

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/39

CARACTERIZAÇÃO GEOTÉCNICA DE SOLOS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM DO CHASQUEIRO, ARROIO GRANDE/RS

Leonardo Abreu Hernandes

Graduando em Eng. Civil, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, Brasil,
leonardoabreuhernandes@hotmail.com

Jeanderson Lima da Silva

Graduando em Eng. Civil, Geotop Topografia e Engenharia e Universidade Federal do Rio Grande – FURG,
Rio Grande, Brasil, jeandersonlima.s@outlook.com

Karina Retzlaff Camargo

Professora, Universidade Federal do Rio Grande - FURG, Rio Grande, Brasil, karinacamargo@furg.br

Alexandre Felipe Bruch

Professor, Universidade Federal de Pelotas – UFPel, Pelotas, afbruch@gmail.com

Régis Pinheiro Maria

Técnico Administrativo em Educação, Universidade Federal do Rio Grande – FURG, Rio Grande, Brasil,
regis.p@hotmail.com

RESUMO: A Barragem do Chasqueiro é uma barragem de terra localizada no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul e entrou em operação na década de 1980. Vem sendo desenvolvido um projeto sobre o uso de métodos geotécnicos e geotecnologias como ferramenta de auscultação desta barragem e, como parte deste projeto, este trabalho apresenta a identificação e caracterização geotécnica tradicional e pela Metodologia MCT dos solos utilizados como material de construção da barragem. Foram identificadas, através de interpretação do projeto básico da barragem e saídas de campo, uma jazida de solo granular e uma de solo fino, da qual foram caracterizadas amostras de dois horizontes diferentes. Em síntese os resultados vão ao encontro da caracterização geotécnica descrita no projeto básico da barragem e salienta-se o comportamento laterítico do solo fino utilizado.

PALAVRAS-CHAVE: Solo granular, Solo fino, Classificação MCT, Barragem de terra

ABSTRACT: Chasqueiro dam is an earth dam located in the extreme south of Rio Grande do Sul state and came into operation in the 1980s. A project has been developed on the use of geotechnical methods and geotechnologies as tool for this dam auscultation and, as part of this project, this work presents the identification and traditional geotechnical characterization and by MCT Methodology of the soils used as construction material for the dam. Through interpretations of the dam's basic project and fieldwork, a deposit of granular soil and a deposit of fine soil, which were characterized samples from two different horizons. In summary, the results are in line with the geotechnical characterization described in the dam's basic design and the lateritic behavior of the fine soil used stands out.

KEYWORDS: Granular soil, Fine soil, MCT Classification, Earth dam

1 INTRODUÇÃO

Desde o final do ano de 2022, o Grupo de Geotecnia da Universidade Federal do Rio Grande – FURG e pesquisadores parceiros estão desenvolvendo um projeto sobre o uso de métodos geotécnicos e

geotecnologias como ferramenta para a auscultação da Barragem do Chasqueiro (CAMARGO *et al.*, 2023; SILVA *et al.*, 2023a; SILVA *et al.*, 2023b). A barragem avaliada se localiza no município de Arroio Grande, no extremo sul do estado do Rio Grande do Sul, conforme Figura 1, e tanto a barragem, quanto o sistema de irrigação a ela associado são obras públicas, das quais a ALM (Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim), da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), é responsável pela administração. Como parte deste projeto de auscultação, este trabalho propõe-se a identificar e caracterizar geotecnicamente os solos utilizados como materiais construtivos da barragem.

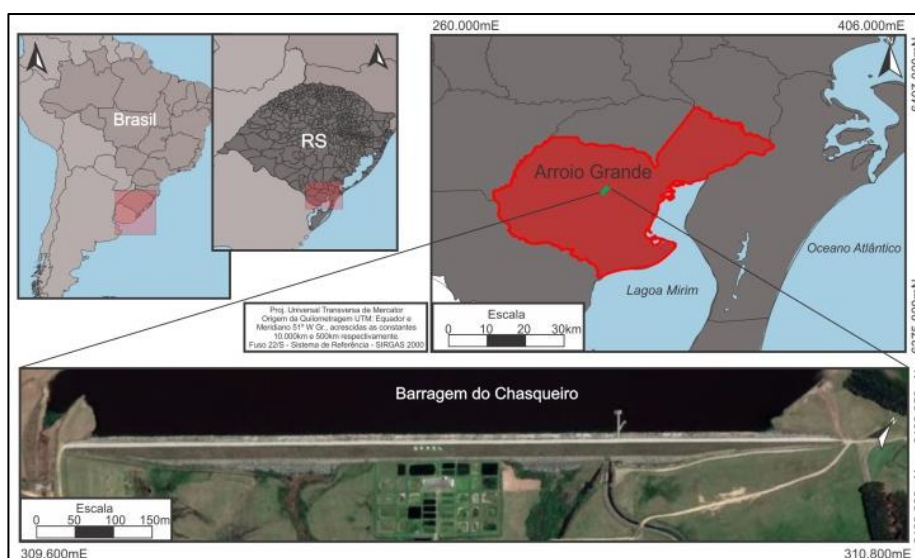


Figura 1. Mapa de localização da Barragem do Chasqueiro

De acordo com ALM (2023), o Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro (DIBAC) é constituído por terras irrigáveis às margens do Arroio Chasqueiro. A região está distante cerca de 10 km da sede do município de Arroio Grande e 70 km de Pelotas, principal pólo geoeconômico da zona sul do estado do Rio Grande do Sul. 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). Segundo Bonczynski (2023), a BHAC, no seu curso médio alto (bacia de captação da barragem), está localizada na unidade geológica mais antiga presente no estado do Rio Grande do Sul, denominada Escudo Sul Rio-Grandense (ESRG), onde há, portanto, o predomínio de rochas ácidas, sejam graníticas ou gnáissicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a caracterização geotécnica dos materiais construtivos da barragem a condição ideal é a coleta de amostras indeformadas retiradas do corpo do barramento. Entretanto, esta opção não se mostrou viável por: (i) questões financeiras do projeto; e, principalmente, (ii) possibilidade de instabilização do barramento pela retirada de amostras e criação de caminhos preferenciais para a circulação de água. Assim, como método alternativo foi investigada a provável localização das jazidas exploradas para a construção do barramento, coleta de amostras nestas localizações e realização de ensaios de caracterização geotécnica com estas amostras.

As amostras coletadas foram transportadas para ambiente laboratorial, onde a preparação das amostras e determinação do teor de umidade higroscópico foram realizados de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 6457 (2016). O limite de liquidez e de plasticidade foram determinados de acordo com a NBR 6459 (2016) e NBR 7180 (2016), respectivamente. A análise granulométrica e a massa específica dos grãos foram determinadas conforme as recomendações da NBR 7181 (2016) e NBR 6508 (2016), respectivamente. Em seguida, foi realizado o ensaio de compactação na Energia do Proctor Normal – seguindo especificações encontradas no projeto básico da barragem – de acordo com os procedimentos preconizados pela NBR 7182 (1986). Para garantir a energia de compactação desejada (5,95 kg.cm/cm³),

nesta etapa foram utilizados o cilindro pequeno (volume útil da ordem de 1 litro) e soquete pequeno (massa de 2,5 kg e altura de queda de 30,5 cm). A compactação ocorreu em três camadas, as quais receberam 26 golpes. Convém destacar que este ensaio foi realizado apenas para os dois materiais finos coletados, uma vez que se entende que o material granular foi utilizado somente para o filtro e não há indicações no projeto básico sobre compactação/energia de compactação deste. Uma vez realizados os ensaios para determinação dos parâmetros de compactação dos solos finos, foi realizado com ambas as amostras ensaios CBR (*California Bearing Ratio*), seguindo recomendações da norma DNIT 172/2016 – ME. Por fim, foi realizada classificação pela Metodologia MCT (Miniatura, Compactado e Tropical), conforme recomendações de Nogami e Villibor (1995). Para atingir este fim foram realizados apenas os ensaios da Metodologia necessários para realizar a classificação. Assim, foram realizados ensaios de compactação mini-MCV (DNER-ME 258, 1994) e ensaios de perda de massa por imersão (DNER-ME 256, 1994).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da leitura e interpretação do projeto básico da barragem (SONDOTÉCNICA, 1976), presumiu-se que as jazidas exploradas para a construção do barramento estavam no entorno do local de construção da barragem. Como forma de verificação se as jazidas identificadas foram efetivamente exploradas, foi elaborado o mapa apresentado na Figura 2, o qual se utiliza de uma imagem do *Google Earth*[®] de 1985, período de início da operação da barragem, e pode-se verificar a exposição dos solos por retirada da vegetação superficial, o que é um forte indício de que as jazidas foram efetivamente exploradas para a construção do barramento. Uma vez verificado que as jazidas identificadas em projeto básico, provavelmente, foram exploradas para a construção da barragem, foi realizada uma saída de campo à Barragem do Chasqueiro para verificar esta hipótese. Nas localizações das jazidas indicadas em projeto básico foi verificada a presença de indícios de escavações, desníveis e ondulações nos terrenos e adjacências ratificando, mais uma vez, a exploração destes materiais, conforme mostra a Figura 3.

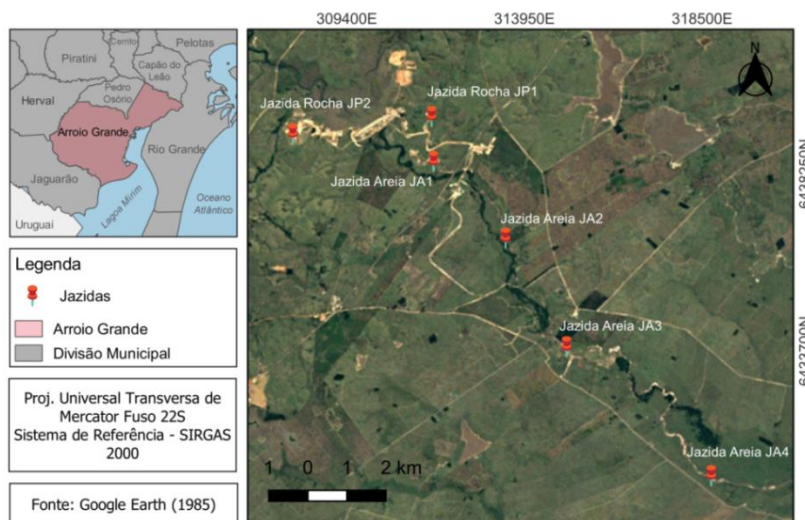


Figura 2. Localização das jazidas indicadas em projeto básico sobre imagem do *Google Earth*[®] de 1985

A Figura 4a mostra a coleta de material granular na jazida identificada como JA1. Destaca-se que, por se localizarem em áreas particulares, este trabalho não teve acesso às jazidas JA2 e JA3. Não foi encontrado nenhum perfil exposto dos materiais da jazida JA1. Assim, a coleta dos cerca de 80 kg foi realizada com uso de cavadeira articulada, após escavação dos, cerca de, 5 cm iniciais do perfil, onde havia o enriquecimento por matéria orgânica. No local foi observada a presença de nível de água praticamente aflorante (20 a 25 cm), o que pode ser explicado por se localizar às margens do antigo leito do arroio (à jusante do barramento). Entende-se que o solo trata-se de um Neossolo fluvial predominantemente quartzoso, com grãos arredondados, o que denota a maturidade textural e mineralógica causada pela energia do transporte fluvial. A Figura 4b apresenta o perfil da jazida de solo fino da jazida denominada JP2, o qual

pode ser avaliado mais profundamente do que anterior por o processo de exploração do material como jazida para a barragem ter deixado evidente o perfil. Observa-se na imagem quatro camadas distintas para o perfil de solo avaliado, as quais estão indicadas na Figura 4 com numeração sequencial de 1 a 4.

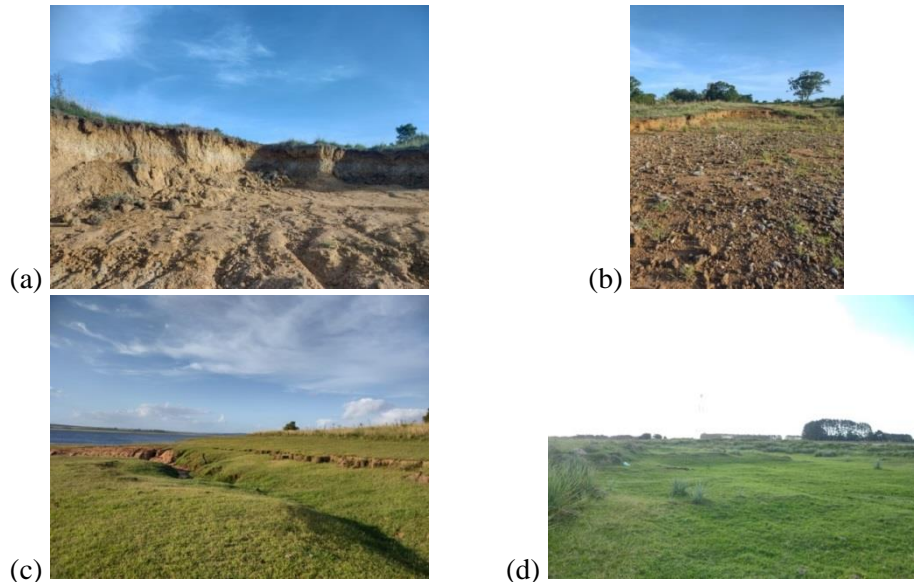


Figura 3. Evidência de exploração das jazidas: (a) evidência de escavação de grande porte em perfil de solo fino; (b) evidência de deslocamento relativo e enriquecimento por material granular próximo ao perfil de solo fino indicado em (a); (c) evidência de deslocamento relativo e ravinamento cicatrizado próximo ao perfil de solo indicado em (a); e (d) ondulação em perfil de solo granular.

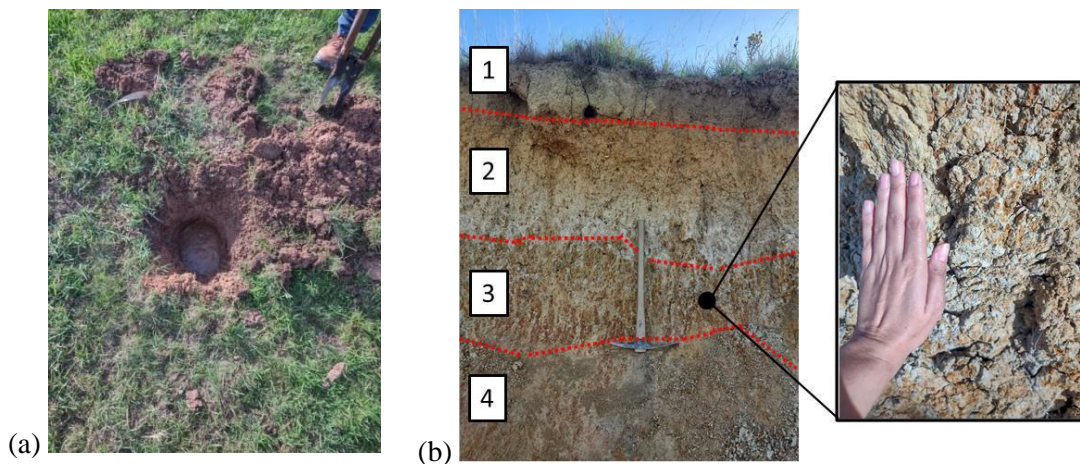


Figura 4. Coleta de amostra: (a) do material granular; (b) do perfil de solo fino com detalhe para o horizonte com plintitas

Entende-se que a camada superficial (Camada 1) presente na Figura 4b trata-se do material de expurgo descrito no projeto básico da barragem (SONDOTÉCNICA, 1976) como uma camada de solo transportado, areno-argiloso com raízes, medianamente plástico, semi-impermeável, marrom-escuro e que deveria ser removido por ocasião da limpeza. Por sua vez, entende-se que as Camadas 2 a 4 são constituídas por solo residual de gnaisse. As descrições de Sondotécnica (1976), para o que se entende ser a Camada 2, referem-se a uma argila siltosa de consistência média, elevada plasticidade, vermelha, por vezes amarelada. As descrições do projeto básico para o que se entende ser a Camada 3 referem-se a uma argila siltosa com areia média a grossa, plasticidade elevada, quase impermeável, cor cinza, por vezes variegada, com veios amarelados e avermelhados, com espessura média da ordem de um metro. Por fim, o que se entende por Camada 4 é descrita como horizonte de solo residual jovem, com areia fina a grossa com pedregulhos

médios, siltosa, micácea, compacta e de cor variegada. Assim, entende-se que em termos gerais, as descrições do projeto básico vão ao encontro das observações em campo. Destaca-se que apenas a Camada 1 é descrita como um solo transportado, sendo as demais camadas compostas por solo residual oriundo da alteração intempélica e pedológica da rocha gnáissica. Portanto, a Camada 2 encontra-se mais alterada e lixiviada que a 3. Sendo que a mais jovem apresenta a formação de plintitas (no detalhe da Figura 4b), provavelmente, oriundas da alteração por variação cíclica do nível de água no perfil. Esta hipótese é ratificada pela localização do perfil, o qual está bastante perto da barragem, no antigo leito do Arroio Chasqueiro, local onde esta variação cíclica da profundidade do lençol freático é crível.

Como o projeto básico descreve o uso para a construção do barramento apenas do solo residual jovem, foram coletadas amostras representativas nas Camadas 2 e 3 (cerca de 50 kg de cada uma). Entende-se que esta porção trata-se de um Cambissolo, com evidente formação transicional. Assim, a Camada 2 é tratada daqui para frente como Cambissolo – Horizonte com plintitas e a Camada 3 como Cambissolo – Horizonte subsuperficial. A Figura 5 apresenta as curvas granulométricas destes solos. Observa-se que todas as amostras pertencem à fração solo, com nenhum grão maior que pedregulho (limite superior igual a 60 mm, segundo NBR 6502/2022). Destaca-se que se optou, neste trabalho, por seguir a padronização da nomenclatura proposta em Sondotécnica (1976).

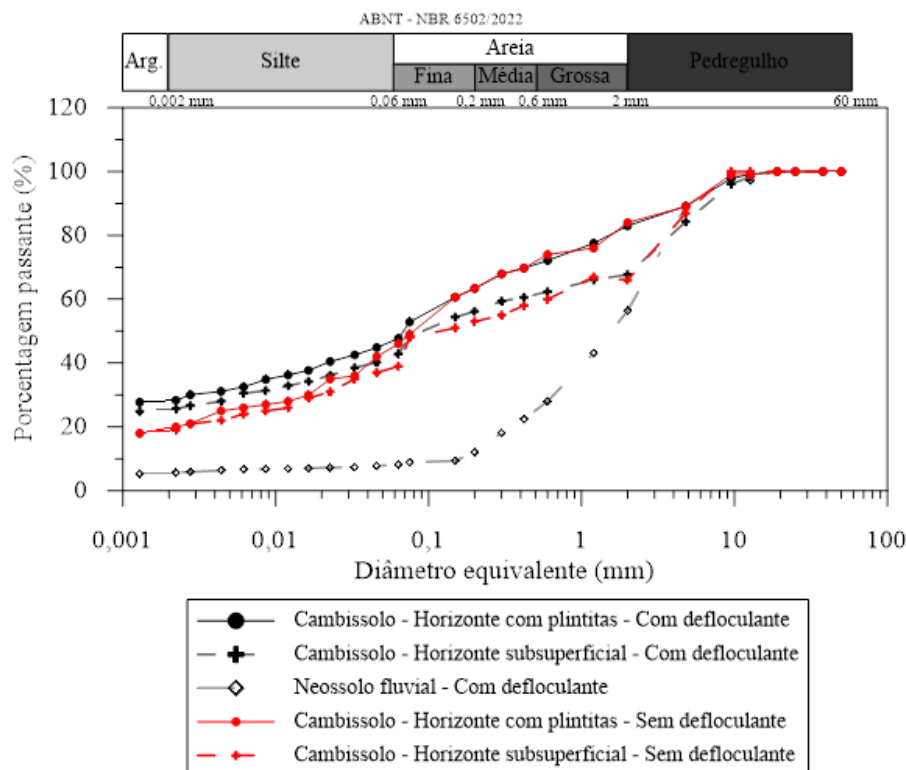


Figura 5. Curvas granulométricas

A Tabela 1 apresenta os dados de caracterização geotécnica de cada um dos solos amostrados, onde γ_s é o peso específico real dos grãos, d_{50} é o diâmetro médio das partículas, w_l é o limite de liquidez, w_p é o limite de plasticidade, I_p é o índice de plasticidade, C_u é o coeficiente de uniformidade da curva granulométrica e C_c é o coeficiente de curvatura, Ind. é indeterminado, HRB é a classificação pela *Highway Research Board*, SUCS é a classificação pelo Sistema Unificado de Classificação e NP é não plástico. Observa-se que o Neossolo fluvial apresenta um peso específico real dos grãos compatível com o solo quartzoso, conforme esperado, e os dois horizontes de Cambissolo apresentam valores menores, os quais são compatíveis com solos ricos em minerais mais leves (como feldspatos, micas e argilominerais). Texturalmente o Neossolo fluvial trata-se de uma areia pedregulhosa, o Cambissolo – Horizonte com plintitas de areia argilosa e o Cambissolo – Horizonte subsuperficial de pedregulho argilo-arenoso. Entre os dois horizontes de Cambissolo há pequena variação entre as frações argila e silte e ambos apresentam comportamento de solo normal em relação ao índice de atividade coloidal. Todos os solos apresentam curva

granulométrica classificada como desuniforme ($C_c > 15$). O Neossolo fluvial apresenta coeficiente de uniformidade de um solo bem graduado. Entretanto, este parâmetro, em função da impossibilidade de determinação de d_{10} não pode ser avaliado nos outros solos.

Tabela 1. Caracterização geotécnica

Propriedade	Neossolo fluvial	Cambissolo – Hor. com plintitas	Cambissolo – Hor. Subsuperficial
γ_s (kN/m ³)	26,5	25,2	25,3
d_{50} (mm)	2	0,07	0,08
w_l (%)	NP	58	46
w_p (%)	NP	23	20
I_p (%)	NP	35	26
I_a (%)	NP	1,25	1
Argila (%)	7	28	25
Silte (%)	1	19	18
Areia (%)	56	36	25
Pedregulho (%)	46	17	32
C_u	40	> 75	> 350
C_c	0,064	Ind.	Ind.
HRB	A-2-4 (0)	A-7-6 (20)	A-7-5 (20)
SUCS	SW	CH	CL

Pela HRB, o Neossolo fluvial é classificado como um solo A-2-4 (0), o qual agrupa solos pedregulhosos e areias siltosas e argilosas e, portanto, vai ao encontro da classificação textural apresentada pelo solo. Pelo SUCS o solo é classificado como SW, ou seja, areia bem graduada, a qual apresenta boa trabalhabilidade como material de construção e excelentes características como material drenante. O solo do Cambissolo – Horizonte com plintitas é classificado pela HRB como um solo A-7-6 (20), grupo que dentre os solos argilosos inclui materiais com altos índices de plasticidade em relação ao limite de liquidez, altamente elásticos e também susceptíveis a consideráveis variações de volume. Pelo SUCS o solo é classificado como CH, ou seja, argila de alta plasticidade. Este grupo costuma apresentar regular a má trabalhabilidade como material de construção e apresentar baixíssima permeabilidade. Destaca-se que de acordo com o projeto básico da barragem, este solo não seria indicado para uso como material de construção da barragem em virtude da sua elevada plasticidade. Entretanto, há evidências de exploração do material como material de empréstimo. Entende-se que é provável que os dois horizontes tenham sido misturados para a utilização na construção do barramento. Embora esta análise não tenha sido realizada por este trabalho, entende-se como provável que a mistura apresente o comportamento especificado em projeto básico. Por sua vez, o solo do Cambissolo - Horizonte subsuperficial é classificado pelo HRB como um solo A-7-5 (20), grupo também pertencente ao dos solos finos, mas diferentemente do Horizonte com plintitas, com moderado índice de plasticidade em relação ao limite de liquidez. Pelo SUCS o solo é classificado como CL, ou seja, argila de baixa plasticidade. Este grupo costuma apresentar de regular a boa trabalhabilidade como material de construção e, assim como o grupo CH, baixíssima permeabilidade.

As curvas de compactação dos solos finos indicam pesos específicos aparentes secos máximos de 17,1 e 17,3 kN/m³ e teores de umidade ótima de 15,5 e 14,9%, respectivamente, para o Horizonte com plintitas e subsuperficial. Quanto aos resultados de CBR, o Cambissolo – Horizonte com plintitas apresentou um CBR de 8%, com 0,17% de expansão. Por sua vez, o Cambissolo – Horizonte subsuperficial apresentou um CBR de 7% com 0,13% de expansão. Os valores de CBR são consideravelmente baixos, mas são compatíveis com solos argilosos. A expansão é considerada baixa e, por isso, o solo é considerado adequado para uso em obras geotécnicas. Os resultados de baixa expansão vão ao encontro dos resultados do Índice de Atividade Coloidal apresentados anteriormente. Ambos os solos finos avaliados são classificados como LG', ou seja, pertencem ao grupo das argilas ou argilas arenosas de comportamento laterítico.

4 CONCLUSÕES

O trabalho faz uso de leitura e interpretação do projeto básico da Barragem do Chasqueiro para a identificação das prováveis localizações das jazidas de solo fino e granular utilizados como material construtivo do barramento e, em seguida, de saída de campo para a comprovação da localização destas jazidas. Amostras deformadas representativas destes materiais foram coletadas e geotecnicamente caracterizadas pelos métodos tradicionais e pela metodologia MCT. Em síntese, os resultados apontam para o uso como material granular de um Neossolo fluvial, classificado como uma areia bem graduada, e como material fino dois diferentes horizontes de um solo oriundo da evolução geológica e pedológica de rocha gnáissica encontrada na região, sendo um horizonte classificado como uma argila de alta plasticidade e outro como uma argila de baixa plasticidade. Quanto aos solos finos, conforme o esperado, o horizonte mais maduro apresenta peso específico aparente seco máximo maior. Além disso, os solos finos apresentam baixos valores de CBR e expansão. Pretende-se dar continuidade à pesquisa pela avaliação do comportamento mecânico através de ensaios para a determinação dos parâmetros de resistência e deformabilidade dos solos finos e, assim, pela interpretação destes resultados dar continuidade aos processos de auscultação geotécnica da barragem

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALM – Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim (2023). *Diagnóstico e Prognóstico do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro*. Relatório Técnico. No prelo.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (1984). NBR 6508. *Grãos que passam na peneira de 4,8 mm – determinação da massa específica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457. *Amostras de solos – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459. *Solo – determinação do limite de liquidez*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6502. *Solos e rochas – terminologia*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180. *Solo – determinação do limite de plasticidade*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181. *Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7182. *Solo – ensaio de compactação*. Rio de Janeiro.
- Bonczynski, R. G. (2023). *Diagnóstico físico-conservacionista da bacia hidrográfica do Arroio Chasqueiro, Arroio Grande/RS*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Pelotas, 138 p.
- Camargo, K. R., Bruch, A. F., Silva, J. L., Collares, G. L. (2023). Inventário de propriedades geotécnicas e outras informações de interesse da Barragem do Chasqueiro/RS. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 15 (1), 12 p.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). DNER-ME 256: *Solos compactados em equipamento miniatura – determinação da perda de massa por imersão*. 14 p. 1994.
- DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1994). DNER-ME 258: *Solos compactados em equipamento miniatura – Mini-MCV*. 14 p. 1994.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2016). DNIT-ME 172: *Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas*. Brasília.

- Nogami, J. S., Villibor, D. F. (1995). *Pavimentação de baixo custo com solos lateríticos*. São Paulo: Villibor.
- Silva, J. L., Camargo, K. R., Bruch, A. F., Collares, G. L. (2023)a. Simulação de Inspeção de Segurança Regular de Barragem de Terra: Barragem do Chasqueiro – Arroio Grande/RS. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, 15 (1), 12 p. 2023a.
- Silva, J. L., Camargo, K. R., Collares, G. C., Bruch, A. F. (2023)b. Uso de GPR para a identificação de instrumentação em subsuperfície na Barragem do Chasqueiro – Arroio Grande/RS/Brasil. *Revista Prociências*, 6 (1), 16 p.
- Sondotécnica (1976). Projeto Básico do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro. *Relatório Técnico*.