de construção avaliados para o núcleo do barramento variavam no teor de argila entre 15 e 42% e são classificados como argila inorgânica de alta ou baixa plasticidade. A maior parte dos solos encontrava-se em campo com umidade maior que a umidade ótima de compactação, o que denota que para o uso como material construtivo da barragem, a maior parte dos solos requereria um processo de secagem para o seu adequado uso, o que, em geral, é difícil de ser realizado satisfatoriamente em campo.

Referências

AGÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA LAGO MIRIM – ALM. *Diagnóstico e prognóstico do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro.* Relatório Técnico. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Relatório de Segurança de Barragens.* Brasília- DF. 37 p. Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/2021> Acesso em: 05 de abril de 2023.

BEDMAR, A.P.; ARAGUÁS, L. *Detection and prevention of leaks from dams.* Balkema Publisher. 2002.

CUNHA, N.G.; SILVEIRA, R.J.C.; SEVERO, R.C.S. *Estudo dos solos do município de Arroio Grande.* Pelotas: EMBRAPA/CPACT. Ed. UFPel. 103 p. 2006.

DUFFAUT, P. LAROUZÉE, J. *Geology, Engineering and Humanities: three sciences behind the Malpasset dam failure.* Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, v. 52, p. 445-458. 2019.

FELL, R.; MACGREGO, P.; STAPLEDON, D.; BELL, G. *Geotechnical Engineering of Dams*. A. A. Balkema Publishers. London, UK. 907 p. 2005.

NARITA, K. *Design and construction of embankment dams*. Dept. of Civil Engineering. Aichi Institute of Technology. 2000.

POUGTSCH, H.; MULLE, R.W.; SONDEREGGER, T.; KOBLET, A. *Improvement of safety os Swiss dams on the basis of experience*. Dams and Reservoirs under Changing Challenges; A Balekema Book. 2011.

SILVA, J.L.; CAMARGO, K.R.; BRUCH, A.F.; COLLARES, G.L. *Uso de GPR para a identificação de instrumentação em subsuperfície na Barragem do Chasqueiro – Arroio Grande/RS/Brasil*. Revista Prociências, v. 6, n. 1. 2023.

SONDOTÉCNICA. *Projeto Básico do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro*. Relatório Técnico. 1976.

UNITED STATES SOCIETY OF DAMS. *Why include instrumentation on dam monitoring programs?* USSD Comitee on Monitoring of Dams and Their Foundations. Denver, CO, 13 p. 2008.