

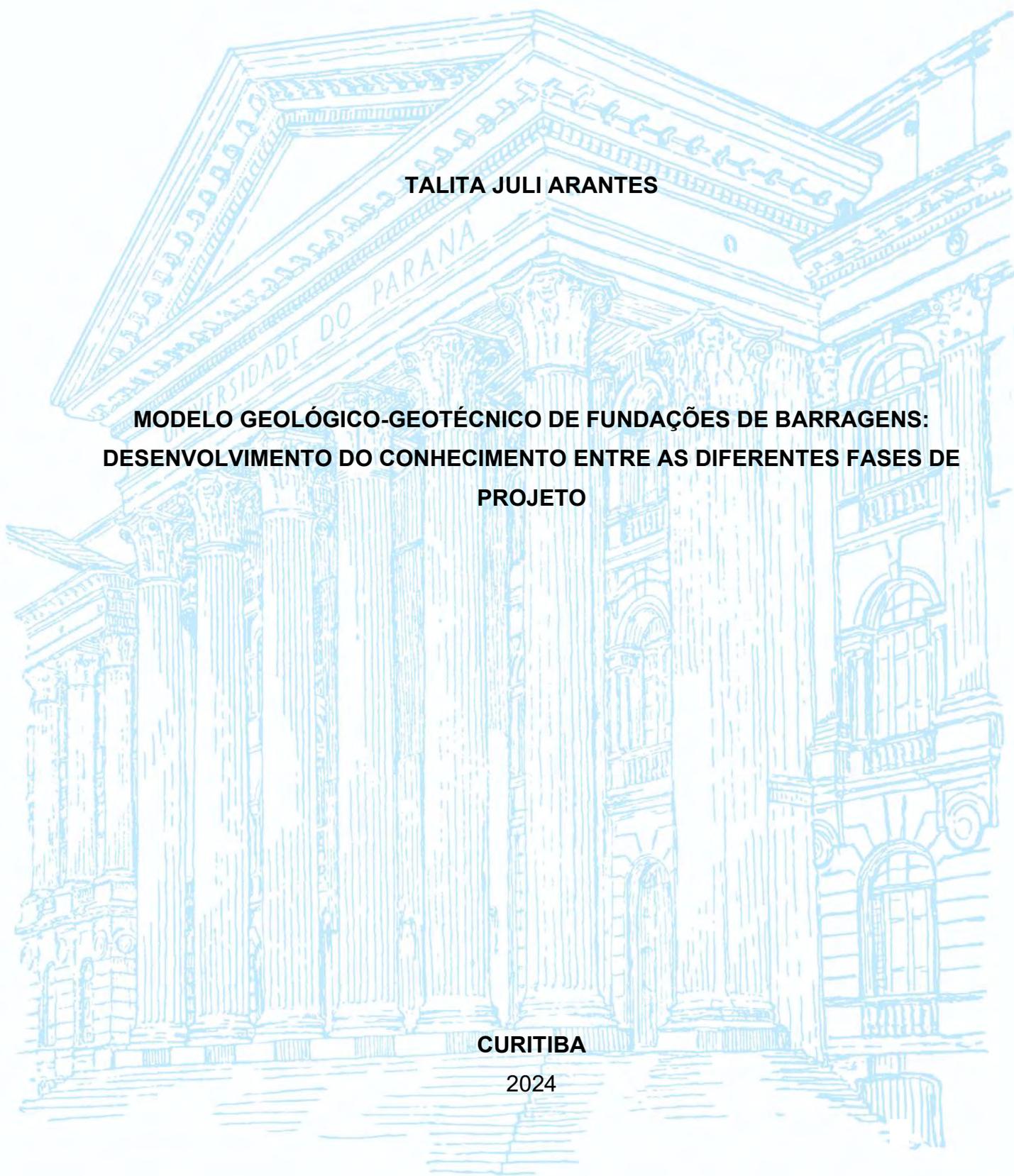
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
CURSO DE GEOLOGIA**

TALITA JULI ARANTES

**MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS:
DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO ENTRE AS DIFERENTES FASES DE
PROJETO**

CURITIBA

2024



TALITA JULI ARANTES

**MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DE FUNDAÇÕES DE BARRAGENS:
DESENVOLVIMENTO DO CONHECIMENTO ENTRE AS DIFERENTES FASES DE
PROJETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Geologia da Universidade Federal do
Paraná como requisito parcial à obtenção do grau
de Bacharel em Geologia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Adriana Ahrendt Talamini
Coorientador: Dr. Andrés Miguel González
Acevedo

CURITIBA

2024

Dedico este trabalho aos meus pais, obrigada
pelo cuidado, incentivo e amparo durante toda
a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente à Universidade Federal do Paraná e ao Departamento de Geologia pelo ensino público, gratuito e de qualidade.

Á minha orientadora Professora Doutora Adriana Ahrendt Talamini, pela orientação, empenho, paciência, compreensão e estímulo desde a definição deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Ao meu coorientador Doutor Andrés Miguel González Acevedo, pela valiosa colaboração, apoio e sugestões construtivas, que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Á minha família, em especial aos meus pais que me apoiaram em cada etapa da minha e me incentivaram ao longo da trajetória da minha vida e me incentivaram ao longo da trajetória acadêmica, sempre acreditando no meu potencial e me fornecendo a base sólida para seguir em frente.

Á minha companheira por sempre me incentivar e buscar superar meus próprios limites, por ser meu porto seguro durante todo o processo de elaboração deste trabalho e por estar ao meu lado nos momentos de alegria e dificuldade.

Aos meus amigos pela troca de conhecimento, companheirismo e momentos compartilhados que tornaram toda a jornada mais leve e enriquecedora, trazendo risos e reflexões importantes para o meu crescimento pessoal e acadêmico.

Aos professores que contribuíram pela minha formação e me incentivaram a seguir em frente, mesmo diante dos obstáculos, e que, com dedicação, transmitiram os conhecimentos que são essenciais para o meu futuro profissional.

Á empresa e aos geólogos da Intertechne Consultores S.A. pela colaboração e disponibilização dos dados para a realização deste trabalho, bem como todo apoio, conhecimento e aprendizado adquirido durante o meu período de estágio na empresa, que foram cruciais para o aprimoramento das minhas habilidades e para a compreensão prática dos conceitos adquiridos ao longo do curso.

RESUMO

O trabalho aborda a importância do modelo geológico-geotécnico na caracterização das fundações de barragens, essencial para a segurança e estabilidade estrutural. O objetivo principal é investigar como a qualidade e a quantidade das investigações geológico-geotécnicas durante as diferentes fases de projeto influenciam a consolidação do modelo final e os tratamentos necessários na fundação. A pesquisa utiliza dois estudos de caso, denominados como modelos A e B, extraídos das bases de dados da Intertechne Consultores S.A. A metodologia consistiu na coleta e análise de dados provenientes de projetos reais, organizados por fases (estudos de viabilidade, projeto básico, projeto executivo e as built). Foram identificadas informações sobre problemas geológico-geotécnicos, alterações nos contatos litológicos e mudanças no arranjo estrutural. O trabalho utilizou técnicas de análise comparativa para avaliar a evolução do conhecimento geológico ao longo dos projetos. Os resultados mostram que, em ambos os casos, a insuficiência de investigações iniciais impactou negativamente o cronograma e os custos. No Modelo A, houve mudanças significativas no reposicionamento do eixo do barramento após a realização de uma campanha adicional de sondagens na fase executiva, revelando feições geológicas previamente desconhecidas. No Modelo B, os dados subestimados na etapa inicial resultaram em tratamentos adicionais de fundação, como injeções e alterações na geometria da barragem. Ambos os estudos evidenciam que modelos mais detalhados e investigações robustas nas fases preliminares reduzem os riscos e as incertezas, otimizando recursos e tempo. O trabalho reforça a necessidade de investimento em investigações iniciais e ferramentas avançadas de modelagem tridimensional para a eficiência da interpretação de fundações de empreendimentos de grande porte.

Palavras-chave: barragens; fundações; investigações geológico-geotécnicas; modelo geológico-geotécnico.

ABSTRACT

The study addresses the importance of the geological-geotechnical model in characterizing dam foundations, which is essential for structural safety and stability. The primary objective is to investigate how the quality and quantity of geological-geotechnical investigations during different project phases influence the consolidation of the final model and the necessary foundation treatments. The research utilizes two case studies, referred to as Models A and B, drawn from the databases of Intertechne Consultores S.A. The methodology involved collecting and analyzing data from real projects, organized by phases (feasibility studies, basic design, executive project, and As Built). Information on geological-geotechnical problems, changes in lithological contacts, and structural arrangement modifications were identified. The study employed comparative analysis techniques to assess the evolution of geological knowledge throughout the projects. The results show that, in both cases, the lack of sufficient initial investigations negatively impacted the schedule and costs. In Model A, significant changes in the repositioning of the dam axis occurred after an additional drilling campaign during the executive phase, revealing previously unknown geological features. In Model B, underestimated data during the initial phase led to additional foundation treatments, such as injections and modifications to the dam's geometry. Both case studies demonstrate that more detailed models and robust investigations in the early phases reduce risks and uncertainties, optimizing resources and time. The study underscores the need for investment in initial investigations and advanced three-dimensional modeling tools to enhance the efficiency of interpreting foundations in large-scale developments.

Keywords: dams; foundations; geological geotechnical investigations; geological geotechnical model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Finalidades das barragens de uso exclusivo ou único cadastradas. Legenda: C – Controle de inundação; H – Energia hidrelétrica; I – Irrigação; NFT – Navegação, Piscicultura e Rejeitos; R – Lazer; S – Abastecimento de água; X – outros. Adaptado de ICOLD, 2023.....	5
Figura 2 - A) Esquema da estrutura concreto-gravidade; B) Barragem Willow Creek; C) Barragem Dworshak. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de USSD (2024).	6
Figura 3 - A) Esquema da estrutura concreto-gravidade aliviado; B) Barragem Itaipu; C) Barragem de Paulo Afonso IV. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de Itaipu Binacional (2024) e Eletrobras (2024).	6
Figura 4 - A) Esquema da estrutura em arco; B) Barragem Hoover; C) Barragem Gordon. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de <i>Bureau of Reclamation</i> (2024) e <i>Institution of engineers</i> (2000).	7
Figura 5 – A) Esquema de contraforte; B) Barragem Roseland; C) Barragem Miranda do Douro. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de <i>Global Energy Observatory</i> (2012).	8
Figura 6 – A) Barragem Itá; B) Barragem Barra Grande. Retirados de Baesa e Engie (2024).	9
Figura 7 - Seções típicas de barragens mistas. A) Barragem com núcleo central vertical. B) Barragem com núcleo inclinado a montante. Adaptado de Massad (2010).	10
Figura 8 - Tipos de trados mais utilizados. A) Trado convencional. B) Trado helicoidal. C) Trado calador. D) Trado caneca. Autor desconhecido.	12
Figura 9 - Equipamentos utilizados na sondagem SPT. Castro e Garcia (2017).....	14
Figura 10 - Perfil esquemático da sondagem rotativa. Adaptado de Oliveira & Brito (1998).	15
Figura 11 - Modelagem tridimensional de uma barragem em arco. A) Fotografia da área da barragem. B) Modelo tridimensional da área da barragem. C) Modelo tridimensional da classificação da qualidade do maciço rochoso, após tratamento da fundação da barragem. D) Análise geológica-geotécnica, indicando principais fraturas. Adaptados de Zhong <i>et. al.</i> (2005).	20
Figura 12 – Modelos tridimensionais de barragens de rejeito realizados no <i>Leafrog Works</i> . Retirado da base de dados da empresa.....	20
Figura 13 - Etapas no tratamento e processamento de dados para a construção do modelo tridimensional. (Adaptado de Azaronak, 2015).	21
Figura 14 - Principais tipos de controles de fluxos em uma barragem. A) Esquema de filtro vertical. B) Esquema de dreno de pé. C) Esquema de tapete drenante. D) Esquema de cut-off central. Esquemas A e B adaptados de Massad (2010); esquema C adaptador de Cesar (2010) e esquema D adaptado de Costa (2012).	22
Figura 15 - Geometrias possíveis para os furos de injeções a partir de diversas atitudes das famílias de descontinuidades. A) Inclinações irregulares. B) Inclinações horizontais e verticais. C) Inclinações sub-verticais. D) Inclinações que permitem a execução de furos verticais. Adaptado de Houlsby (1990).	23

Figura 16 - Representação da localização das principais estruturas da barragem do modelo A. Modificado da base de dados da empresa.	26
Figura 17 – Aspecto do granito da fundação base da barragem. Retirado da base de dados da empresa.	30
Figura 18 – Seções geológica-geotécnicas simplificadas, apresentadas nas três primeiras fases do projeto modelo A. Representação em preto a seção do Estudo de Viabilidade, em vermelho do Projeto Básico e em verde do Projeto Básico Consolidado. Baseado nos dados da empresa.	32
Figura 19 - Seção geológica-geotécnica simplificada do projeto executivo do modelo B. Representação em roxo, linha de topo de rocha alterada e em verde, linha de topo de rocha sã. Baseado nos dados da empresa.	35
Figura 20 – Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações irregulares em rocha. B) Fundação com depressões e canais estreitos. Adaptado do banco de dados da empresa.	36
Figura 21 – Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações com descontinuidades abertas localizadas. B) Fundação com taludes íngremes. C) Fundações com taludes verticais negativos. Adaptado do banco de dados da empresa.	37
Figura 22 – Cortina de injeções, com furos exploratórios, primários, secundários e terciários ao longo do eixo de barramento. Adaptado do banco de dados da empresa.	38
Figura 23 - Representação das principais estruturas da barragem do modelo A. Modificado da base de dados da empresa.	38
Figura 24 - Arranjo geral do modelo B, representando de forma esquemática as principais estruturas da barragem. Retângulo cinza representando a área da barragem da margem esquerda. Adaptado do banco de dados da empresa.	39
Figura 25 – Arranjo esquemático das barragens de aterro, onde em A) representa a seção típica da barragem na margem esquerda e em B) a seção típica da barragem na margem direita. Adaptado do banco de dados da empresa.	40
Figura 26 – Aspecto geral dos testemunhos de sondagens realizados ao longo do eixo do barramento. A) Testemunho da sondagem SM-202; B) Testemunho da sondagem SN-203. C) Testemunho da sondagem SM-209. Retirado da base de dados disponibilizado pela empresa.	44
Figura 27 – Substituições das sondagens e alteração na linha de solo medianamente compacto representada pela linha de cor magenta. A legenda na íntegra se encontra no anexo II. A) Sondagem SM-205 e SM-305 no projeto pré-executivo. B) Sondagem SM-501 e SM-504 no projeto executivo. Baseado nos dados da empresa.	45
Figura 28 - Seção geológica-geotécnica do projeto pré-executivo do modelo B. Baseado nos dados da empresa.	46
Figura 29 - Seção geológica-geotécnica do projeto executivo do modelo B. Baseado nos dados da empresa.	47
Figura 30 - Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações com cavidades abertas localizadas. B) Fundações com cavidades abertas e trincas. Adaptado do banco de dados da empresa.	48

Figura 31 - Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações com trincas e juntas B) Fundações com taludes íngremes e verticais. Adaptado do banco de dados da empresa.....	49
Figura 32 - Número insuficiente de sondagens. Área não investigada com subsolo distinto. Adaptado de Miltisky (2015).....	50
Figura 33 - Número insuficiente de sondagens. Áreas extensas e de subsolo variado. Adaptado de Miltisky (2015).....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estados de compacidade e de consistência. Adaptado de NBR 6484 (ABNT, 2020). p 17.	13
Tabela 2 - Classificação de qualidade do maciço rochoso a partir do RQD. Adaptado de Deere (1989).	14
Tabela 3 – Metodologia e materiais utilizados a partir da aquisição de dados e organização das informações. Fonte: Autor.	24
Tabela 4 - Relação das sondagens executadas na primeira campanha (viabilidade). Dados cedidos da base da empresa.	28
Tabela 5 - Relação das sondagens executadas na segunda campanha. Adaptado da base de dados da empresa.	28
Tabela 6 - Relação das sondagens executadas na terceira e última campanha (Projeto Executivo). Adaptado da base de dados da empresa.	28
Tabela 7 - Relação das sondagens executadas na fase pré-executivo. Adaptado da base de dados da empresa.....	40
Tabela 8 - Relação das sondagens executadas na fase executivo. Adaptado da base de dados da empresa.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
1.1. Objetivos	4
2. REVISÃO TEÓRICA	4
2.1. Tipos de barragens	4
2.1.1. Barragem em Concreto.....	5
2.1.2. Contraforte	7
2.1.3. Terra (Homogêneas, Zonadas).....	8
2.1.4. Enrocamento	8
2.1.5. Barragem Mista.....	9
2.1.6. Barragem de Rejeito	10
2.2. Investigações geológico-geotécnicas – sua importância	10
2.2.3. Método direto	10
2.2.2. Método semidireto	11
2.2.1. Método Indireto	16
2.3. Etapas de estudos e construção de uma barragem.....	17
2.3.1. Estudos de Viabilidade	17
2.3.2. Projeto Básico.....	17
2.3.3. Projeto Executivo	17
2.3.4. Pós Executivo – <i>As built</i>	18
2.4. Fundação	18
2.5. Modelo geológico-geotécnico	19
2.6. Tratamentos de Fundações	21
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1. Modelo A.....	26
4.1.1. Investigações geológicas.....	27
4.1.2. Geologia Local – Unidades geológico-geotécnicas	29
4.1.3. Seções geológica-geotécnicas – Barramento.....	31
4.1.4. Tratamentos.....	34
4.2. Modelo B	38
4.2.1. Investigações geológicas.....	40
4.2.2. Geologia Local – Unidades geológico-geotécnicas	43

4.2.3. Seções geológico-geotécnicas – Barramento.....	44
4.2.4. Tratamentos.....	48
4.3. Discussões.....	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos países com maior número de barragens construídas nas últimas décadas, impulsionado, principalmente, em virtude do crescimento da geração de energia oriunda do aproveitamento hidrelétrico. (Henrique & Santana, 2018). A construção de uma barragem, consiste em etapas, iniciando por um estudo preliminar, seguido pelo projeto básico e pelo projeto executivo, finalizado com a execução da estrutura e, por consequência, a elaboração do projeto como construído, denominado também de *as built*. A depender do caso, outras fases intermediárias podem ser incorporadas aos estudos dos projetos.

A construção do modelo geológico-geotécnico é um dos tópicos abordados nas fases da construção da estrutura. Ele caracteriza o material da fundação da área de forma sistêmica, interpretando os aspectos geológicos e geotécnicos, visando o reconhecimento das unidades geológicas e composição mineralógica, geometria e formato dessas unidades, determinação da estrutura do maciço e suas características mecânicas (Read & Stacey, 2009).

Diante disso, para formar um modelo geológico-geotécnico consolidado, é necessário aprimorar o conhecimento das condições da fundação por meio da execução de investigações geológico-geotécnicas, que avançam a cada projeto, visando um modelo que se assemelhe o mais próximo do real. Essas investigações são essenciais para a obra da estrutura, pois permitem ao profissional compreender os fenômenos geológicos e prever possíveis tratamentos a problemas encontrados (Brito & Gomes, 2018).

As investigações geológico-geotécnicas planejadas em cada fase de projeto de uma barragem, não possuem padronização de quantidade. Elas são executadas conforme a necessidade da construção de um modelo geológico-geotécnico, tendo o objetivo de descrever as características do material da fundação. As investigações variam a sua quantidade de acordo com o tamanho da área de implantação, com o tipo de litologia encontrada e seu grau de complexidade geológica (Henrique & Santana, 2018).

Atualmente, no Brasil, não existe uma metodologia sequencial para a quantidade de investigações a serem realizadas em cada etapa, resultando em

variações significativas em cada projeto estabelecido. A falta de padronização gera vários problemas, como a insuficiência de investigações no projeto básico, afetando a caracterização do modelo geológico-geotécnico. Isso pode resultar em custos e prazos maiores que os previstos, desperdiçando recursos e tempo devido ao conhecimento inadequado das condições geológicas da fundação e à necessidade de sondagens e análises adicionais no futuro. Segundo Brito & Gomes (2018), é no projeto básico que são realizadas as grandes economias de um empreendimento, ou seja, para que as soluções racionais e econômicas possam ser detalhadas, é necessário obter o conhecimento das condicionantes do projeto.

Portanto, essa falta de padronização levanta dúvidas sobre o desempenho das investigações em um projeto de implantação de barragem, especialmente nas primeiras etapas, considerando que o modelo geológico-geotécnico raramente é classificado de maneira homogênea, ou seja, com rochas de características uniformes.

1.1. Objetivos

A pesquisa tem como objetivo, verificar a influência da qualidade e da quantidade das investigações geológico-geotécnicas efetuadas durante as diferentes fases de um projeto de barragem, na consolidação do modelo geológico-geotécnico final e execução de tratamentos de fundação adicionais.

2. REVISÃO TEÓRICA

2.1. Tipos de barragens

Segundo Carlos Filho (2008) as barragens são elementos estruturais, construídos transversalmente a vales e depressões, com o objetivo de elevar o nível da água dos cursos naturais ou para formar reservatórios destinados à retenção de água, rejeitos, detritos ou qualquer outro material para armazenamento e controle. Essas estruturas podem ser projetadas com materiais terrosos, rochosos ou de concreto.

Soares et al. (2019) definem que a finalidade das barragens pode variar conforme as necessidades do projeto, podendo incluir a reserva hídrica, geração de energia (hidrelétrica), contenção de rejeitos industriais, irrigação, controle de

inundação e retenção de sedimentos, entre outros. Portanto, segundo o *International Commission on Large Dams - ICOLD* (2023), a estruturação da barragem deve ser condicionada pelo objetivo específico a ser desenvolvido, podendo ter mais de uma finalidade em uma única barragem. A Figura 1 apresenta as diversas finalidades das barragens existentes que estão cadastradas no registro mundial (61.988), sendo divididas por barragens com finalidade única ou múltipla (ICOLD, 2023).

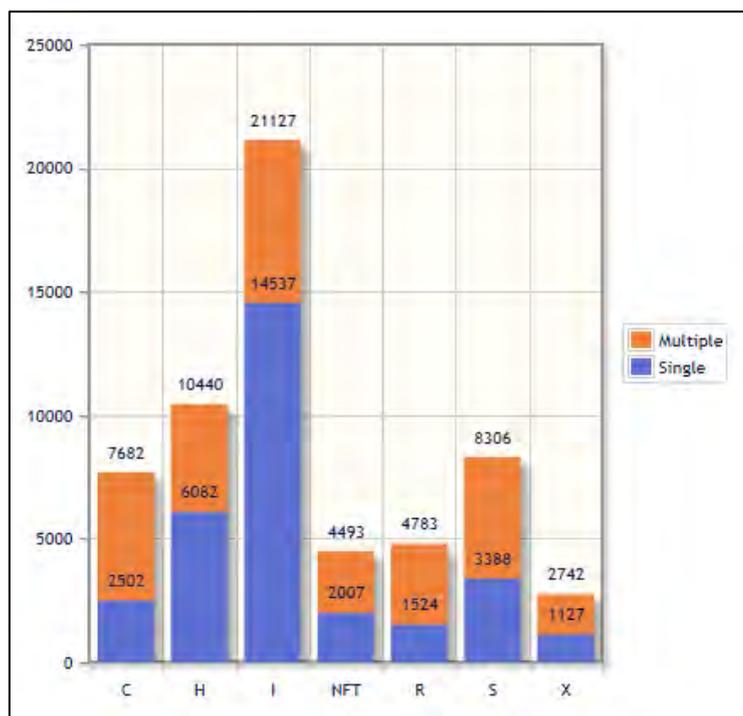


Figura 1 - Finalidades das barragens de uso exclusivo ou único cadastradas. Legenda: C – Controle de inundação; H – Energia hidrelétrica; I – Irrigação; NFT – Navegação, Piscicultura e Rejeitos; R – Lazer; S – Abastecimento de água; X – outros. Adaptado de ICOLD, 2023.

2.1.1. Barragem em Concreto

As barragens em concreto são as mais utilizadas, pois apresentam o melhor desempenho em durabilidade, resistência, impermeabilidade e facilidade na construção, pois são construídas com agregados granulares naturais misturados com aglomerantes como cimento e aditivos químicos (Possan, 2015). As barragens em concreto são classificadas de acordo com sua geometria, compondo barragens de gravidade, gravidade aliviada, contrafortes e em arco.

- Concreto-Gravidade

Estrutura de geometria trapezoidal, construída por blocos de concreto delimitados por juntas de contração que resistem às pressões hidrostáticas devido ao seu próprio peso, garantindo a estabilidade pelo equilíbrio estático. A resistência da estrutura depende do seu próprio peso, minimizando os efeitos provocados pelas tensões térmicas (Schreiber, 1977) (Figura 2).

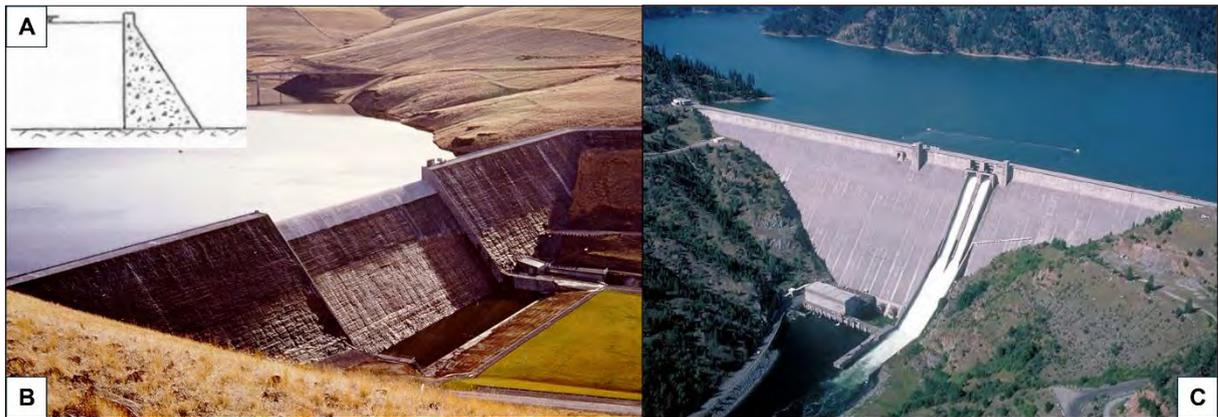


Figura 2 - A) Esquema da estrutura concreto-gravidade; B) Barragem Willow Creek; C) Barragem Dworshak. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de USSD (2024).

- Concreto-Gravidade aliviado

A barragem de concreto com gravidade aliviada (Figura 3) possui um espaço vazio em seu núcleo, admitindo espaços vazios visando a redução do volume no concreto da estrutura. Em relação a barragem de concreto de gravidade admite uma economia no volume e redução das áreas sobre as quais pode agir pressão intersticial, portanto há um número maior de juntas de vedações (Schreiber, 1977).



Figura 3 - A) Esquema da estrutura concreto-gravidade aliviado; B) Barragem Itaipu; C) Barragem de Paulo Afonso IV. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de Itaipu Binacional (2024) e Eletrobras (2024).

- Concreto em Arco

A barragem de concreto em arco tem sua geometria curvada para a montante na direção do reservatório, projetada em vales estreitos apoiada em maciço de boas condições, consumindo uma quantidade menor de concreto comparada as barragens de gravidade e gravidade aliviada. Seu formato distribuí as cargas em massa uniformemente sobre sua parte posterior, resistindo ao empuxo da água, os esforços da água do reservatório são transferidos para as ombreiras e para o fundo do rio, o peso próprio da barragem desempenha um papel secundário no equilíbrio estático (Kuperman, 2006) (Figura 4).



Figura 4 - A) Esquema da estrutura em arco; B) Barragem Hoover; C) Barragem Gordon. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de *Bureau of Reclamation* (2024) e *Institution of engineers* (2000).

2.1.2. Contraforte

As barragens em concreto contraforte utiliza os esforços sob a fundação através de uma série de contrafortes perpendiculares ao eixo do paramento de montante como demonstra a Figura 5. Os contrafortes são pilares que recebem todo os esforços do empuxo do paramento de montante sob a fundação, em comparação com os outros tipos de barragens em concreto, é a construção mais complexa e de maior custo (Caputo, 2017).



Figura 5 – A) Esquema de contraforte; B) Barragem Roseland; C) Barragem Miranda do Douro. Modelo de A modificado de Costa (2012), fotos de B e C retirados de *Global Energy Observatory* (2012).

2.1.3. Terra (Homogêneas, Zonadas)

As barragens de terra ou aterro são fundadas em vales espaçados e ombreiras suaves e utiliza materiais como solo para a sua construção, precisando de uma quantidade maior de argila, filtros e drenos (Souza, 2013).

De acordo com Marangon (2004), as barragens de terra podem ser igualmente comuns ou zonadas. As barragens homogêneas são constituídas por um único tipo de material, com exceção das camadas de proteção dos taludes, sendo necessário um material que apresente características de impermeabilidade suficientes para atuar como uma barreira eficaz contra a água, os taludes precisam ser suaves para haver uma estabilidade. As barragens zoneadas são formadas por um núcleo central impermeável envolto de zonas de materiais permeáveis (areia, cascalho ou fragmentos de rocha) que suportam e protegem o núcleo.

2.1.4. Enrocamento

A barragem de enrocamento é definida por um conjunto de fragmentos rochosos compactadas, sem coesão, onde seu peso fornece estabilidade do maciço e a vedação é garantida por um núcleo central impermeável (Melo, 2012). Esse enrocamento é disposto de maneira que fique compactado através de um rolo vibratório visando a maior densidade em consequência da rigidez e resistência do material empregado, obtendo o maior contato possível entre as suas superfícies e os

vazios são preenchidos com um material de granulometria menor (Terzaghi & Peck, 1967).

- Enrocamento com face de concreto

Segundo Massad (2003) a barragem de enrocamento com face de concreto (Figura 6) possui uma face de concreto sobre o talude de montante do enrocamento como uma separação impermeável do enrocamento. Essa face de concreto atua como estrutura principal com a finalidade de resistir as ações do reservatório e servir de barramento (Sherard, 2004).

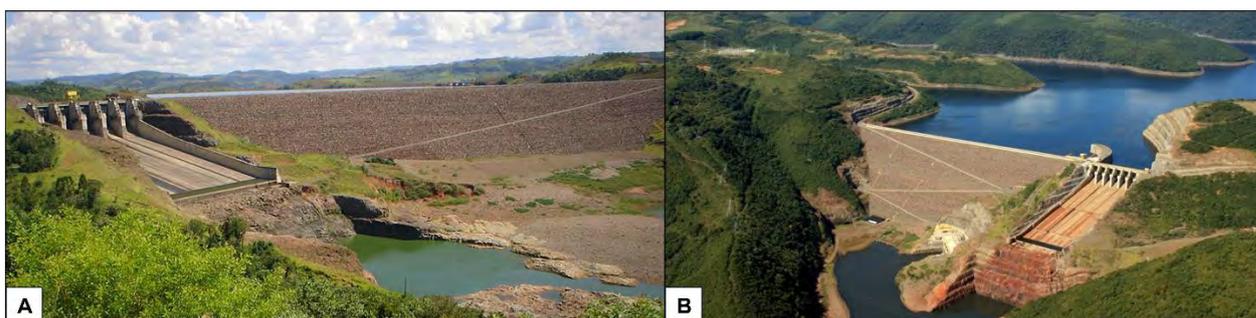


Figura 6 – A) Barragem Itá; B) Barragem Barra Grande. Retirados de Baesa e Engie (2024).

2.1.5. Barragem Mista

A barragem de mista é composta por diferentes materiais ao longo de uma seção transversal, geralmente por terra/enrocamento, enrocamento/concreto e terra/concreto, onde a terra é formada por um solo argiloso que proporciona fechamento da barragem garantindo sua estanqueidade, enquanto o enrocamento ou concreto garante resistência, eficiência estrutural e estabilidade dos taludes. Para as barragens de terra e enrocamento não é necessário a realização da estrutura em fundações que consiste em um maciço rochoso (Massad, 2010).

O núcleo da barragem mista pode ser vertical ou inclinado para montante. O núcleo vertical é adequado quando a compressibilidade da argila é semelhante à do enrocamento, pois seu maior contato com a fundação permite exercer maior pressão e controlar melhor a perda de água, já o núcleo inclinado é recomendado quando a argila é mais compressível em relação ao enrocamento, caso ocorra um “arqueamento” do núcleo, os esforços não sejam transferidos para os espaldares da estrutura (Massad, 2010) (Figura 7).

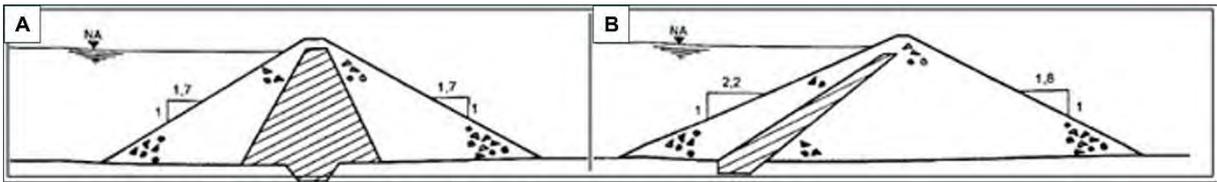


Figura 7 - Seções típicas de barragens mistas. A) Barragem com núcleo central vertical. B) Barragem com núcleo inclinado a montante. Adaptado de Massad (2010).

2.1.6. Barragem de Rejeito

A barragem de rejeito, diferente das barragens convencionais, que normalmente barram água, armazena rejeitos dos processos minerais que podem variar de materiais arenosos não plásticos até solos de granulometria fina e alta plasticidade, ou seja, resíduos do beneficiamento úmido. O rejeito é definido por um material que não possui valor econômico, a partir de um teor de umidade alto e característica lamosa (Araújo, 2006).

A estrutura dessas barragens pode ser construída com diferentes materiais, como solos compactados, enrocamentos, ou uma combinação de ambos (mistas), atendendo às necessidades específicas de armazenamento de rejeitos. Atuando como uma barreira, onde são depositados os rejeitos, à medida que o material é depositado, a parte sólida se acomoda no fundo da estrutura e a água é barrada na parte superior para drenagem e tratamento, com o destino de reutilização na mineração e retorno ao meio ambiente. Após o enchimento da barragem, ela fica inativa (Kossoff, 2014).

2.2. Investigações geológico-geotécnicas – sua importância

A investigação geológico-geotécnica envolve a aquisição de informações sobre as condições de superfície e subsuperfície, na qual tem como principal objetivo a delimitação das unidades geológicas e a determinação das características e propriedades geomecânicas através de um conjunto de investigações e métodos direcionados (Leinz & Amaral, 1989). Essas investigações são definidas através de métodos diretos, semidiretos e indiretos.

2.2.3. Método direto

O método direto caracteriza-se por procedimentos de inspeção das camadas de solo e rocha, os quais possibilitam o acesso direto ao material investigado, bem como à análise de suas propriedades, ou seja, o material está *in situ*, propiciando a

execução através de trincheiras, galerias e poços, com amostragens e através do mapeamento de campo (Oliveira & Brito, 1998).

2.2.3.1. Trincheiras, galerias e poços

A norma NBR 9604 (ABNT, 2016) estabelece condições necessárias para a abertura de trincheiras, poços e galerias, além da amostragem em solo. As trincheiras consistem em escavações verticais a partir de seções retangulares para obter exposição contínua do material, são recomendadas para investigar a distribuição lateral dos materiais, com dimensões variáveis, mínimas, para permitir o acesso seguro de um pesquisador, visando a inspeção das paredes e base, bem como a coleta de amostras deformadas e indeformadas que representa pelo substrato. Já as galerias também apresentam seções horizontais, porém são limitadas a rocha ou solos de maiores resistências, com maior profundidade em relação as trincheiras.

Por outro lado, a partir da NBR 9604 (ABNT, 2016), os poços são escavações verticais realizadas em seções quadradas ou circulares, com dimensões que viabilizam a entrada do observador para a inspeção das paredes e da base e a consequente coleta de amostras. As trincheiras, em comparação, apresentam uma seção horizontal contínua e retangular, porém com menor profundidade.

2.2.2. Método semidireto

Segundo Oliveira (2018) o método semidireto é utilizado para obter informações sobre as características do terreno sem a necessidade de contato direto entre o pesquisador e o material, realizado predominantemente por meio de sondagens. As sondagens envolvem a perfuração de furos de diversos diâmetros, variando de acordo com o tipo de perfuração, possibilitando a coleta de amostras. As sondagens podem ser executadas em diferentes modalidades, como a trado, percussão, rotativa e mista, permitindo a observação dos materiais que ocorrem em profundidades elevadas que não são possíveis atingir através dos métodos diretos.

2.2.2.1. Sondagem a trado (ST)

Diante da NBR 9603 (ABNT, 2023) a sondagem a trado consiste na utilização de um trado (Figura 8) para a finalidade de coleta de amostras deformadas de baixa a média resistência, determinação de profundidade de nível d'água e identificação de solos, executado de forma manual. A sondagem a trado apresenta vantagens como a

rapidez da prospecção, e o baixo custo, ou seja, uma investigação simples e econômica para as investigações das condições geológicas superficiais, tendo como limitação a passagem do trado em materiais rígidos, como pedregulhos, matações e rocha sã, ou seja, realizado apenas em camadas de solo de baixa resistência à perfuração, restringindo a sua profundidade (Costa, 2012).

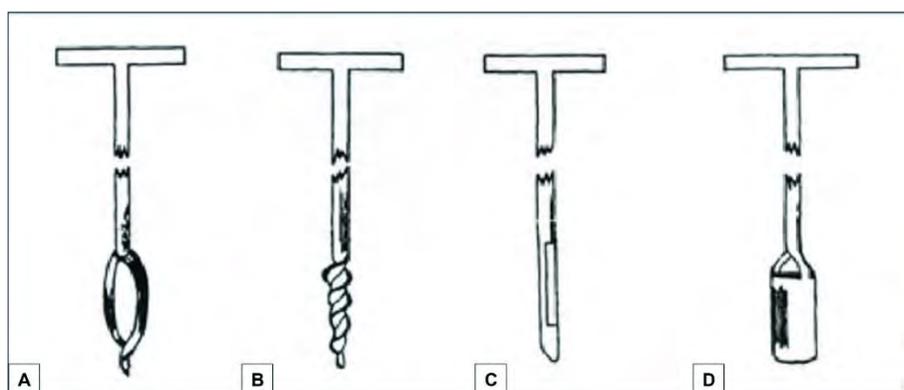


Figura 8 - Tipos de trados mais utilizados. A) Trado convencional. B) Trado helicoidal. C) Trado calador. D) Trado caneca. Autor desconhecido.

2.2.2.2. Sondagem a percussão – Ensaio *Standard Penetration Test* (SPT)

A sondagem SPT (*Standard Penetration Test*) caracteriza-se por um ensaio que consiste na investigação das características do solo, através da cravação de um amostrador por meio de golpes de um martelo, o número de golpes necessários para cravar 30 cm é chamado de índice SPT (N). Essa técnica tem como objetivo a coleta de amostras, as quais são analisadas em laboratório para determinar sua composição, tipo de solo e seu índice de resistência à penetração, indicando a consistência de solos coesivos (Schnaid, 2012).

De acordo com a NBR 6484 (ABNT, 2020), o equipamento (Figura 9) utilizado para a sondagem SPT inclui um tripé com roldana, tubos metálicos de revestimento, hastes de aço para avanço da perfuração, martelo de ferro para cravação das hastes, do amostrador e do revestimento, além de um conjunto motorizado para promover a circulação de água durante o seu processo, trados e amostrador. Sua execução compõe duas fases, iniciando pela perfuração, seguida pela análise de resistência à penetração ao material, realizada através da cravação de um amostrador no terreno, medido pelo número de golpes (Mello & Teixeira, 1960).

Para Rosa (2008) a resistência do solo é determinada pela quantidade de golpes necessários para que o amostrador penetre 30 cm logo depois de uma cravação inicial de 15 cm. A partir da Tabela 1 a NBR 6484 (ABNT, 2020) estabelece uma relação de resistência à penetração do material com a compactidade das areias e deformabilidade das argilas. A sondagem SPT apresenta limitações quando realizada em materiais de alta resistência, como rocha sã, utilizada em materiais desagregados. No entanto, permanece como o método mais empregado em obras de construção civil na atualidade.

Tabela 1 - Estados de compactidade e de consistência. Adaptado de NBR 6484 (ABNT, 2020).

p 17.

Solo	Índice de resistência à penetração (N)	Designação
Areias e siltes arenosos	≤ 4	Fofa (o)
	5 a 8	Pouco compacta (o)
	9 a 18	Medianamente compacta (o)
	19 a 40	Compacta (o)
	> 40	Muito compacta (o)
Argilas e siltes argilosos	≤ 2	Muito mole
	3 a 5	Mole
	6 a 10	Média (o)
	11 a 19	Rija (o)
	< 19	Dura (o)

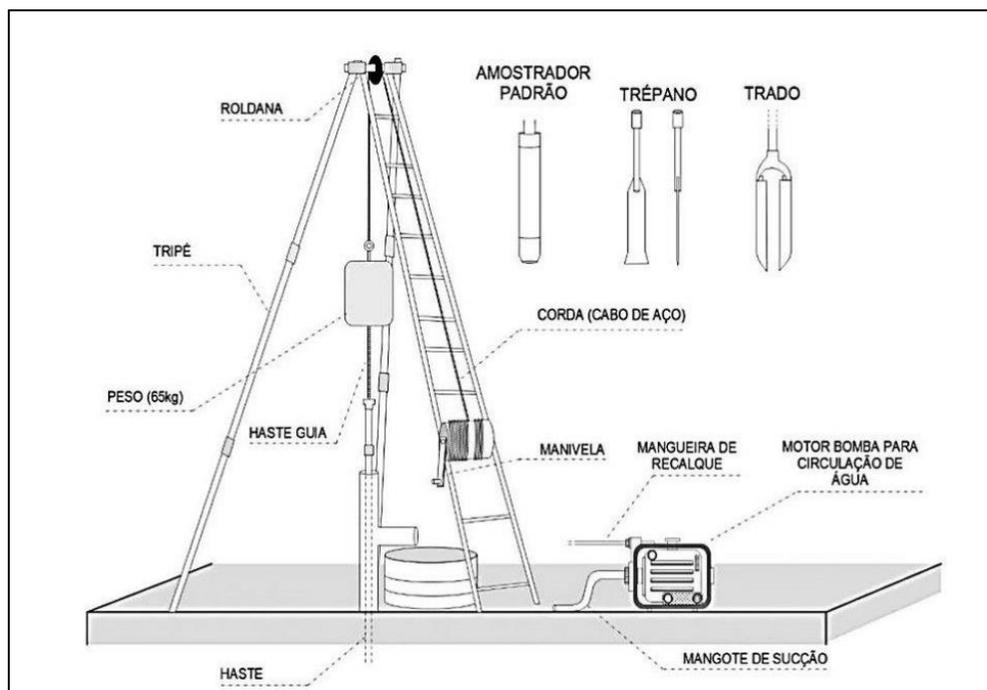


Figura 9 - Equipamentos utilizados na sondagem SPT. Castro e Garcia (2017).

2.2.2.3. Sondagem rotativa (SR)

A sondagem rotativa é utilizada com a finalidade de conhecer as propriedades da fundação a partir de materiais rochosos aflorantes em superfície ou em subsuperfície, consistindo em um conjunto motomecanizado projetado para a perfuração e coleta (testemunhos) de materiais rochosos, através de uma broca rotativa, acionada em forma rotacional contínua enquanto avança no maciço (Marinho, 2008). Na Figura 10 é representado um perfil esquemático do equipamento utilizado na sondagem rotativa.

Diante da sondagem rotativa é possível determinar a classificação litológica, o estado de alteração do maciço, o grau de fraturamento e obter o índice de porcentagem de recuperação da sondagem para qualificar a rocha através do *Rock Quality Designation* (RQD). A Tabela 2 é dada pela classificação por Deere (1989) que divide em classes a qualidade do maciço rochoso a partir do RQD.

Tabela 2 - Classificação de qualidade do maciço rochoso a partir do RQD. Adaptado de Deere (1989).

Classe	Qualidade da rocha	RQD(%)
I	Muito ruim	<25
II	Ruim	25-50

III	Regular	50-75
IV	Bom	75-90
V	Excelente	90-100

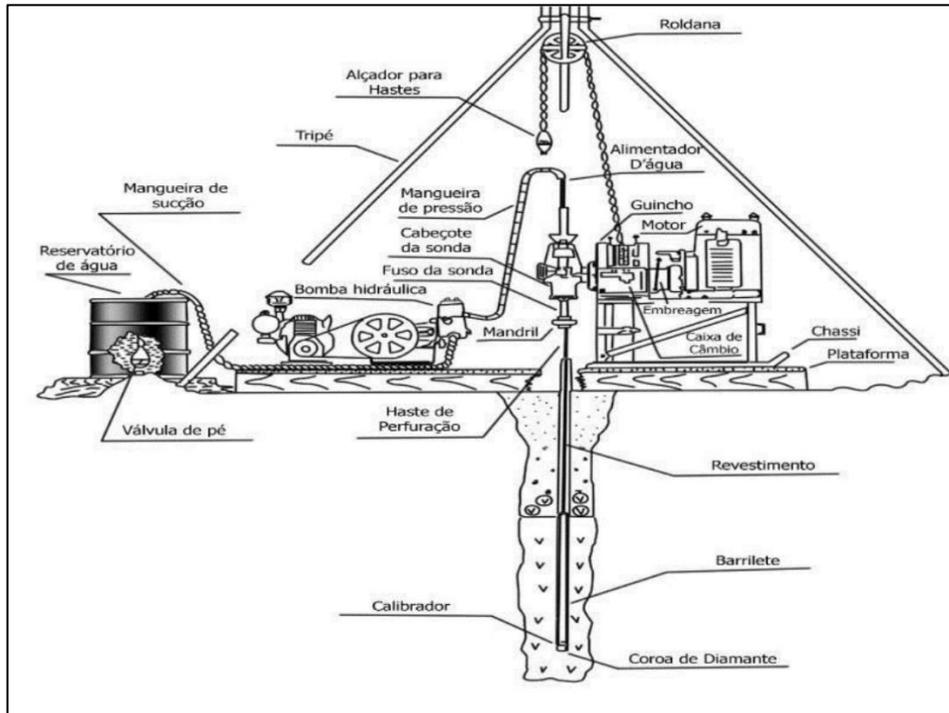


Figura 10 - Perfil esquemático da sondagem rotativa. Adaptado de Oliveira & Brito (1998).

2.2.2.4. Sondagem mista (SM)

A sondagem mista é considerada o método mais completo, consistindo na sondagem a percussão para as camadas de solo e a sondagem rotativa para as camadas de rocha, realizando ambas as técnicas em uma única perfuração. Esse procedimento permite a obtenção de informações tanto para o solo quanto para a rocha ao longo de toda a profundidade da sondagem. Este método é utilizado quando há a necessidade de investigar áreas que apresentam uma variação litológica, contendo uma transição de materiais menos resistentes como solos, à maciços rochosos de maior resistência, permitindo uma análise abrangente e detalhada (Velloso & Lopes, 2010).

2.2.1. Método Indireto

No método indireto não se obtém informações a partir da recuperação de testemunhos ou materiais físicos, ou seja, são obtidas através de diversos métodos como a análise de áreas a partir de sensoriamento remoto e métodos geofísicos e. Antes de iniciar a investigação do terreno, é essencial realizar um estudo teórico, coletando informações relevantes sobre o local para apoiar o planejamento do trabalho de campo (Knappett & Craig, 2016).

O sensoriamento remoto tem como objetivo a captação de imagens de superfície terrestre a partir de sensores em satélites, sensores em aviões e/ou drones, incluindo técnicas de aerofotogrametria e fointerpretação. Com base no produto do sensoriamento remoto, as ortofotos auxiliam na interpretação de feições geológicas, como dobramentos, zonas de cisalhamento, zonas homólogas, bem como retratar o relevo da área de estudo (CPRM, 2011).

O método indireto a partir da geofísica, correlaciona as propriedades físicas com a composição dos materiais em subsuperfície e com suas propriedades mecânicas, cobrindo grandes áreas de levantamento, gerando uma representatividade ampla dos dados comparado com o método direto, sendo pontuais. As linhas geofísicas envolvem grandes áreas, tendo como consequência a minimização dos riscos inerentes e das ambiguidades dos modelos interpretativos gerados (Gondolfo & Souza, 2012).

O método geofísico na geologia de engenharia e na geotecnia é essencial na fase de reconhecimento da área de interesse, na construção de uma barragem é realizado quando necessário, na viabilidade de estudo ou no projeto básico, com o objetivo de caracterizar a fundação, determinando contatos geológicos, zonas de fraturamento e profundidade de topo rochoso. Dentre os métodos geofísicos existentes, os mais utilizados para identificar essas feições são os métodos sísmicos, geoeletricos e gravimétricos (Oliveira, 2018).

2.3. Etapas de estudos e construção de uma barragem

2.3.1. Estudos de Viabilidade

Os estudos de viabilidade contemplam todos os dados necessários para as tomadas de decisões perante a viabilidade do empreendimento (Cruz, 1996). Visam a otimização técnica, econômica e ambiental, a obtenção de benefícios e custos associados a obra, tendo como objetivo a elaboração de um projeto de obra (Eletrobras, 1987 e 2003). Nessa fase são executadas algumas investigações geológico-geotécnicas e concebido o modelo geológico-geotécnico preliminar da fundação e a escolha do eixo de barramento com o melhor custo-benefício em termos construtivos e ambientais.

2.3.2. Projeto Básico

O projeto básico, que pode ser seguido pelo projeto básico consolidado ou pré-executivo, consiste em um estudo de metodologias executivas e equipamentos, bem como um planejamento e plano de execução de obra. Inclui um cronograma básico, atividades de desmobilização e limpeza da área, além de investigações de campo e laboratoriais (Eletrobras, 1987 e 2003). Essa etapa representa a fase de maior detalhamento do projeto, onde se obtém um aprimoramento dos conhecimentos através das investigações geológico-geotécnicas, visando definir o modelo geológico-geotécnico.

As investigações podem ser mecânicas ou manuais, de método direto e indireto, realizadas através de sondagens à percussão, rotativas, mistas, a trado e trincheiras, e por meio de levantamentos geofísicos, a fim de identificar o modelo geológico-geotécnico ótimo da fundação da estrutura (ABGE, 2024).

2.3.3. Projeto Executivo

No projeto executivo acontece junto com a execução da obra, onde o modelo geológico-geotécnico é verificado diretamente em campo, com a exposição da fundação das estruturas. Nessa fase deve ocorrer um detalhamento do projeto básico, com a realização de novas sondagens, consistindo nos detalhamentos das fases necessárias à execução da obra da barragem (Eletrobras, 1987 e 2003). Nele deve abranger os detalhes das soluções propostas recomendadas, a confirmação de sua

viabilidade e a observação dos dados de monitoramento, que devem levar a hipóteses de comportamento antecipadas na fase do projeto básico (Cruz, 1996).

2.3.4. Pós Executivo – *As built*

Após a construção e conclusão da obra, o projeto como construído (*as built*) é efetuado, relatando as alterações realizadas durante o período de execução de obra, se intitulando como projeto final, integrando o plano de segurança da barragem (Eletrobras, 1987 e 2003).

2.4. Fundação

Segundo Costa (2012) as fundações de uma barragem consistem em todo o material geológico existente no local onde será construída a barragem e suas obras complementares, como vertedouros, casa de força, canais, tubos de adução, etc. A fundação suporta todo o peso da barragem e suas obras, e abrange todo material *in situ* ou transportado.

As barragens por se caracterizarem como obras hidráulicas, requerem em suas fundações as características geomecânicas do maciço de estabilidade, deformabilidade e condições de estanqueidade estáveis. Geologicamente, a fundação de uma barragem é caracterizada a partir das investigações geológicas-geotécnicas realizadas, seguida da construção de seções geológicas-geotécnicas da estrutura de conhecimento, como exemplo o eixo do barramento. A partir das seções se tem um modelo geológico conhecido, compreendendo a composição, estrutura e comportamento do material geológico, influenciando diretamente no desempenho de estabilidade da fundação (Souza, 2017).

Um dos problemas mais frequentes nas fundações é a percolação de água e fluidos, decorrente de fraturas, o que resulta em perdas excessivas de água, aumento das subpressões e transporte de partículas de solo. Havendo então a necessidade de tratamentos para o preenchimento dessas fraturas, como a cortina de injeção (Levis, 2006).

2.5. Modelo geológico-geotécnico

O modelo geológico em conjunto com o modelo geotécnico caracteriza o material para a eficiência da fundação. Esse modelo pode ser representado tridimensionalmente através de programas computacionais, com o intuito de reconhecer os materiais geológicos e as suas respectivas propriedades físicas e mecânicas (Petrone et al., 2023). A construção de um modelo geológico-geotécnico deve ser exercida a partir de dados geológicos, geotécnicos, estruturais, geomecânicos e hidrogeológicos, permitindo analisar e prever potenciais impactos que possam ocorrer na fase construtiva do projeto.

Em geral, os modelos tridimensionais permitem uma visão geral de todas as variantes essenciais a área estudada, minimizando situações adversas e riscos associados ao empreendimento (Webber & Kieck, 2022). Segundo Instituto Minere (2017) essas situações podem ser previsíveis através do modelo geológico-geotécnico e auxilia a engenharia no desenvolvimento de estratégias e planejamentos para a contenção desses riscos. Na Figura 11 temos a representação de um modelo tridimensional geológico-geotécnico de uma barragem em arco.

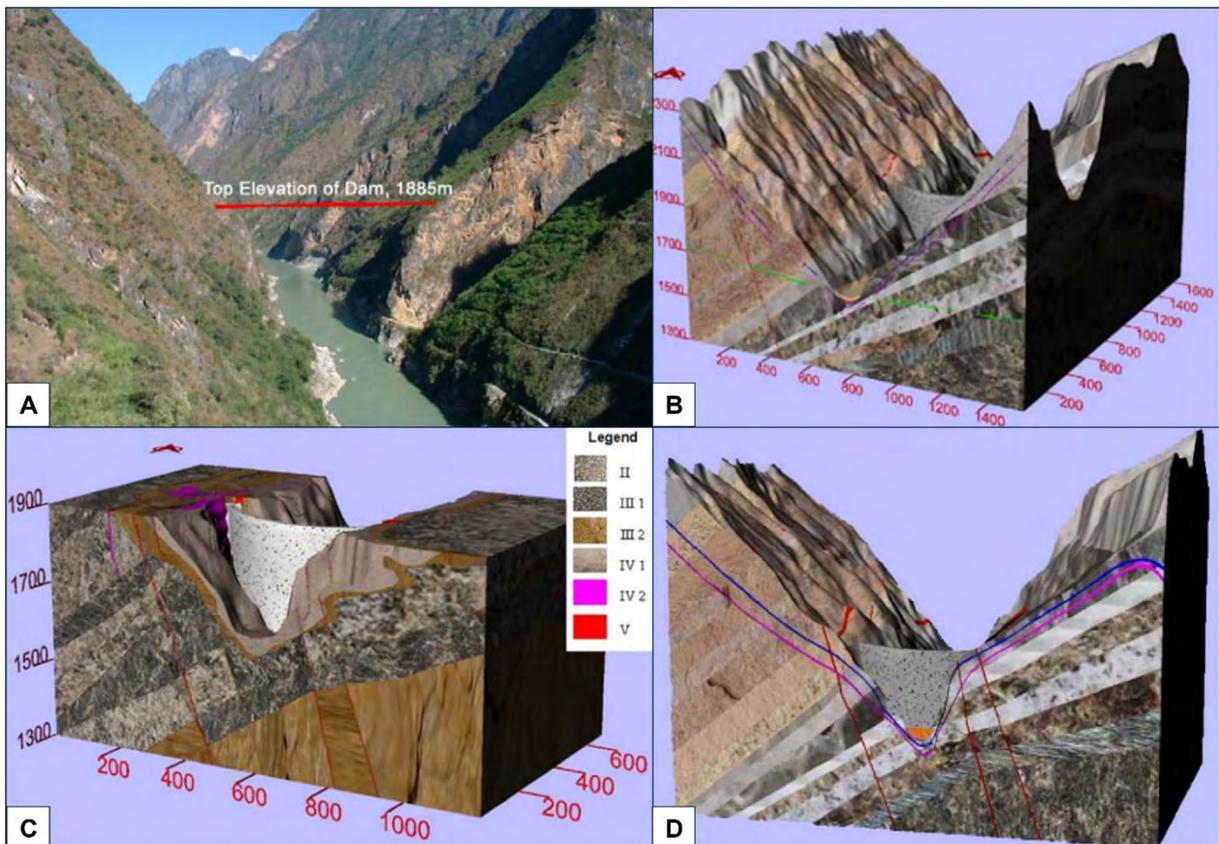


Figura 11 - Modelagem tridimensional de uma barragem em arco. A) Fotografia da área da barragem. B) Modelo tridimensional da área da barragem. C) Modelo tridimensional da classificação da qualidade do maciço rochoso, após tratamento da fundação da barragem. D) Análise geológica-geotécnica, indicando principais fraturas. Adaptados de Zhong *et. al.* (2005).

A partir dos dados coletados em campo e nas sondagens realizadas, é possível projetar as litologias da área de estudo tanto em direção lateral quanto vertical (Figura 12). Essa abordagem permite uma interpretação detalhada por meio de uma visualização tridimensional, possibilitando a setorização da qualidade geotécnica das camadas litológicas presentes nas fundação da estrutura. Na mineração, permite a setorização geológica-geotécnica de cavas, auxiliando na análise de segurança e para a verificação das condições da fundação e o planejamento da descaracterização de barragens de rejeitos (Pflug & Harbaugh, 1992).

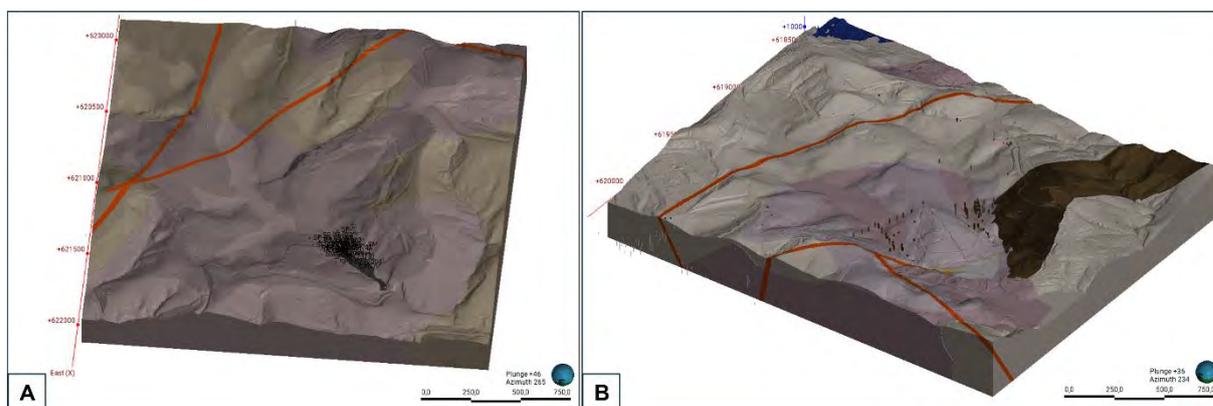


Figura 12 – Modelos tridimensionais de barragens de rejeito realizados no *Leafrog Works*. Retirado da base de dados da empresa.

A execução de uma modelagem tridimensional depende de um conjunto de etapas (Figura 13) que devem ser seguidas para uma execução efetiva, a partir de uma metodologia que abrange a coleta e tratamento dos dados. A maneira de como essas etapas serão administradas, terão uma influência direta sobre a qualidade e precisão do modelo gerado (Azaronak, 2015). Atualmente, para modelos geológico-geotécnicos, existem diversos programas computacionais disponíveis, dentre eles podem-se destacar os seguintes: Leapfrog Geo/ Works; Datamine (Studio RM); Autodesk Civil 3D; RocScience. Vale salientar que estes programas têm custo elevado, mas com resultados significativos, uma vez que são dinâmicos para a tomada de decisões.

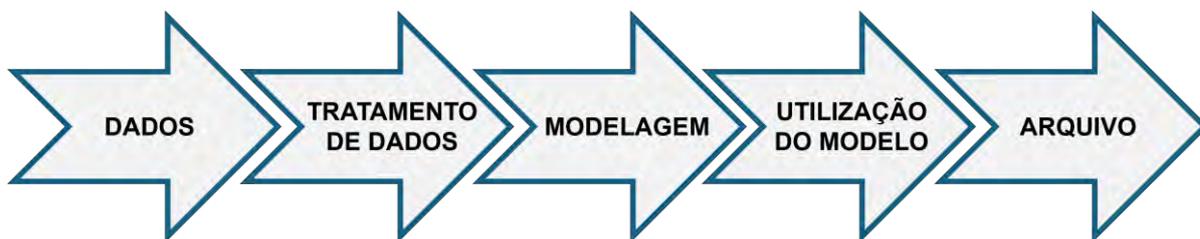


Figura 13 - Etapas no tratamento e processamento de dados para a construção do modelo tridimensional. (Adaptado de Azaronak, 2015).

2.6. Tratamentos de Fundações

O tratamento de fundações visa aprimorar o comportamento do solo e do maciço da fundação de uma barragem, garantindo a estabilidade, estanqueidade e segurança da estrutura. Para sua implementação, é necessário a elaboração de um modelo geológico-geotécnico, que permita identificar a composição litológica predominante e suas características geotécnicas, viabilizando a execução adequada do tratamento da fundação (Eletrobrás, 2003).

O comportamento de uma fundação pode ser influenciado por diversos fatores, incluindo a qualidade do maciço, os processos associados ao projeto durante a fase executiva, os procedimentos construtivos e os efeitos decorrentes da fase pós-implantação da barragem, gerando uma possível degradação (Heidemann, 2015). Portanto, segundo Helene (1992) a ocorrência patológica e a necessidade do reforço na fundação sem o devido conhecimento prévio, resultam em alterações no planejamento inicial, ocasionando aumento nos custos do projeto e modificações no cronograma da construção da barragem.

Os tratamentos mais comumente usados nas fundações de barragens incluem escavações, aplicação de injeções, bem como o controle de fluxos por meio da utilização de tapetes drenantes e filtros, e paredes de diafragmas. As escavações são realizadas em situações em que o solo apresenta baixa resistência ou é classificado como mole ($NSPT \leq 5$), consistindo na remoção parcial ou total. Dependendo das condições geológico-geotécnicas do material, opta-se pela substituição do material removido ou pela simples remoção (Morais *et. al.*, 2020).

Para garantir a segurança e estabilidade de uma barragem, é fundamental o controle de fluxo na estrutura, a partir da condução e redução da passagem de água

e fluídos pela fundação da barragem a partir de filtros e tapetes drenantes (Cruz, 1996). Eles são utilizados sobre fundações permeáveis, substituindo a porção superficial do solo por uma camada impermeável e conduzindo os fluídos para jusante da barragem (Marangon, 2004). A Figura 14 apresenta os principais tipos de controles de fluxos utilizados nas barragens.

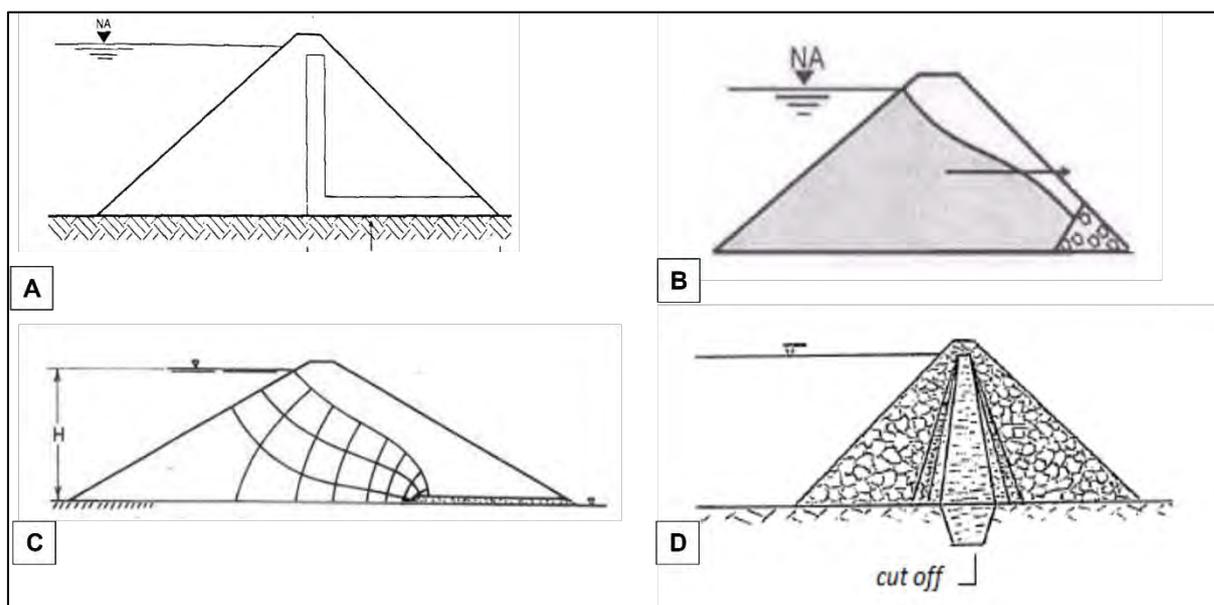


Figura 14 - Principais tipos de controles de fluxos em uma barragem. A) Esquema de filtro vertical. B) Esquema de dreno de pé. C) Esquema de tapete drenante. D) Esquema de cut-off central. Esquemas A e B adaptados de Massad (2010); esquema C adaptador de Cesar (2010) e esquema D adaptado de Costa (2012).

As injeções são técnicas utilizadas para preencher os espaços vazios presentes na fundação em solo e rocha, as quais podem ser originadas por falhas, fraturas ou pelas características naturais do maciço (método de colagem), para melhorar as condições de resistência do maciço através de injeções de consolidações ou por meio da impermeabilização, controlando as condições de percolação do fluxo subterrâneo de água pelo método de cortina de injeções (Lopes, 2020).

Segundo Costa (2012) a cortina de injeções pode ser realizada utilizando uma ou mais linhas de furos, projetadas conforme o espaçamento adequado, que deve ser inferior ao das fraturas. Os furos iniciais, denominados primários, são considerados os mais relevantes, devendo ser executados utilizando sondas rotativas. Esses furos permitem a extração de testemunhos, fundamentais para avaliar as características mais adequadas do local, normalmente, eles são espaçados em intervalos de doze

metros. Os furos secundários, são posicionados a intervalos de seis metros, e os terciários a três metros.

Além disso, pode-se considerar a execução de furos quaternários, que, em geral, têm o objetivo de selar o maior número possível de fraturas no maciço. A decisão sobre a realização desses furos será baseada nos resultados obtidos em testes de perda de água e de absorção de calda. Em geral essa configuração de espaçamento entre os furos foi projetada para reduzir significativamente as vazões de percolação de fluidos no maciço.

O preenchimento é realizado com uma calda de cimento com propriedades de solidificação, capazes de selar os vazios, aplicada tanto na base da fundação quanto nas ombreiras, em diversas inclinações, para maximizar a abrangência de espaços vazios (Figura 15) (Ewert, 2003).

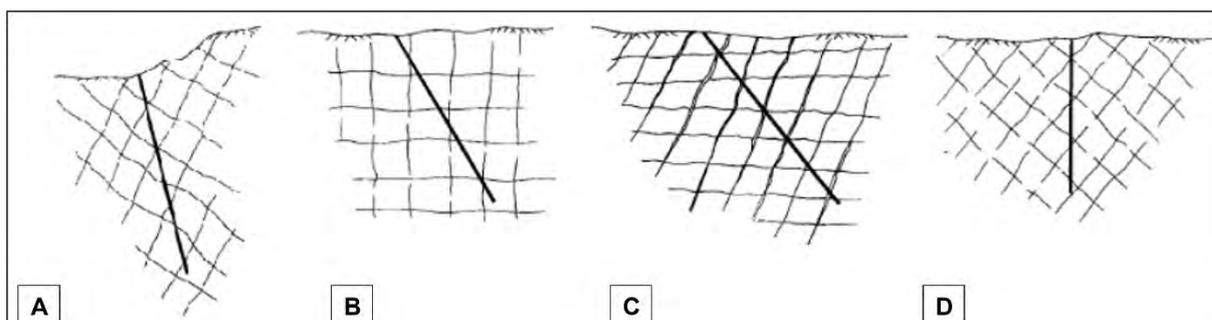


Figura 15 - Geometrias possíveis para os furos de injeções a partir de diversas atitudes das famílias de descontinuidades. A) Inclinações irregulares. B) Inclinações horizontais e verticais. C) Inclinações sub-verticais. D) Inclinações que permitem a execução de furos verticais. Adaptado de Houlsby (1990).

A construção de uma parede de diafragma envolve a realização de escavações profundas no subsolo, utilizando equipamentos especializados, como garras mecânicas ou hidrofresas. A partir da NBR 6122 (ABNT, 2019) durante o processo, emprega-se lama bentonítica ou polímeros para estabilizar as paredes da escavação, prevenindo desmoronamentos. Após a conclusão da escavação, a cavidade é preenchida com concreto armado, formando uma estrutura contínua, resistente e impermeável. Essa técnica é amplamente utilizada em obras onde o solo possui baixa capacidade de suporte ou apresenta elevado risco de infiltração, garantindo estabilidade e segurança.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para alcançar o objetivo deste trabalho, o estudo foi dividido em quatro etapas, agrupadas em duas categorias: aquisição de dados e organização e análise das informações, conforme o Tabela 3.

Tabela 3 – Metodologia e materiais utilizados a partir da aquisição de dados e organização das informações. Fonte: Autor.

		ETAPAS
AQUISIÇÃO DE DADOS	1. Definir fase do projeto utilizada	- Estudos de viabilidade, Projeto básico, Projeto executivo, <i>As built</i> .
	2. Busca de projetos na base de dados de terceiros	- Busca na base de dados da empresa Intertechne Consultores S.A., a partir do servidor padrão utilizado pela empresa.
ORGANIZAÇÃO E ANÁLISE DAS INFORMAÇÕES	3. Individualização dos dados dos projetos	- Separação dos arquivos eletrônicos por tipo de estrutura da barragem.
		- Separação das seções geológica-geotécnicas do barramento nas distintas fases de projeto.
		- Separação dos arquivos por mapas, seções geológico-geotécnicas e estruturas civis projetadas.
		- Separação de relatórios técnicos de interesse para cada fase de projeto e identificação das informações relativas à geologia regional, local, características geotécnicas dos materiais de fundação, investigações realizadas, entre outras.
4. Análise dos dados	Comparação quantitativamente por projeto, considerando as fases e informações abaixo: - Problemas geológico-geotécnicos observados no sítio da obra do projeto. - Quantidade de investigações realizadas em cada fase de projeto. - Mudanças nas linhas de contato entre solo, rocha alterada e rocha sã. - Tratamentos realizados na fundação do eixo de barramento. - Mudanças de arranjo.	

A aquisição de dados foi estruturada em duas partes, correspondendo a definição da fase do projeto em que seria realizada a pesquisa, determinando qual fase do projeto seria analisada para pesquisa, contendo um estudo de viabilidade, projeto básico, projeto executivo e como construído (*As built*). A segunda parte consistiu na busca de projetos na base de dados de terceiros, utilizando o servidor padrão da empresa Intertechne Consultores S.A. para adquirir as informações

necessárias. Durante a pesquisa, foram identificadas variações entre as fases dos projetos, incluindo fases adicionais, como projeto básico consolidado e projeto pré-executivo.

Ainda no âmbito da aquisição de dados, procedeu-se a seleção dos projetos que apresentavam maior quantidade de informações disponíveis e características litológicas distintas. A categorização dos projetos é feita por códigos, o que impõe desafios na seleção dos projetos que contemplam todas as fases de construção da barragem.

A organização e análise de informações, também está subdividida em duas partes, contemplando a individualização dos dados dos projetos, baseada na separação dos arquivos eletrônicos por tipo de estrutura da barragem, separação das seções geológica-geotécnicas do barramento nas distintas fases de cada projeto. Separação dos arquivos encontrados por mapas, seções e estruturas civis projetadas e separação de relatórios técnicos de interesse para cada fase de projeto, identificando informações relativas à geologia regional local, bem como características geotécnicas dos materiais da fundação, investigações realizadas, entre outras informações.

A segunda parte contempla a análise dos dados, realizada a partir de uma comparação quantitativa por projeto, desenvolvida a partir de uma análise criteriosa, considerando aspectos técnicos que proporcionam uma visão detalhada e comparativa entre as diferentes fases a partir das seguintes informações:

- Problemas geológico-geotécnicos observados no sítio da obra do projeto;
- Quantidade de investigações realizadas em cada fase do projeto;
- Mudanças nas linhas de contato de solo, rocha alterada e rocha sã;
- Tratamentos realizados na fundação do eixo do barramento;
- Mudanças na estruturação de arranjos.

As informações utilizadas para a execução deste trabalho foram retiradas de relatórios internos da empresa Intertechne Consultores S.A. relativos a cada fase do projeto. A utilização dos dados fornecidos pela empresa exige atenção rigorosa às questões de confidencialidade e ética, visando a proteção de informações expositivas e garantindo a integridade e a segurança dos dados. Dessa forma, não serão

apresentados dados além do necessário para a compreensão e análise acadêmica deste trabalho de conclusão de curso, devido a isso serão substituídos os nomes dos projetos por “modelo A” e “modelo B”. Aspectos detalhados, como a localização e elementos que possam expor a identidade dos projetos abordados, serão mantidas sob sigilo, conforme estabelecido no Anexo III.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização da pesquisa, foram selecionados dois estudos de casos distintos, denominados modelo A e modelo B. Os projetos selecionados visam oferecer uma análise comparativa entre as diferentes abordagens, condições e características litológicas e geotécnicas presentes. Vale salientar que a ideia inicial da pesquisa foi a análise de projetos de diferentes complexidades e em contextos geológicos diferentes, porém, diante da dificuldade de encontrar documentos completos para a análise, foi possível estudar apenas 2 casos.

4.1. Modelo A

O modelo A apresenta uma Usina Hidrelétrica (UHE), com três barragens de terra e enrocamento intercaladas por estruturas de concreto como a tomada d'água, casa de força e o vertedouro (Figura 16) fechando o rio para criar o desnível hidráulico. As barragens de terra e enrocamento são compostas por blocos de rocha, um núcleo argiloso e materiais granulares de transição entre os blocos de rocha e o núcleo de argila. O modelo A compreende as seguintes fases: estudos de viabilidade, projeto básico e projeto executivo.



Figura 16 - Representação da localização das principais estruturas da barragem do modelo A. Modificado da base de dados da empresa.

O maciço rochoso no qual a barragem está localizada é composta por granitóides, além de litotipos da encaixante vulcânica. A unidade litológica é constituída por um corpo intrusivo, caracterizado por uma rocha de cor rosada a acinzentada, de textura equigranular média a grossa ou porfiróide. A origem desta intrusão é pós-orogênica, ou seja, não foi afetada por foliações e outras estruturas metamórficas. Portanto apresenta aspectos frágeis, apenas devido as descontinuidades e zonas de alteração hidrotermal.

Estruturalmente as deformações regionais são tanto de natureza rúptil-dúctil, prevalecendo em condições de temperatura e pressões maiores, como de gênese relativamente próxima da superfície, ou seja, rúpteis, com a presença comum de fraturas, falhas, vênulas e veios de quartzo.

4.1.1. Investigações geológicas

A evolução do conhecimento geológico do empreendimento ocorreu de maneira continua a medida da disponibilidade de informação por meio de investigações semidiretas e indiretas executadas, e pela exposição do maciço rochoso nas escavações de superfície e subterrâneas. Cronologicamente, a evolução do conhecimento geológico local teve como ponto de partida, além das informações bibliográficas clássicas disponíveis, as investigações mapeamentos iniciais de campo (sondagens semidiretas e indiretas), que buscaram caracterizar as condições do maciço rochoso.

Foram realizadas, ao todo, três campanhas de investigações por meio de sondagens a percussão (SP), mistas (SM) e rotativas (SR): a primeira durante os estudos de viabilidade (Tabela 4), a segunda na etapa do projeto básico (Tabela 5) e a terceira no projeto executivo (Tabela 6). As tabelas a seguir demonstram a relação das sondagens realizadas em cada etapa e a cota do terreno, as coordenadas e profundidades das sondagens executadas serão mantidas em sigilo. No Anexo I são apresentadas duas plantas de localização e disposição do arranjo da barragem, que demonstram as sondagens executadas na primeira e segunda campanhas, além de uma planta para as sondagens realizadas na terceira campanha.

Tabela 4 - Relação das sondagens executadas na primeira campanha (viabilidade). Dados cedidos da base da empresa.

Sondagem	Cota	Profundidade	Sondagem	Cota	Profundidade
SR-01	207,863	30,00	SR-08	188,045	120,00
SR-02	197,931	80,70	SR-09	185,607	35,00
SR-03	187,062	40,00	SR-10	198,602	25,90
SR-04	198,246	75,00	SR-11	209,884	30,00
SR-05 A	200,55	30,00	SR-12	195,01	30,00
SR-06	185,123	45,15	SR-14	199,922	30,00
SR-07	192,624	45,00	SR-16	188,39	30,00
			SR-18	200,289	30,00

Tabela 5 - Relação das sondagens executadas na segunda campanha. Dados cedidos da base da empresa.

Sondagem	Cota	Profundidade	Sondagem	Cota	Profundidade
SR-101	166,342	70,00	SR-106	194,425	50,00
SR-102	161,837	65,27	SR-110	201,753	35,87
SR-103	181,895	30,00	SR-112	197,42	50,00
SR-104	195,575	30,51	SR-114	200	22,38
SR-105	205,148	30,05	SR-124	194,913	50,00

Tabela 6 - Relação das sondagens executadas na terceira e última campanha (Projeto Executivo). Dados cedidos da base da empresa.

Sondagem	Cota	Profundidade	Cota	Sondagem	Profundidade
SR-301	171,807	35,15	SR-341	161,76	30,25
SR-302	188,675	70,72	SR-342	191,40	40,00
SR-303	172,832	30,11	SR-343	203,85	54,95
SR-304	239,745	31,80	SR-344	157,15	49,90
SP-304	239,745	7,91	SR-345	203,24	70,00
SR-305	188,68	28,98	SR-346	202,02	87,05
SP-305	188,68	0,47	SR-347	207,99	72,70
SR-306	199,698	31,03	SM-348	202,17	61,93
SR-307	216,605	36,2	SM-349	190,51	40,21
SR-308	201,4	37,00	SR-350	228,10	24,00
SR-309	189,367	35,03	SM-351	173,46	22,27
SR-310	169,834	70,26	SM-352	176,96	14,01
SR-311	213,259	30,15	SR-353	194,05	32,19
SR-312	195,158	43,07	SR-354	203,51	40,86
SR-313	203,106	65,07	SR-355	201,55	30,84

SR-314	167,562	40,00	SR-356	204,68	39,03
SR-315	197,744	55,04	SR-357	208,58	35,08
SR-316	182,573	40,04	SR-358	200,66	46,01
SR-317	184,898	105,76	SR-359	198,56	22,00
SR-318	171,912	40,06	SR-360	199,70	45,11
SR-319	187,33	45,04	SR-361	197,92	36,29
SR-320	199,039	30,13	SR-362	188,90	29,04
SR-321	167,138	30,30	SR-363	173,79	27,05
SR-322	180,767	40,05	SM-364	204,00	60,15
SM-323	200,924	55,11	SR-365	198,99	45,00
SM-324	203,674	30,02	SR-366	202,28	39,02
SR-325	196,287	30,29	SR-367	157,72	49,00
SR-326	171,033	30,06	SR-368	159,49	35,04
SR-327	176,05	30,02	SM-369	191,33	31,40
SR-328	201,883	29,86	SM-371	219,50	28,00
SP-328	201,883	2,35	SM-372	264,28	32,24
SR-330	178,327	15,33	SM-373	219,87	15,24
SR-331	166,475	18,19	SM-379	213,30	30,33
SR-332	162,435	15,08	SR-380	171,42	40,00
SR-333	157,96	8	SR-381	173,67	35,00
SR-334	161,82	9,96	SR-382	190,60	55,03
SR-335	187,55	19,95	SR-383	186,39	46,63
SP-336	198,00	6,15	SR-384	185,90	35,95
SP-337	198,00	5,45	SR-385	182,89	43,05
SP-338	182,00	6,23	SR-386	182,61	34,00
SP-339	186,00	7,22	SR-387	211,00	30,00
SP-340	191,00	10,43	SR-388	198,65	15,45

4.1.2. Geologia Local – Unidades geológico-geotécnicas

A UHE de modelo A, apresenta as seguintes unidades geológico geotécnicas na área de empreendimento: aluvião, colúvio/tálus, solo de alteração e o maciço rochoso.

Os depósitos aluvionares na área do empreendimento foram identificados por uma distribuição restrita, estando presentes as margens do Rio na forma de bancos de areia fina predominantemente, com concentrações de cascalho na base.

Os depósitos de colúvio foram identificados em toda área do empreendimento, com distribuição irregular e composição variada. Nos topos mais aplainados apresentam-se mais espessos de composição silto-argilosa pouco arenoso ou argilo-arenoso. Em ambas as composições há a presença de fragmentos de rocha alterada e blocos de granito de tamanhos variados, chegando a atingir dimensões métricas. Os depósitos possuem aspectos de tálus, com concentração de blocos rochosos de dimensões variadas, chegando até cinco metros de diâmetro.

O solo de alteração presente é essencialmente silte-arenoso ou argiloso com fragmentos de rocha alterada e blocos de rocha sã em meio a matriz alterada. Apresenta, coloração variando do rosa a vermelho e amarelado. Os valores de SPT indicaram tratar-se de solos medianamente compactos a compactos. Em geral o nível d'água do lençol freático foi identificado nesta porção do maciço.

O maciço rochoso granítico na área do empreendimento apresenta uma brusca variação entre a rocha sã e a rocha totalmente alterada (Figura 17). Nas ombreiras foram identificados blocos de dimensões métricas, muitas vezes rotacionados e envoltos por solo de composição que varia de silte arenoso e argiloso.

O maciço rochoso, quando são a pouco alterado, é caracterizado por uma rocha com excelente qualidade geomecânicas constituído por uma rocha sã, muito coerente e com grau de fraturamento que pode variar de pouco a medianamente fraturada a zonas muito fraturadas.



Figura 17 – Aspecto do granito da fundação base da barragem. Retirado da base de dados da empresa.

Há intercalações de zonas alteradas que cortam o maciço, separadas por espessos trechos de rocha sã. Nesses trechos alterados a rocha tem coloração marrom a amarelada e mostra-se em geral resistente com alternância de material extremamente alterado com espessuras centimétricas a métricas. Em profundidade, o maciço apresenta comportamento geomecânico típico, condicionado pelos planos de fraturas pouco alteradas e que permite o contato efetivo rocha/rocha.

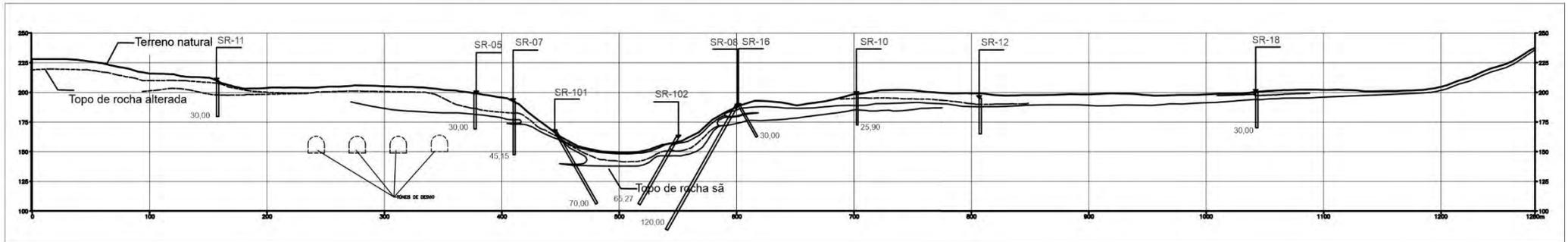
4.1.3. Seções geológica-geotécnicas – Barramento

Para o modelo A, foram identificadas quatro seções geológico-geotécnicas dispostas nas seguintes fases: estudos de viabilidade, projeto básico, projeto básico-consolidado e projeto executivo. As seções na íntegra estão disponibilizadas no Anexo II.

As seções geológico-geotécnicas do estudo de viabilidade, projeto básico e projeto básico consolidado foram sobrepostas Figura 18. Não houve a adição de sondagens durante o processo evolutivo destas seções. Foram identificadas, linhas de topo de rocha alterada e topo de rocha sã, onde visualmente notou-se uma mudança interpretativa a partir dessas linhas durante as distintas fases como demonstra a Figura 18.

MODELO A

Seção geológica-geotécnica do eixo do barramento - Estudo de Viabilidade



Seção geológica-geotécnica do eixo do barramento - Projeto Básico



Seção geológica-geotécnica do eixo do barramento - Projeto Básico Consolidado



LEGENDA: - - - - - Topo de rocha alterada ——— Topo de rocha sã

Figura 18 – Seções geológica-geotécnicas simplificadas, apresentadas nas três primeiras fases do projeto modelo A. Representação em preto a seção do Estudo de Viabilidade, em vermelho do Projeto Básico e em verde do Projeto Básico Consolidado. Baseado nos dados da empresa.

No projeto executivo analisado, verificou-se uma alteração significativa em relação às seções apresentadas nas fases anteriores. Essa mudança foi ocasionada pela realização de uma terceira campanha de sondagem, que incorporou um maior número de sondagens rotativas, resultando em um detalhamento mais preciso do maciço rochoso. Durante essa etapa, foi constatado uma mudança do eixo da barragem a montante e um aprofundamento do topo rochoso, fato que demandou alterações no modelo geológico previamente definido. A terceira campanha foi executada pela alta complexidade da geologia local e pela dificuldade em desenvolver um modelo geológico que fosse suficientemente detalhado e representativo, ampliando o número de investigações.

Houve a inclusão de perfilagens ópticas em furos de sondagem, as quais desempenharam um papel crucial no entendimento das características estruturais do maciço rochoso. Esse método permitiu a caracterização espacial de feições responsáveis pela compartimentação do maciço, além de contribuir para a análise geomecânica dos trechos mais alterados. Como principal descoberta, foi identificada uma alta concentração de juntas sub-horizontais no maciço, até então não observada nos afloramentos das margens do rio ou nas exposições resultantes das escavações.

Essas informações exigiram mudanças significativas no projeto executivo, fazendo com que a seção geológico-geotécnica representada nas fases anteriores fosse alterada de local e profundidade. Havendo o rebaixamento do nível da fundação no eixo do barramento na base e nas ombreiras, devido as feições sub-horizontais contínua sob a estrutura. O vertedouro foi reposicionado da margem direita para o leito do rio, sendo projetado sobre um maciço de concreto compactado com rolo (CCR), em função da baixa qualidade do maciço rochoso na localização original, podendo ser observado essa mudança de a partir da planta de localização das sondagens e disposição do arranjo da barragem no Anexo I.

A seção geológica-geotécnica do projeto executivo (Figura 19), apresentada na íntegra a partir do Anexo II, não contém sondagens em comuns com as seções anteriores, devido ao deslocamento do eixo da barragem a montante. Portanto, não foi possível a sobreposição da seção do projeto executivo com as demais seções das fases anteriores.

As alterações no projeto executivo tiveram impacto direto no cronograma e no orçamento da obra. O cronograma de construção sofreu um atraso de aproximadamente dois anos em relação ao planejamento inicial, devido às mudanças implementadas. Além disso, foram registrados custos adicionais não previstos, como o aumento no número de sondagens durante a terceira campanha, a realização das perfilagens ópticas, os trabalhos de escavação para rebaixamento da fundação, o reposicionamento do vertedouro e os custos relacionados ao prolongamento da construção. Essas adversidades reforçam a importância de investigações geológicas detalhadas e contínuas em projetos de alta complexidade, de forma a minimizar riscos e otimizar o planejamento técnico e financeiro.

4.1.4. Tratamentos

Os procedimentos realizados na fundação ao longo do eixo da barragem consistiram na suavização da superfície do maciço, com a remoção de saliências e irregularidades por meio do uso de rompedores. Essa etapa teve como objetivo principal ajustar a topografia do terreno, diminuindo a necessidade de compactação manual. Além disso, o processo incluiu a remoção de solo em áreas de depressões, seguida de uma limpeza detalhada utilizando jatos de ar e água, conforme ilustrado no esquema A) da Figura 20. Para corrigir as depressões, as cavidades foram preenchidas com injeções de concreto, garantindo maior resistência à fundação, conforme indicado no esquema B) da Figura 20.

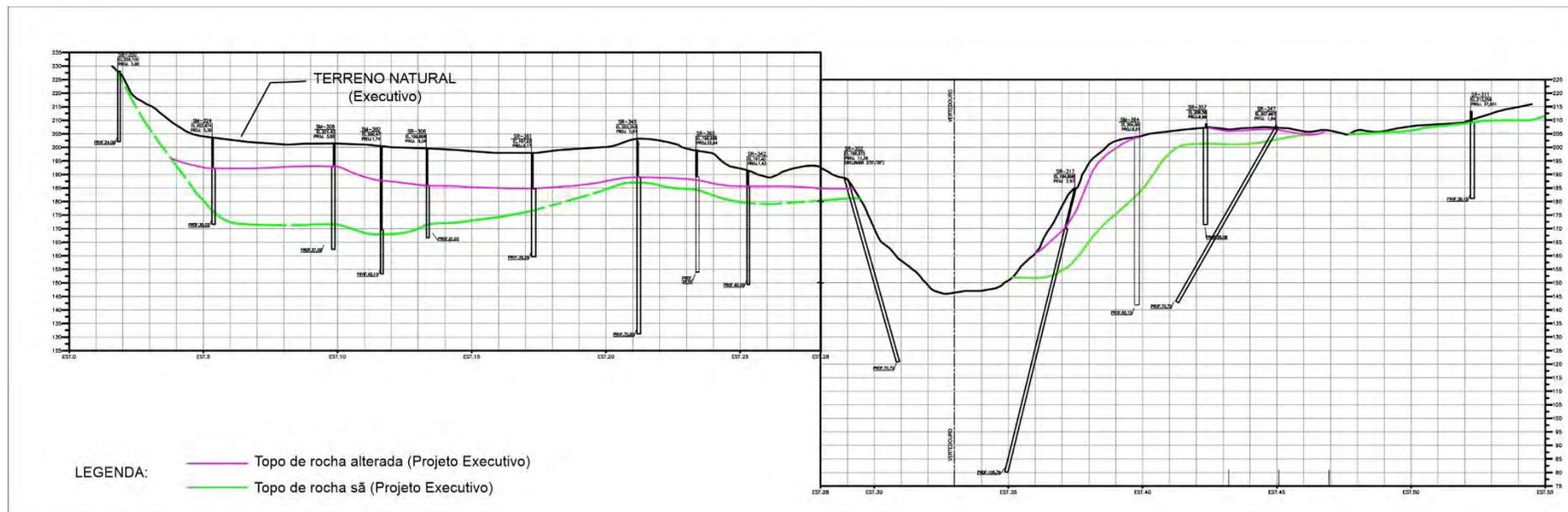


Figura 19 - Seção geológica-geotécnica simplificada do projeto executivo do modelo B. Representação em roxo, linha de topo de rocha alterada e em verde, linha de topo de rocha sã. Baseado nos dados da empresa.

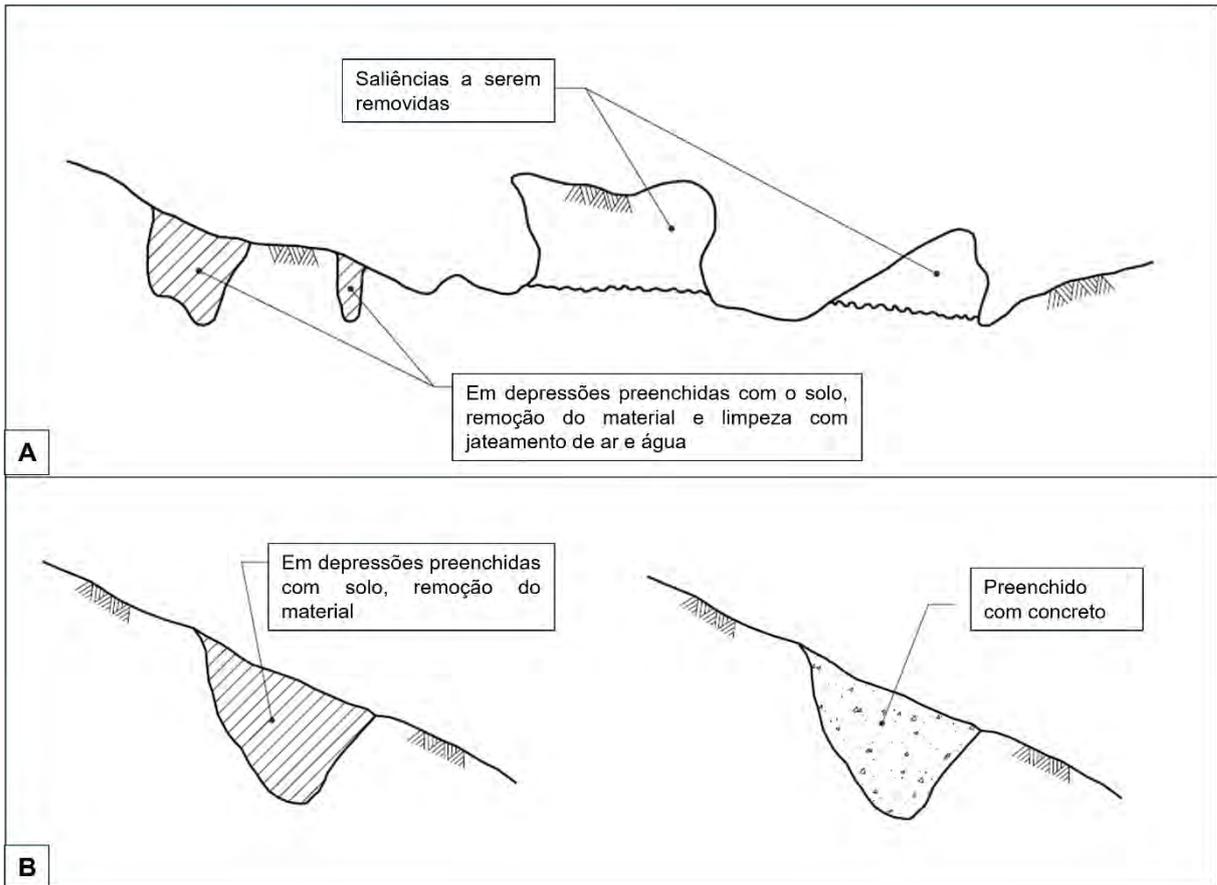


Figura 20 – Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações irregulares em rocha. B) Fundação com depressões e canais estreitos. Adaptado do banco de dados da empresa.

Adicionalmente, foram executadas a limpeza de juntas e fraturas, em seguida do preenchimento dessas cavidades com concreto e argamassa, conforme ilustrado no esquema A da Figura 21. A remoção de taludes íngremes, verticais, negativos e fraturados, por meio de escavação, foi necessária para aplainar a topografia e para fornecer maior suporte à resistência da estrutura, como demonstra o esquema B) na Figura 21.

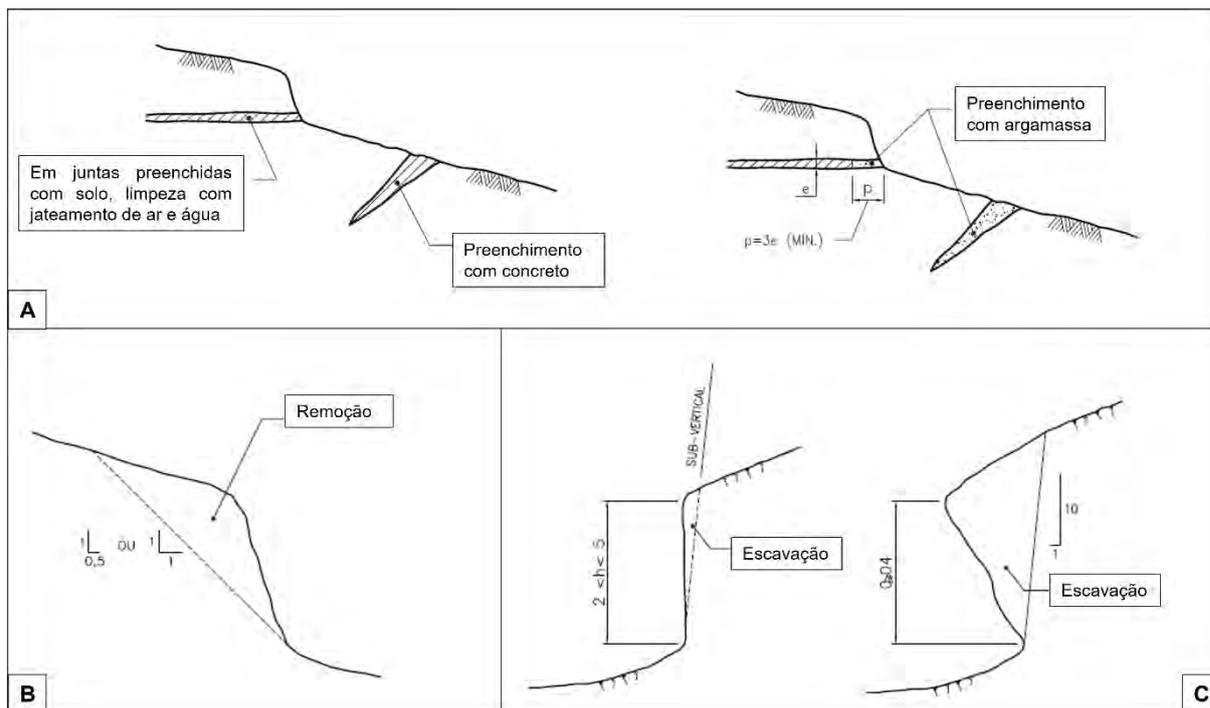


Figura 21 – Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações com discontinuidades abertas localizadas. B) Fundação com taludes íngremes. C) Fundações com taludes verticais negativos. Adaptado do banco de dados da empresa.

Além dos tratamentos indicados, destacou-se a importância da execução de uma cortina de injeção ao longo do eixo da barragem, com o objetivo de preencher zonas mais fraturadas. No total, foram realizadas nove seções de injeções, envolvendo furos exploratórios, primários, secundários e terciários, atingindo uma profundidade máxima de 35 metros. O tratamento foi realizado por meio de uma única linha de furos, no qual segundo Costa (2012) foram alinhados ao longo do eixo da barragem, conforme ilustra na Figura 22.

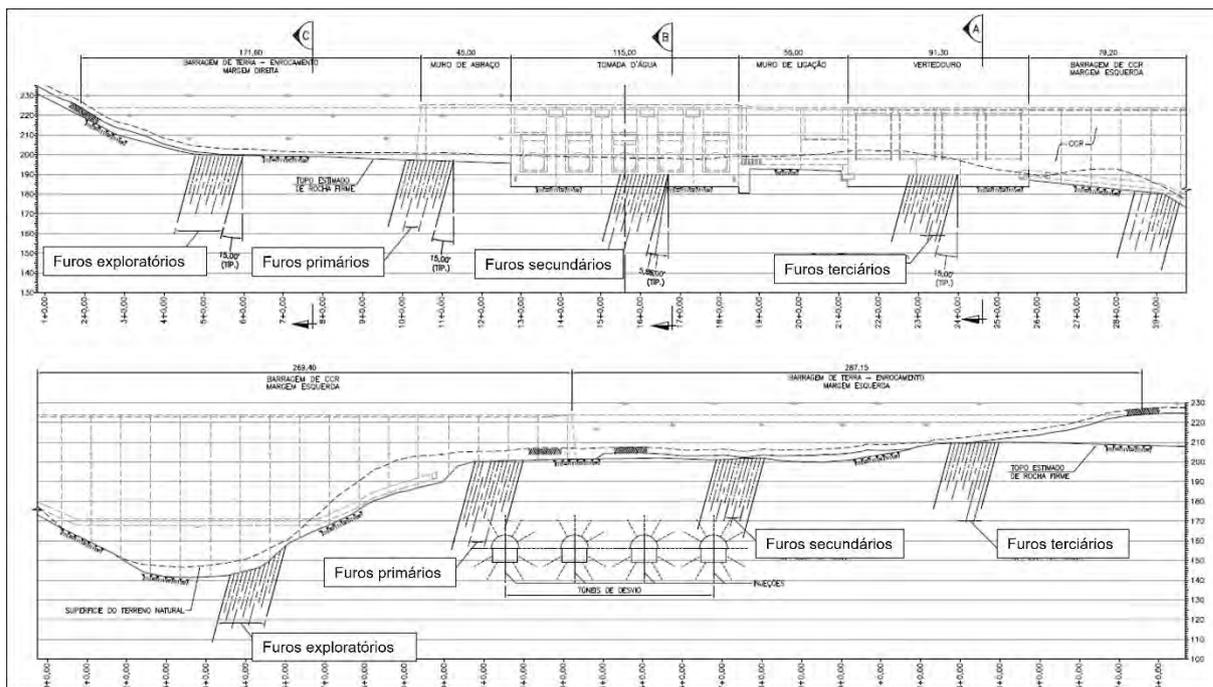


Figura 22 – Cortina de injeções, com furos exploratórios, primários, secundários e terciários ao longo do eixo de barramento. Adaptado do banco de dados da empresa.

4.2. Modelo B

O modelo B apresenta uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH), com duas barragens de aterro compactado em solo argiloso e areno-siltoso, provenientes das áreas de empréstimos, e considera estruturas de concreto na margem esquerda do rio, como o vertedouro, casa de força, subestação e tomada d'água (Figura 23), na Figura 24 é apresentado o arranjo geral do modelo B. O modelo B compreende as seguintes fases: projeto pré-executivo e projeto executivo.



Figura 23 - Representação das principais estruturas da barragem do modelo A. Modificado da base de dados da empresa.

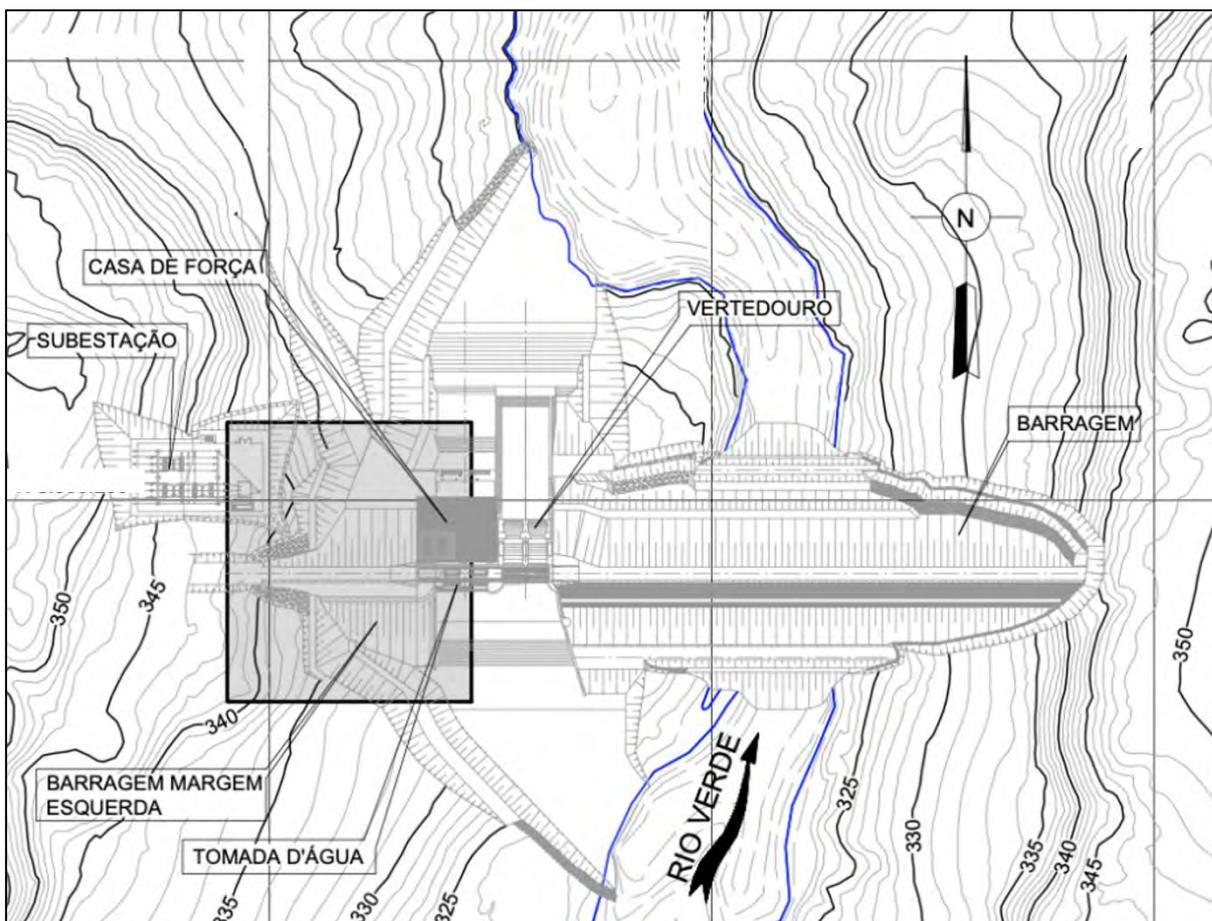


Figura 24 - Arranjo geral do modelo B, representando de forma esquemática as principais estruturas da barragem. Retângulo cinza representando a área da barragem da margem esquerda. Adaptado do banco de dados da empresa.

O barramento possui duas seções, uma na margem esquerda e outra na margem direita, com o vertedouro operando em uma seção central como ilustra a Figura 25.

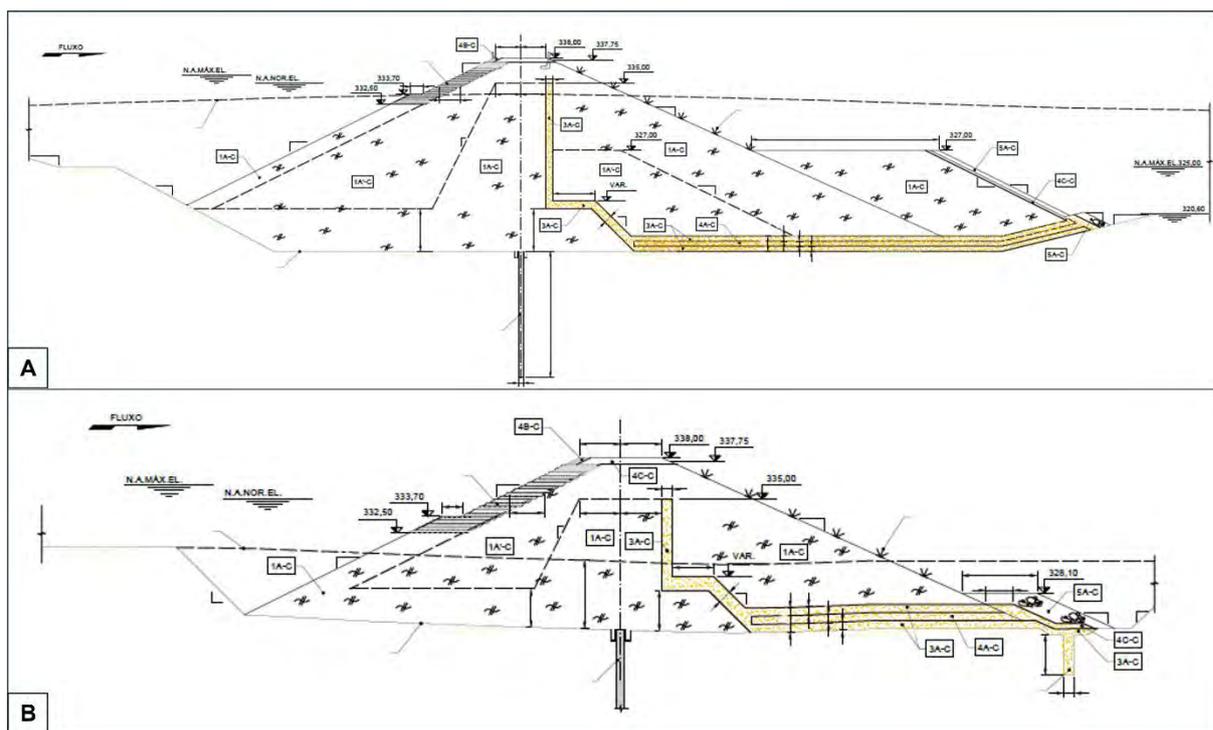


Figura 25 – Arranjo esquemático das barragens de aterro, onde em A) representa a seção típica da barragem na margem esquerda e em B) a seção típica da barragem na margem direita. Adaptado do banco de dados da empresa.

4.2.1. Investigações geológicas

As investigações foram realizadas no projeto pré-executivo e no projeto executivo, divididas dentro dessas fases em várias campanhas, por meio de sondagens a trado (ST), percussão (SP), mistas (SM) e trincheiras (TR). A Tabela 7 e Tabela 8 apresentam a relação das sondagens realizadas em cada etapa, a cota do terreno e profundidade da perfuração. Conforme descrito previamente, as coordenadas das sondagens executadas serão mantidas em sigilo. No Anexo I é apresentado a planta de localização, que mostram as sondagens executadas na fase pré-executiva, não representadas as sondagens realizadas a trado, já na fase executiva não foi encontrado uma atualização da planta de localização com as sondagens adicionais.

Tabela 7 - Relação das sondagens executadas na fase pré-executivo. Dados cedidos da base da empresa.

Sondagem	Cota	Profundidade	Sondagem	Cota	Profundidade
ST-101	-	5,00	SP-09	326,93	10,45
ST-102	-	5,00	SP-10	328,77	10,45
ST-103	-	5,00	SP-11	324,46	10,45

ST-104	-	5,00	SP-12	324,58	15,45
ST-105	-	5,00	SP-13	329,52	15,45
ST-106	-	5,00	SP-201	336,00	10,45
ST-107	-	5,00	SP-202	331,10	10,45
ST-108	-	5,00	SP-203	323,50	10,45
ST-109	-	5,00	SP-204	-	10,45
ST-110	-	5,00	SP-205	-	10,45
ST-111	-	5,00	SM-201	-	20,06
ST-301	-	5,00	SM-202	-	30,35
ST-302	-	5,00	SM-203	-	18,66
ST-303	-	5,00	SM-204	-	30,28
ST-304	-	5,00	SM-205	-	30,12
ST-305	-	5,00	SM-206	-	35,41
ST-306	-	5,00	SM-207	-	20,45
ST-307	-	5,00	SM-208	-	20,22
ST-308	-	5,00	SM-209	-	35,45
ST-309	-	5,00	SM-210	-	9,78
ST-310	-	5,00	SP-304	332,00	10,45
ST-311	-	5,00	SP-305	329,00	10,45
ST-312	-	5,00	SP-306	325,00	10,45
ST-313	-	5,00	SP-307	322,86	10,45
ST-314	-	5,00	SP-308	323,91	10,45
ST-315	-	5,00	SM-03	323,49	12,36
ST-316	-	5,00	SM-04	321,81	15,44
ST-317	-	5,00	SM-05	327,30	16,54
ST-318	-	5,00	SM-06	329,64	20,36
ST-319	-	5,00	SM-201	328,30	20,06
ST-320	-	5,00	SM-202	321,00	30,35
ST-321	-	5,00	SM-203	320,00	18,66
ST-322	-	5,00	SM-203 A	-	21,66
ST-323	-	5,00	SM-204	-	30,28
ST-324	-	5,00	SM-205	331,80	30,12
ST-325	-	5,00	SM-206	-	35,41
ST-326	-	5,00	SM-207	-	20,45
ST-327	-	5,00	SM-208	-	20,22
ST-328	-	5,00	SM-209	339,50	35,45
ST-329	-	5,00	SM-210	333,30	9,78
ST-330	-	5,00	SM-301	335,30	20,57
ST-331	-	5,00	SM-302	335,42	20,11
ST-332	-	5,00	SM-303	329,87	20,00
ST-333	-	5,00	SM-304	330,32	28,00

ST-334	-	5,00	SM-305	330,22	35,05
ST-335	-	5,00	SM-306	328,34	28,00
ST-336	-	5,00	SM-307	326,91	25,50
ST-337	-	5,00	SM-308	320,68	15,00
ST-338	-	5,00	SM-309	321,78	15,00
ST-339	-	5,00	SM-311	321,60	15,00
ST-340	-	5,00	SM-313	330,76	15,00
ST-341	-	5,00	SM-314	322,53	15,00
ST-342	-	5,00	TR-301	-	4,00
SP-01	346,67	10,45	TR-302	-	4,00
SP-02	331,12	10,45	TR-303	-	4,00
SP-05	327,30	20,39	TR-304	-	4,00
SP-07	332,28	10,45	TR-305	-	4,00
SP-08	341,79	10,45	TR-306	-	4,00

Tabela 8 - Relação das sondagens executadas na fase executivo. Dados cedidos da base da empresa..

Sondagem	Cota	Profundidade	Sondagem	Cota	Profundidade
ST-401	-	5,00	ST-426	-	5,00
ST-402	-	5,00	ST-427	-	5,00
ST-403	-	5,00	ST-428	-	5,00
ST-404	-	5,00	ST-429	-	5,00
ST-405	-	5,00	ST-430	-	5,00
ST-406	-	5,00	ST-431	-	5,00
ST-407	-	5,00	ST-432	-	5,00
ST-408	-	5,00	ST-433	-	5,00
ST-409	-	5,00	ST-434	-	5,00
ST-410	-	5,00	ST-435	-	5,00
ST-411	-	5,00	ST-436	-	5,00
ST-412	-	5,00	ST-437	-	5,00
ST-413	-	5,00	ST-438	-	5,00
ST-414	-	5,00	ST-439	-	5,00
ST-415	-	5,00	ST-440	-	5,00
ST-416	-	5,00	ST-441	-	5,00
ST-417	-	5,00	ST-442	-	5,00
ST-418	-	5,00	SM-501	331,75	35,95
ST-419	-	5,00	SM-502	332,43	36,45
ST-420	-	5,00	SM-503	331,55	35,30
ST-421	-	5,00	SM-504	329,93	24,95
ST-422	-	5,00	SM-505	330,00	24,95

ST-423	-	5,00	TR-401	-	4,00
ST-424	-	5,00	TR-402	-	4,00
ST-425	-	5,00	TR-403	-	4,00

4.2.2. Geologia Local – Unidades geológico-geotécnicas

A PCH do modelo B apresenta as seguintes unidades geológico-geotécnicas presentes na área de empreendimento: aluvião, colúvio, solos residuais, lateritas e maciço rochoso.

Os depósitos aluvionares identificados na área do empreendimento foram localizados nas margens do rio, compondo por areia fina, apresentando seixos de quartzo e blocos de silexito. Os depósitos coluvionares e solos residuais ocorrem nas ombreiras, caracterizadas por uma composição arenítica de matriz fina e argilosa, de alta permeabilidade e baixa resistência a penetração, e são frequentemente associados a pedregulhos e níveis de seixos e cascalhos. Em cota mais elevada, são observadas coberturas lateríticas descontínuas, por vezes ferruginosas, associadas a antigas superfícies de erosão.

O maciço rochoso presente na fundação da PCH é formado por rochas sedimentares, representada por área de arenitos de granulação fina intercalados com argilitos avermelhados. Essas rochas apresentam-se geralmente brandas/friáveis e muito alteradas. Na Figura 26 observamos trechos de testemunhos de sondagens realizados ao longo do eixo do barramento de material argiloso e friável que compõe a fundação.

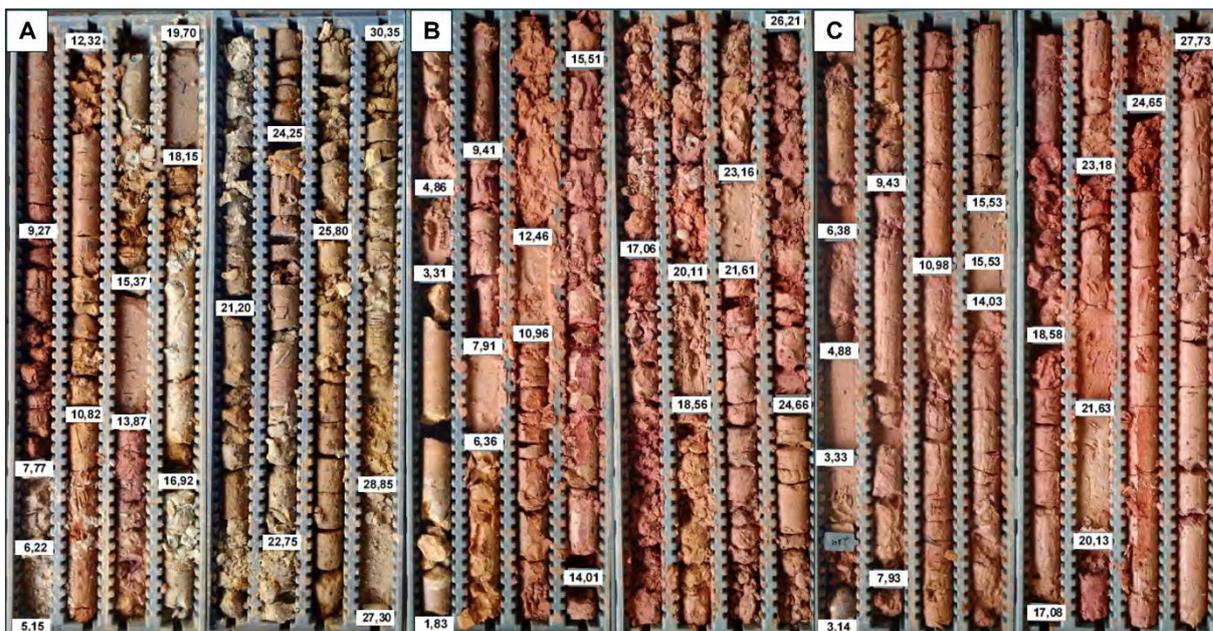


Figura 26 – Aspecto geral dos testemunhos de sondagens realizados ao longo do eixo do barramento. A) Testemunho da sondagem SM-202; B) Testemunho da sondagem SN-203. C) Testemunho da sondagem SM-209. Retirado da base de dados disponibilizado pela empresa.

4.2.3. Seções geológico-geotécnicas – Barramento

Para o modelo B, foram identificadas duas seções geológico-geotécnicas dispostas nas seguintes fases: projeto pré-executivo e projeto executivo. As seções na íntegra estão disponibilizadas no Anexo II.

As seções geológico-geotécnicas do projeto pré-executivo e executivo foram sobrepostas, e estão representadas nas Figura 28 e Figura 29. Para a comparação foram identificadas linhas de topo de rocha alterada e topo de rocha sã. Visualmente notam-se as seguintes diferenças entre as seções:

- Substituição das sondagens SM-105 para SM-501 e SM-305 para SM-504, SR-05, SR-07 e SR-101, do projeto pré-executivo para o projeto executivo e alteração no limite de solo residual (Figura 27). As linhas de topo de rocha alterada e topo de rocha sã permaneceram as mesmas em ambas as fases, inclusive os limites litológicos. Houve uma alteração na linha de solo medianamente compacto de $N_{spt} > 9$.

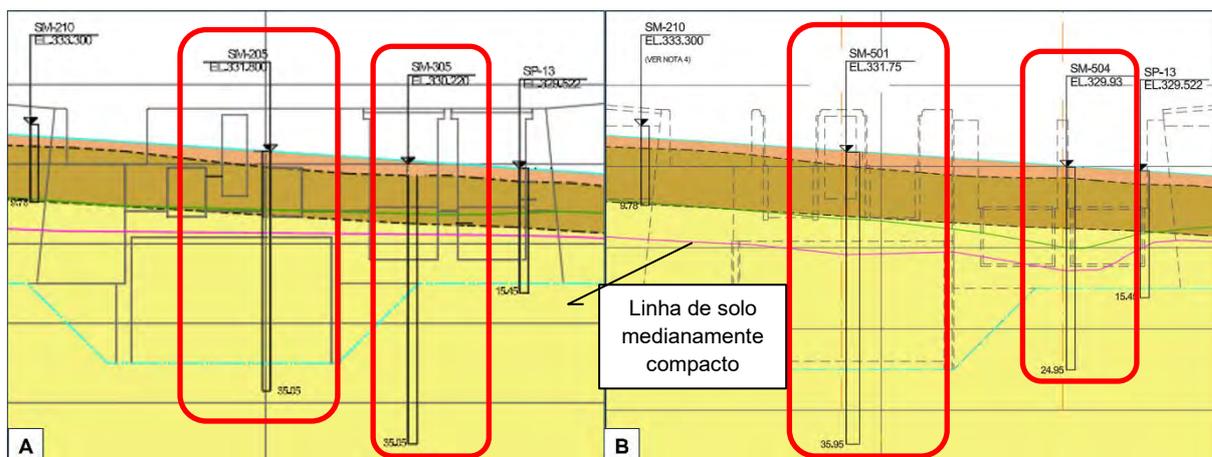


Figura 27 – Substituições das sondagens e alteração na linha de solo medianamente compacto representada pela linha de cor magenta. A legenda na íntegra se encontra no anexo II. A) Sondagem SM-205 e SM-305 no projeto pré-executivo. B) Sondagem SM-501 e SM-504 no projeto executivo. Baseado nos dados da empresa.

Por se tratar de rochas sedimentares, a região do barramento é composta por um maciço extremamente friável, caracterizado por baixa recuperação durante as sondagens, o que dificultou a realização dos ensaios de permeabilidade. As sondagens evidenciaram perdas significativas do material recuperado em profundidades relativamente altas, provavelmente associadas a camadas de baixa coerência (friáveis) e com permeabilidade desconhecida, já que não foi possível realizar ensaios nesses horizontes. Na área das estruturas, foram realizados ensaios SPT em profundidade, os quais indicaram a presença de material medianamente compacto a compacto na cota de escavação da fundação. Com base nesses dados e na variabilidade granulométrica do solo, foi adotada uma permeabilidade estimada para as análises de fluxo.

Para controlar o fluxo e prevenir percolações na fundação da barragem, optou-se pela implantação de uma parede diafragma, posicionada na região do núcleo impermeável da estrutura sobre o maciço permeável. Devido à baixa coerência esperada nos maciços rochosos que compõem as fundações das estruturas de concreto, a superfície de fundação foi protegida após sua exposição. Essa proteção foi realizada por meio da aplicação de uma camada de concreto e argamassa, a partir de cortinas de injeções (arranjo não detalhado), garantindo condições geomecânicas adequadas e minimizando os riscos de processos erosivos e deterioração do maciço exposto.

MODELO B - SEÇÃO EIXO DO BARRAMENTO - PRÉ EXECUTIVO

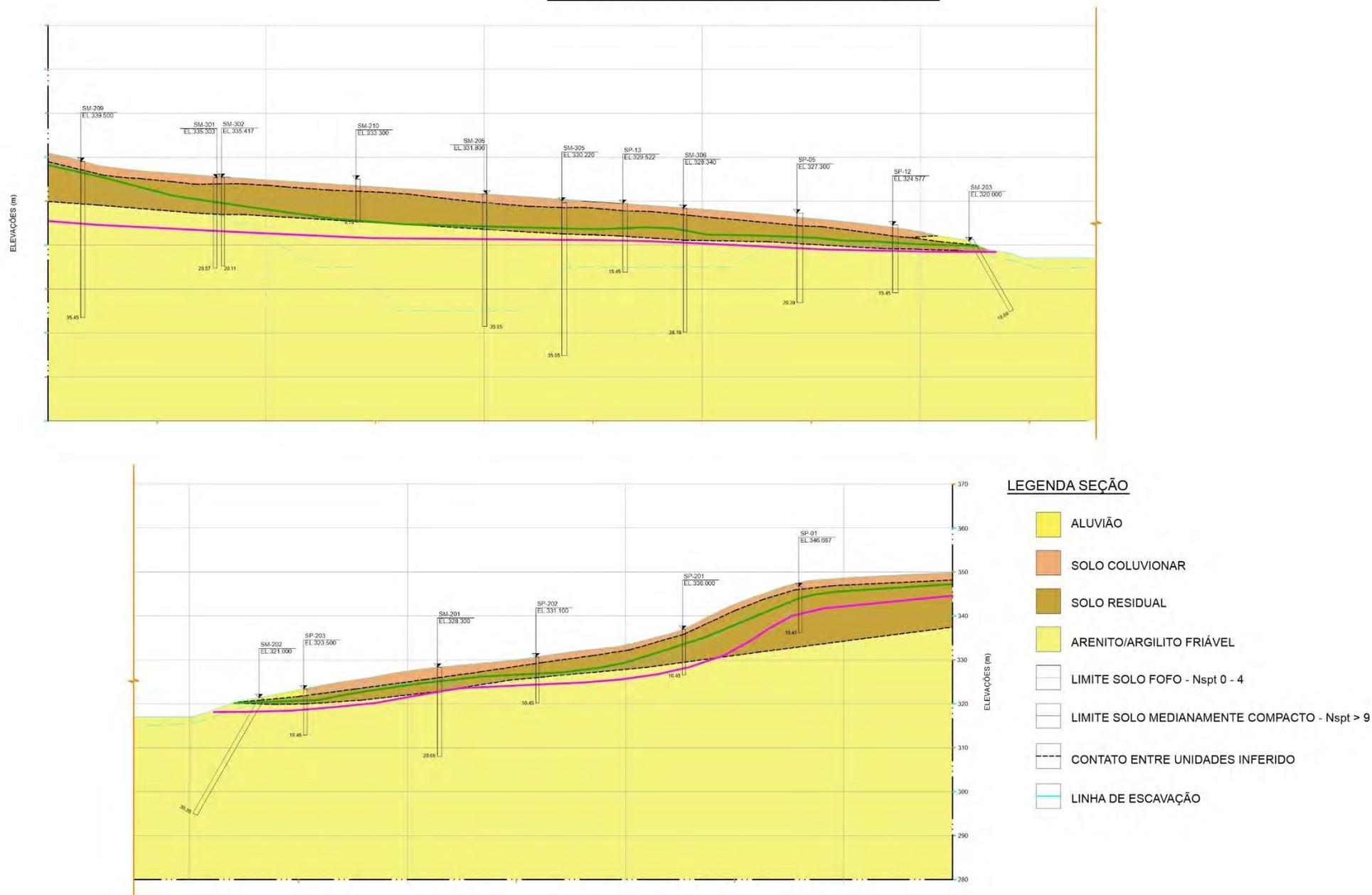
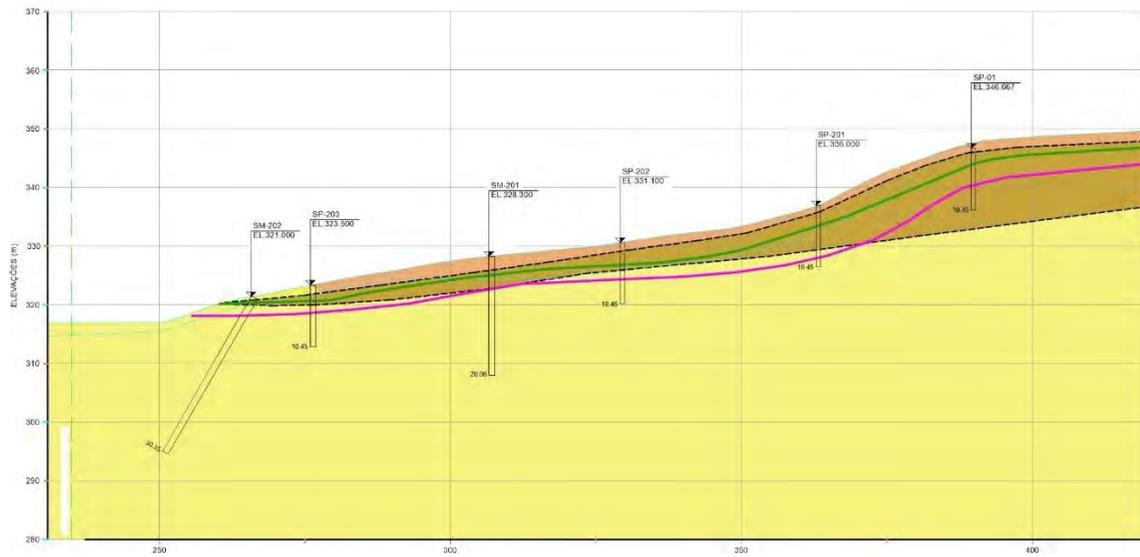
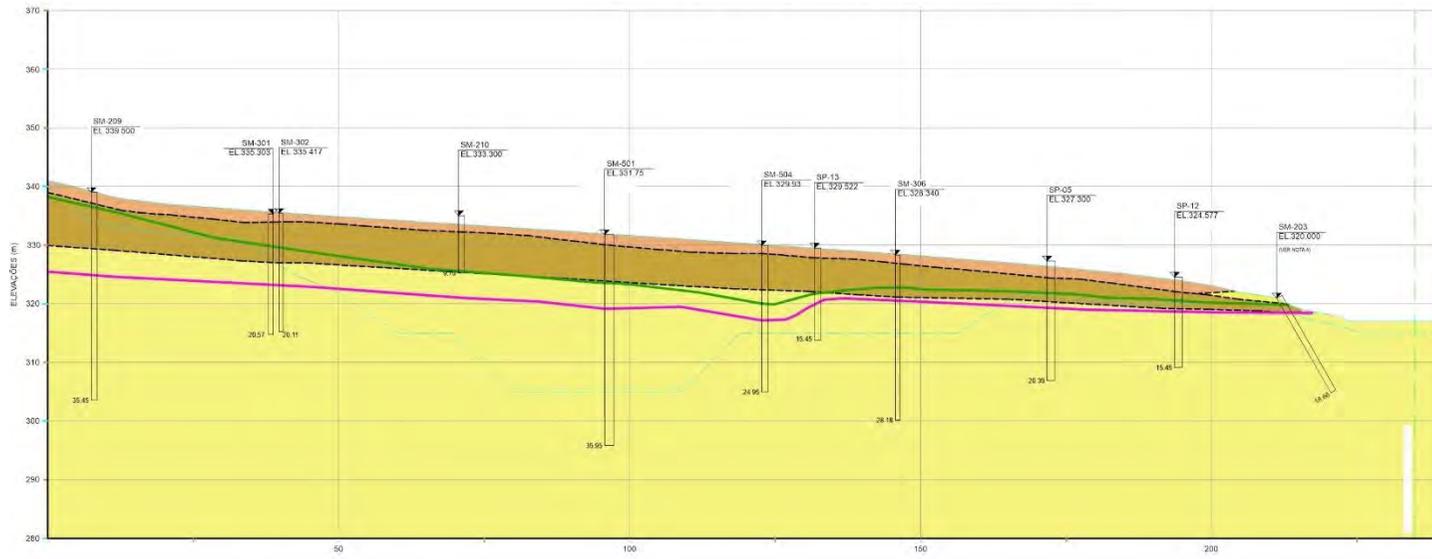


Figura 28 - Seção geológica-geotécnica do projeto pré-executivo do modelo B. Baseado nos dados da empresa.

MODELO B - SEÇÃO EIXO DO BARRAMENTO - EXECUTIVO



LEGENDA SEÇÃO

- ALUVIÃO
- SOLO COLUVIONAR
- SOLO RESIDUAL
- ARENITO/ARGILITO FRIÁVEL
- LIMITE SOLO FOFO - Nspt 0 - 4
- LIMITE SOLO MEDIANAMENTE COMPACTO - Nspt > 9
- CONTATO ENTRE UNIDADES INFERIDO
- LINHA DE ESCAVAÇÃO

Figura 29 - Seção geológica-geotécnica do projeto executivo do modelo B. Baseado nos dados da empresa.

4.2.4. Tratamentos

Os procedimentos realizados na fundação ao longo do eixo da barragem consistiram no preenchimento e nivelamento de cavidades com material granular, material alterado com núcleo argiloso e com concreto, como demonstra no esquema Figura 30. Não foram encontrados arranjos de cortina de injeção ao longo do eixo do barramento do modelo B.

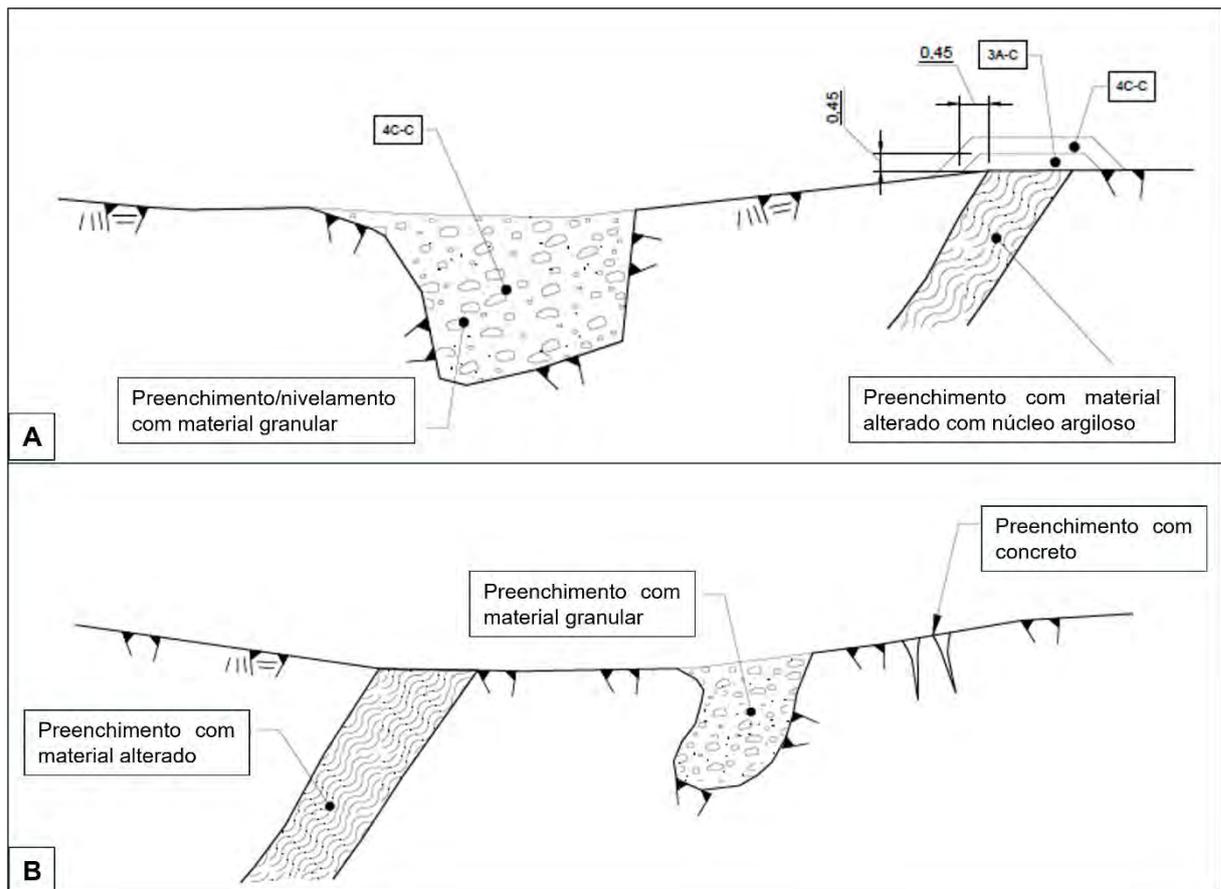


Figura 30 - Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações com cavidades abertas localizadas. B) Fundações com cavidades abertas e trincas. Adaptado do banco de dados da empresa.

Além disso, houve o preenchimento de trincas e juntas por meio de concreto e argamassa, como ilustra o esquema A) da Figura 31. A remoção de taludes íngremes e verticais, por meio de escavação, foi necessária para aplainar a topografia e para fornecer maior suporte à resistência da estrutura, como demonstra o esquema B) da Figura 31.

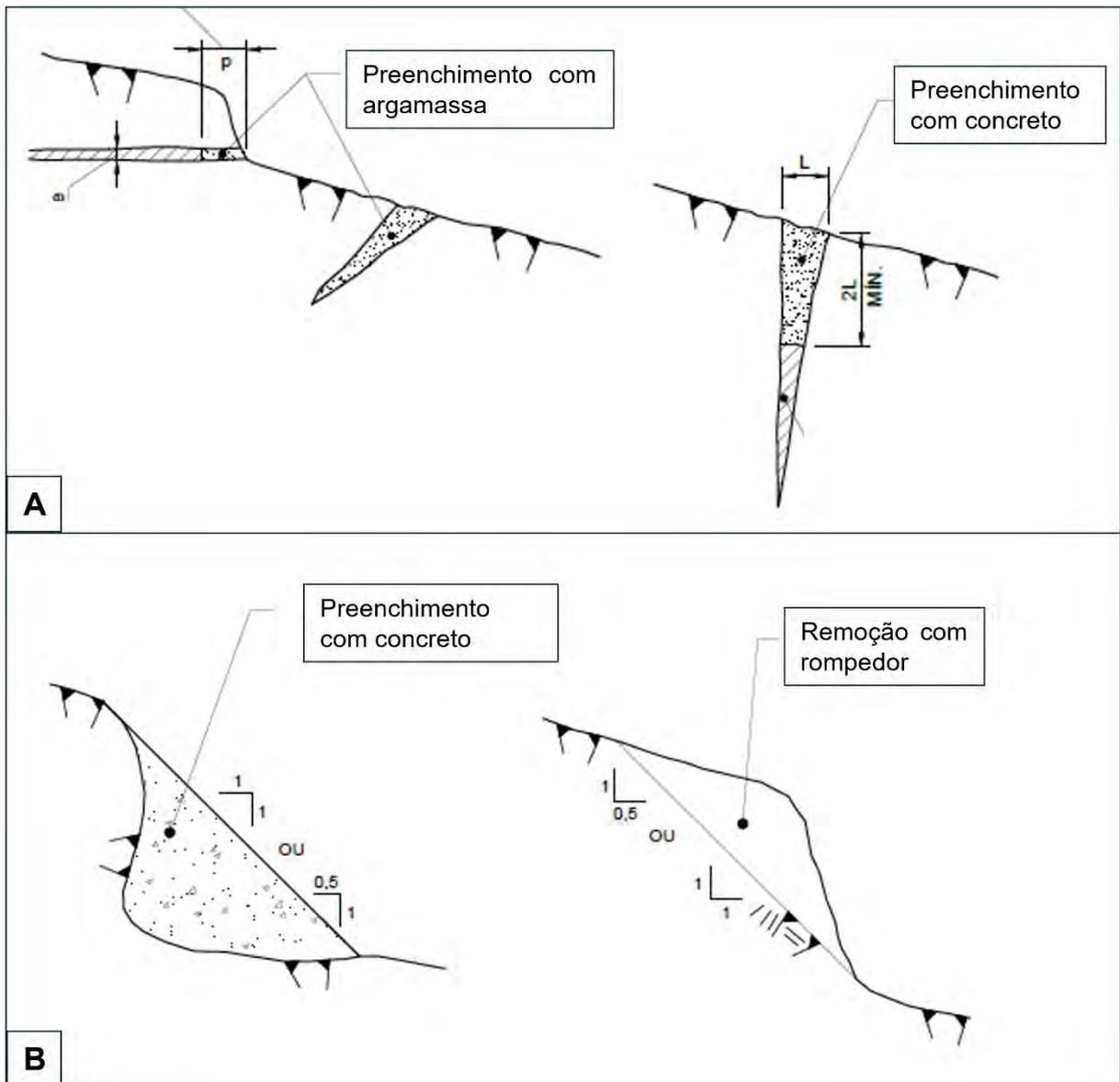


Figura 31 - Esquema ilustrativo de tratamentos superficiais realizados nas fundações. A) Fundações com trincas e juntas B) Fundações com taludes íngremes e verticais. Adaptado do banco de dados da empresa.

4.3. Discussões

Os modelos analisados destacam a importância de um detalhamento adequado nas investigações geológico-geotécnicas realizadas nas fases iniciais da construção das barragens. Segundo Costa (2012) a fundação, sendo o meio que suporta toda a estrutura, desempenha um papel crucial na estabilidade da barragem, tornando indispensável a identificação precisa de suas características e do comportamento dos materiais que a compõem. Investigações inadequadas podem resultar em problemas significativos, comprometendo a segurança e o desempenho da obra.

Apenas a realização dos programas de investigações não é suficiente para garantir a qualidade das informações obtidas. Um programa mal planejado ou insuficiente pode falhar na identificação das características litológicas e geomecânicas da fundação, resultando em interpretações equivocadas sobre o comportamento da fundação projetada. Podemos exemplificar a partir de um número insuficiente de sondagens em áreas extensas com materiais heterogêneos, como ilustrado na Figura 32, ou a ausência de sondagens em fundações com materiais variados, conforme representado na Figura 33 (Miltitsky, 2015).

Os resultados das investigações devem refletir as condições reais das propriedades do material da fundação. Para isso, é fundamental que o programa de investigações seja bem estruturado, considerando a complexidade geológica do local, o tipo de barragem e os requisitos técnicos necessários (Helene, 1992). Esse cuidado é essencial para a prevenção de problemas estruturais.

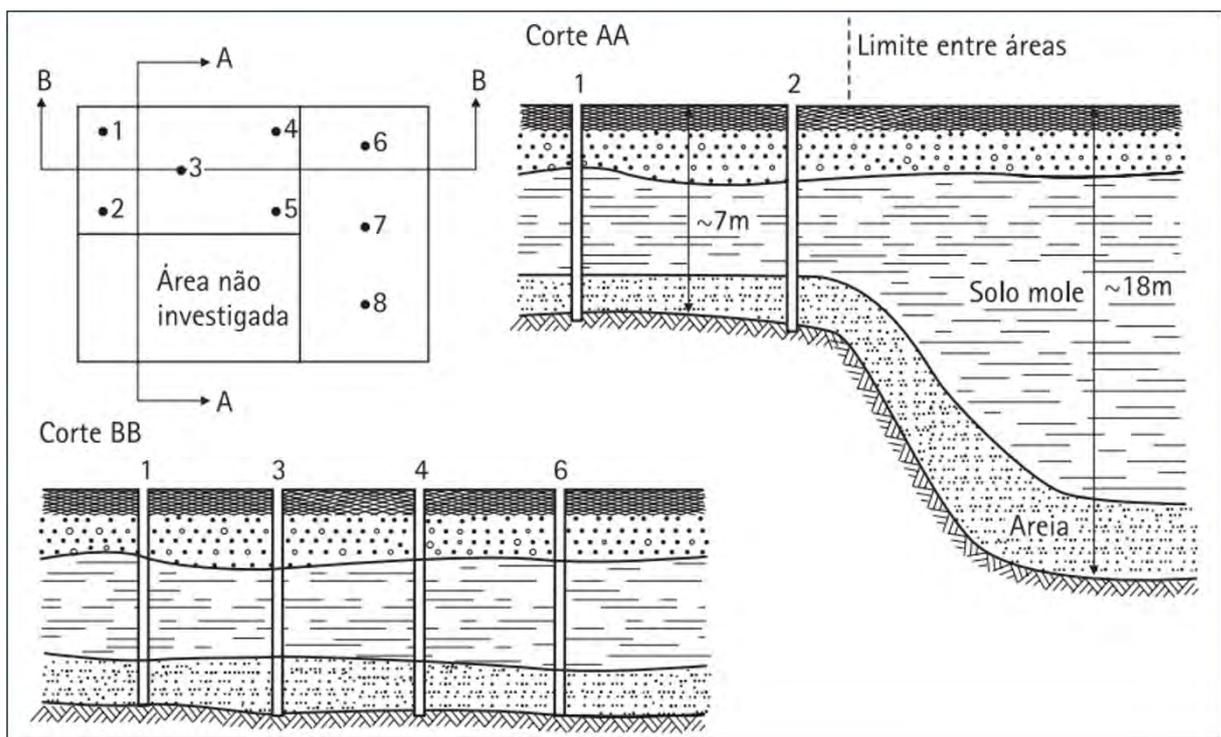


Figura 32 - Número insuficiente de sondagens. Área não investigada com subsolo distinto. Adaptado de Miltitsky (2015).

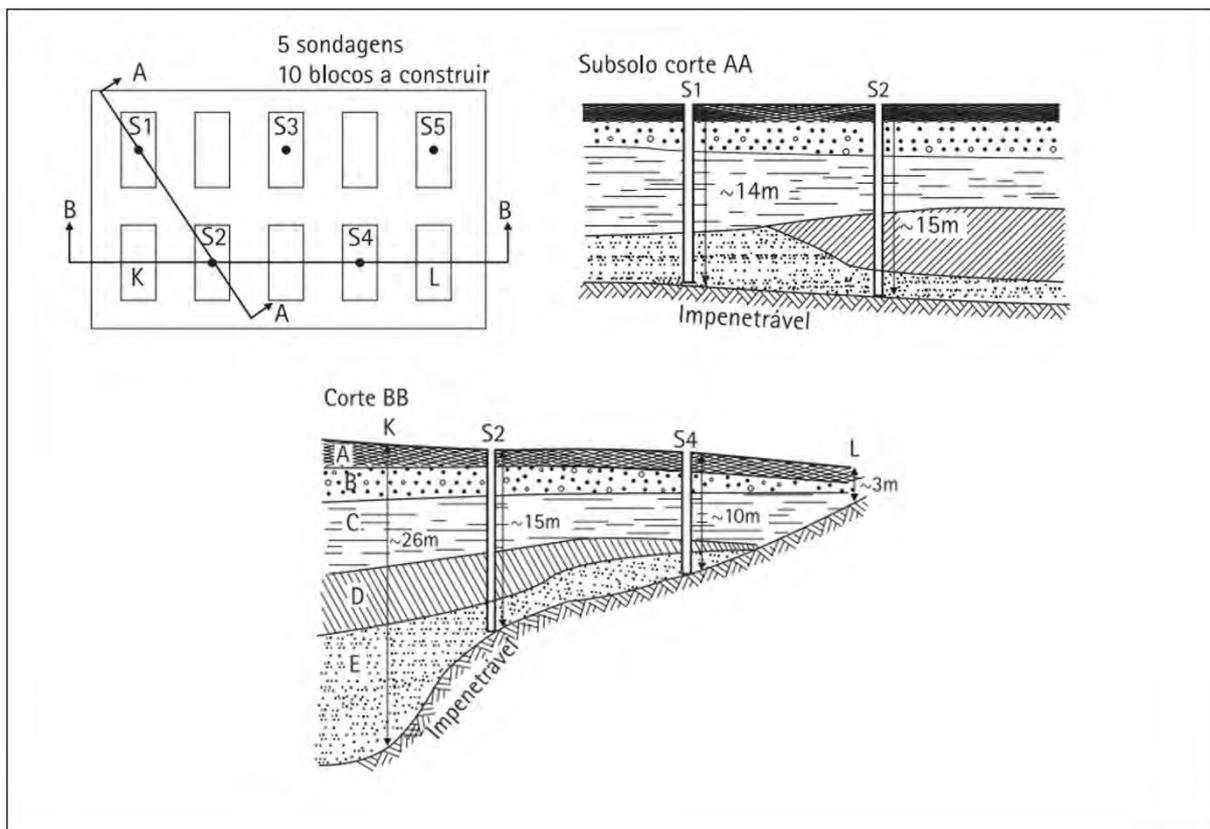


Figura 33 - Número insuficiente de sondagens. Áreas extensas e de subsolo variado. Adaptado de Miltitsky (2015).

Os modelos apresentados evidenciam um número reduzido de investigações nas fases iniciais dos projetos, comparado as demais fases, supostamente devido a estratégias de contenção de custos ou à incerteza quanto à viabilidade da construção da barragem naquele local. No modelo A, houve a necessidade de alteração do local do eixo do barramento para montante. Caso houvesse um detalhamento mais aprofundado nas investigações durante a fase de estudo de viabilidade, essa mudança possivelmente poderia ter sido evitada. Portanto, destaca-se a importância de realizar investigações nas fases iniciais em uma malha bem distribuída, e não apenas concentrada na área prevista para o barramento.

Segundo Hvorslev (1949), o planejamento detalhado das investigações é frequentemente desafiador, devido ao espaçamento, a profundidade das sondagens e os métodos empregados, não dependendo apenas da natureza do projeto, mas também do propósito geral da investigação e das condições dos materiais do subsolo. As campanhas de investigação são realizadas de forma progressiva, com cada etapa determinadas pelos resultados obtidos, que indicam a necessidade de um

detalhamento adicional ou não. Dessa forma, é difícil estabelecer regras fixas ou padrões de malha para essas investigações. No entanto, elas podem ser organizadas em quatro etapas principais:

- Apuração de fatos e levantamentos geológicos: utilizando métodos indiretos para obter informações preliminares;
- Reconhecimento ou exploração ampla: realizada com métodos semidiretos e diretos para caracterizar a área de construção da barragem;
- Exploração detalhada: empregando métodos diretos para coletar pequenas amostras indeformadas;
- Explorações especiais: com foco em grandes amostras indeformadas, também por métodos diretos.

Essa abordagem progressiva permite ajustar as investigações conforme as necessidades específicas do projeto, garantindo maior precisão e eficiência no desenvolvimento do modelo geológico-geotécnico.

Com base na análise das fases de cada projeto estudado, constatou-se a ausência da fase *As built* em ambos os modelos abordados. A fase *As built* é geralmente iniciada durante a execução da obra, com o objetivo de registrar os marcos principais do processo construtivo e eventuais alterações realizadas em relação ao projeto original (Eletrobras, 1987 e 2003). No entanto, observou-se que essa etapa nem sempre é documentada de forma clara, especialmente no que diz respeito às modificações no modelo geológico-geotécnico. Registros detalhados costumam ser realizados pelo geólogo responsável no momento da liberação dos trechos de fundações, uma prática recomendada em qualquer obra, porém, estas informações nem sempre são armazenadas em arquivos eletrônicos, ou apenas quando ocorrem alterações significativa que impactam diretamente a concepção ou a estabilidade da barragem, como no modelo A. Muitas vezes essas informações acabam se perdendo ou não sendo registrada no projeto executivo final.

A ausência de um registro na fase *As built* pode limitar as decisões tomadas ao longo da construção, dificultando análises futuras e a implementação de medidas corretivas ou preventivas em situações similares. Assim, destaca-se a importância de

adotar a execução da documentação dessa etapa, assegurando a continuidade das informações e a confiabilidade do histórico do projeto.

A organização dos documentos das diferentes fases dos projetos é essencial para garantir a eficiência, segurança e acessibilidade das informações. Porém muitos documentos se “perdem”, pois nem sempre a empresa e projetista na qual realizou o estudo de viabilidade realizará a última fase do projeto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho evidenciou a relevância das investigações geológico-geotécnicas no desenvolvimento de projetos para as fundações de barragens. Os estudos realizados demonstraram que a insuficiência de investigações nas fases iniciais do projeto pode comprometer significativamente os custos, os prazos e a segurança da obra, além de demandar alterações substanciais em fases mais avançadas.

A análise dos Modelos A e B mostrou como o detalhamento das investigações contribui para uma melhor compreensão das condições do maciço rochoso e das características litológicas, reduzindo incertezas e possibilitando o planejamento adequado dos tratamentos de fundação. Em ambos os casos, as mudanças no modelo geológico durante as fases do projeto foram associadas à execução de campanhas adicionais de sondagens, destacando a importância de um planejamento mais robusto desde os estudos preliminares.

Conclui-se que a integração de métodos de investigação modernos, como a modelagem tridimensional, é essencial para aprimorar a visualização e a interpretação dos dados geológico-geotécnicos, permitindo maior previsibilidade e eficiência nos projetos. A adoção de uma abordagem padronizada e progressiva nas investigações pode minimizar riscos, otimizar recursos e assegurar a estabilidade estrutural da barragem ao longo de sua vida útil.

Por fim, recomenda-se o investimento contínuo em tecnologia e na capacitação de profissionais para a implementação de modelos tridimensionais geológico-geotécnicos, destacando a importância de decisões embasadas em dados detalhados e confiáveis. Além disso, é essencial estabelecer um sistema integrado de gestão de documentos que englobe todas as fases dos projetos, assegurando eficiência, segurança e acessibilidade às informações. Esse sistema é crucial para evitar a perda

de documentos, especialmente considerando que a empresa ou projetista responsável pelo estudo de viabilidade nem sempre é a mesma que realiza as fases finais do projeto.

Também é recomendável iniciar o registro sistemático do projeto *As built* desde o início da fase executiva, documentando todas as alterações e avanços ocorridos ao longo do processo construtivo. Isso garante um histórico fiel do empreendimento, facilitando futuras análises e intervenções. Tais medidas são fundamentais para o sucesso, a sustentabilidade e a longevidade de empreendimentos de grande porte, como as barragens.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9604: São Paulo, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6122: São Paulo, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: São Paulo, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9603: São Paulo, 2023.

ARAÚJO, C. B. Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

ARCANJO, João Batista Alves. Fotogeologia: conceitos, métodos e aplicações. Salvador, 2011.

AZARONAK, N. *Building 3D models from geotechnical data. Master of Science Thesis in Geoinformatics TRITA-GIT EX 15-010. School of Architecture and the Built Environment Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm, Sweden, 2015.*

BRITO, W.; GOMES, C. Métodos de investigações geológica e geotécnica da fundação de barragens de concreto. Revista do CEDS (ISSN 2447-0112), n. 9, 13 p. 2018.

BUREAU OF RECLATION. *Hoover Dam information*. Arizona, 2024.

CASTRO, B., GARCIA, A. Cartografia geotécnica para a cidade de Palmas/TO. Palmas, 2017.

CAPUTO, H. P. Mecânica dos solos e suas aplicações: mecânica das rochas, fundações e obras de terra. 7. ed., Vol. 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2017.

CESAR, R. Barragens de Terra e de Enrocamento. Departamento de Engenharia Civil - UFOP, 2010.

COSTA, W. D. Geologia de Barragens. São Paulo: Oficina de Textos, 352 p. 2012.

CRUZ, P. 100 Barragens brasileiras: casos históricos, materiais de construção, projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 647 p. 1996.

DEERE, D. U. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years*. National Technical Information Service. Gainesville, Florida. 22 p.

ELETROBRÁS. Avaliação da Segurança de Barragens Existentes. *United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation*. Centro da Memória da Eletricidade no Brasil, Rio de Janeiro, 185 p. 1987.

ELETROBRAS. Critérios de Projeto Civil de Usinas Hidrelétricas. 1 ed. Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro, 95 p. 2003.

ELETROBRAS. Descrição do aproveitamento de Paulo Afonso IV. Paulo Afonso – Bahia, 2024.

EWERT, F. K. *Discussion of Rock Type Related Criteria for Curtain Grouting. Proceedings of the Third International Conference on Grouting and Ground Improvement, Reston, VA. ASCE Special Publicatio*. 120 p. 2003.

FILHO, C. Introdução a Geologia de engenharia. 3 ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 45 p. 2008.

GLOBAL ENERGY OBSERVATORY. *Hydroelectric Power Stations*. 2012.

HEIDEMANN, M. Apostila de fundações. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

HELENE, P. Manutenção para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2. ed. São Paulo: Pini, 1992.

HENRIQUE, P.; SANTANA, C. Métodos de investigações aplicados em obras de construções de barragens: Investigações geológico-geotécnicas para barragens. *Revista do CEDS (ISSN 2447-0112)*, n. 9, 16 p. 2018.

HOULSBY, A. C. *Construction and Design of Cement Grouting*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 468 p.1990.

HVORSLEV, M. J. (1949), *Subsurface Exploration and Sampling of Soils for Civil Engineering Purposes*, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss. 1949.

INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. *Number and purposes of registered dams*. 2023.

INSTITUTION OF ENGINEERS. Gordon Dam – *National Engineering Landmark – The Engineering Heritage Committee*. Australia, 2000.

ITAIPU BINACIONAL. Visão geral da barragem de Itaipu. Foz do Iguaçu, 2024.

KNAPPETT, J.A; CRAIG, R.F. Mecânica dos Solos. Tradução de Amir Elias Abdalla K. 8 Ed. Rio de Janeiro. LTC, 419 p. 2016.

KOSSOFF, D.; DUBLIN, W. E.; ALFREDSON, M.; EDWARDS, S. J.; MACKLIN, M. G. *Mine tailings dams: characteristics, failure, environmental impacts, and remediation*. *Applied Geochemistry*, 51, p. 229-245. 2014.

KUPERMAN, S. C.; CIFÚ, S. Projeto de Barragens de Concreto - Concreto e Construções, v. 34, n. 42, p. 82-96, 2006.

LEINZ, V.; AMARAL, S.E. Geologia Geral. São Paulo: Editora Nacional, 399 p. 1989.

LEVIS, S. D. Verificação da eficácia dos sistemas de vedação e drenagem em fundações de barragens de concreto. Dissertação – Escola de Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

LIRA, J. B. S. Importância de Estudos Geológicos para a Prevenção de Problemas na Engenharia Civil. Monografia (Bacharel em ciências e tecnologia). Universidade Federal Rural do Semiárido. Angicos, 39 p. 2013.

LOPES, M. B. Tratamento de Fundação para Barragens de Concreto. 1ª Edição, 185 p. Appris, 2020.

MARANGON, M. Tópicos em Geotecnia e Obras de Terra. Barragens de Terra e Enrocamento, Cap 5, 2004.

MARINHO, C. A. S. Estudos Geológicos Geotécnicos do AHE Simplício. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 98 p. 2007.

MASSAD, F. Obras de terra: curso básico de geotecnia. São Paulo: Oficina dos Textos, p. 170. 2010.

MELLO, Victor F. B.; TE IXEIRA, Alberto H. Mecânica dos Solos, Fundações e Obras de Terra. São Paulo: Escola de Engenharia de São Carlos, 1960.

MELO, R. Comportamento de percolação em barragens de enrocamento com núcleo em concreto asfáltico. XIV, 94 f. enc: II. 2012.

MIO, G. Diretriz Normativa ABGE 300/2024: BIM Geotécnico: Níveis de Confiabilidade de Investigações Geológico-Geotécnicas. 1ª Edição, 28 p. São Paulo: ABGE, 2024.

MORAIS, L. P.; ARAÚJO, A. E. S.; LOPES, B. C. F. L.; NETO, M. P. C. Análise De Sensibilidade Da Permeabilidade Horizontal No Comportamento de Solos Mole. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, [S. I.], p. 1-8, 2020.

OLIVEIRA, A.; BRITO, S. Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE, 586 p. 1998.

OLIVEIRA, A; MONTICELI, João J. Geologia de Engenharia e Ambiental. São Paulo: ABGE, 467 p. 2018.

PETRONE, P., ALLOCA, V., FUSCO, F. *Engineering geological 3D modeling and geotechnical characterization in the framework of technical rules for geotechnical design: the case study of the Nola's logistic plant (southern Italy)*. Bull. Eng. Geol. Environ.,82 p. 2023.

PFLUG, R.; HARBAUGH, J. W. *Three-dimensional computer graphics in modeling geologic structures and simulating geologic processes*. Berlim: Springer Verlag, 298 p. 1992.

READ, J.; STACEY, P. *Guidelines for Open Pit Sole Design*. Australia: Csiro Publishing, 510 p. 2009.

ROSA, S. D. Estudo dos Efeitos de Escala em Ensaios de Penetração Dinâmica. 176 f. Tese (Mestrado em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre 2008.

SCHREIBER, G. P., Usinas Hidrelétricas, ENGEVIX S.A., ed. Edgard Blücher Ltda.,Brasil, 1977.

SCHNEIDER, S. A. Dimensionamento e Análise de Estabilidade de Barragem de Gravidade em Concreto. Santa Cruz do Sul, 101 p. 2012.

SHERARD, J. L.; COOKIE, J. B. Barragens de enrocamento com face de concreto: avaliação, projeto. Tradução: Hamilton G. de Oliveira. São Paulo: Comitê Brasileiro de Barragens – Núcleo de São Paulo, 86 p. 2004.

SOARES, K. S. G., THULER, V., ÓRFÃO, R. B., & AMARANTE, M. S. Geologia Aplicada a Barragens. Revista Pesquisa e Ação, 5(2), 161-170 p. 2019.

SOUZA, M.M. Estudo para o projeto geotécnico da barragem de Alto Irani, SC. Abril de 2013.

SOUZA, D. F. M. Geologia aplicada a fundações de barragens: Barragem Governado Eduardo Henrique Accioly Campos, um estudo de caso, 2017.

TERZAGHI, K. e Peck, R. Mecânica do Solo na Prática de Engenharia. 2ª Edição, John Wiley, Nova York, 1967.

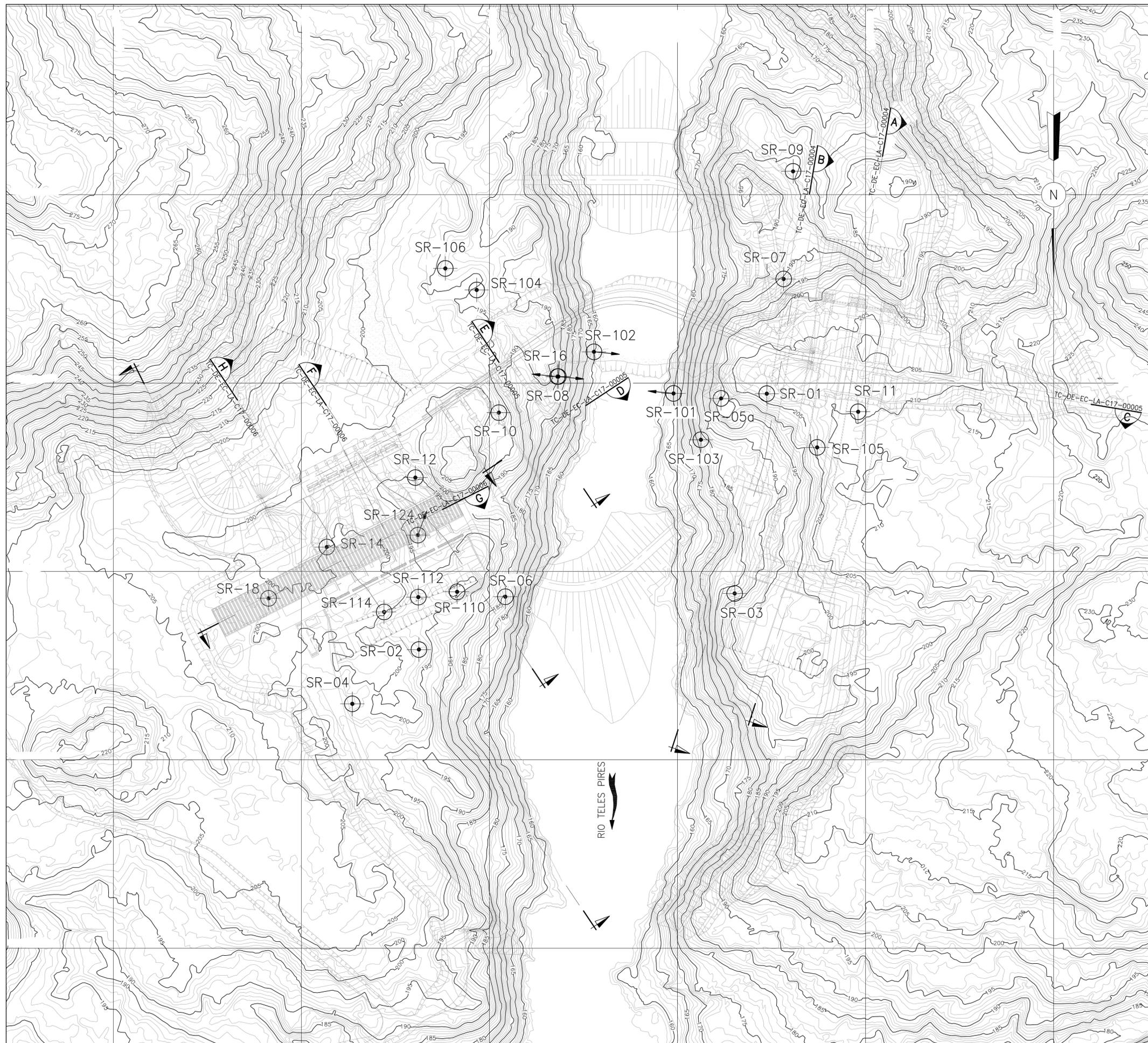
VIEIRA, J., *et al.* A Tecnologia do Concreto no Projeto e Construção de Usinas Hidrelétricas Brasileiras. Ano XXXIX nº 63, 15-23 p. 2011.

VELLOSO, D. A.; LOPES, F. R. Fundações: Critérios de Projeto, Investigação do Subsolo, Fundações Superficiais, Fundações Profundas. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

WEBBER, S., KILJEK, k. *Applying 3D Geological Modelling Techniques to Geotechnical Engineering Problems – Advantages, Pitfalls, and “Getting the Geology Right”*. NZGS/AGS 14 YGP Conference. Rotorua, Nova Zelandia, 7 p. 2022.

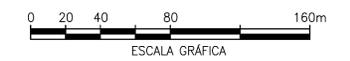
ZHONG, D.; LI, M.; SONG, L.; EANG, G. *Enhanced NURBS modeling and visualization for large 3D geoenvironmental applications: An example from the Jinping first-level hydropower engineering project, China – Computers Geosciences*, 14 p. 2005.

Anexo I – Plantas de Localização

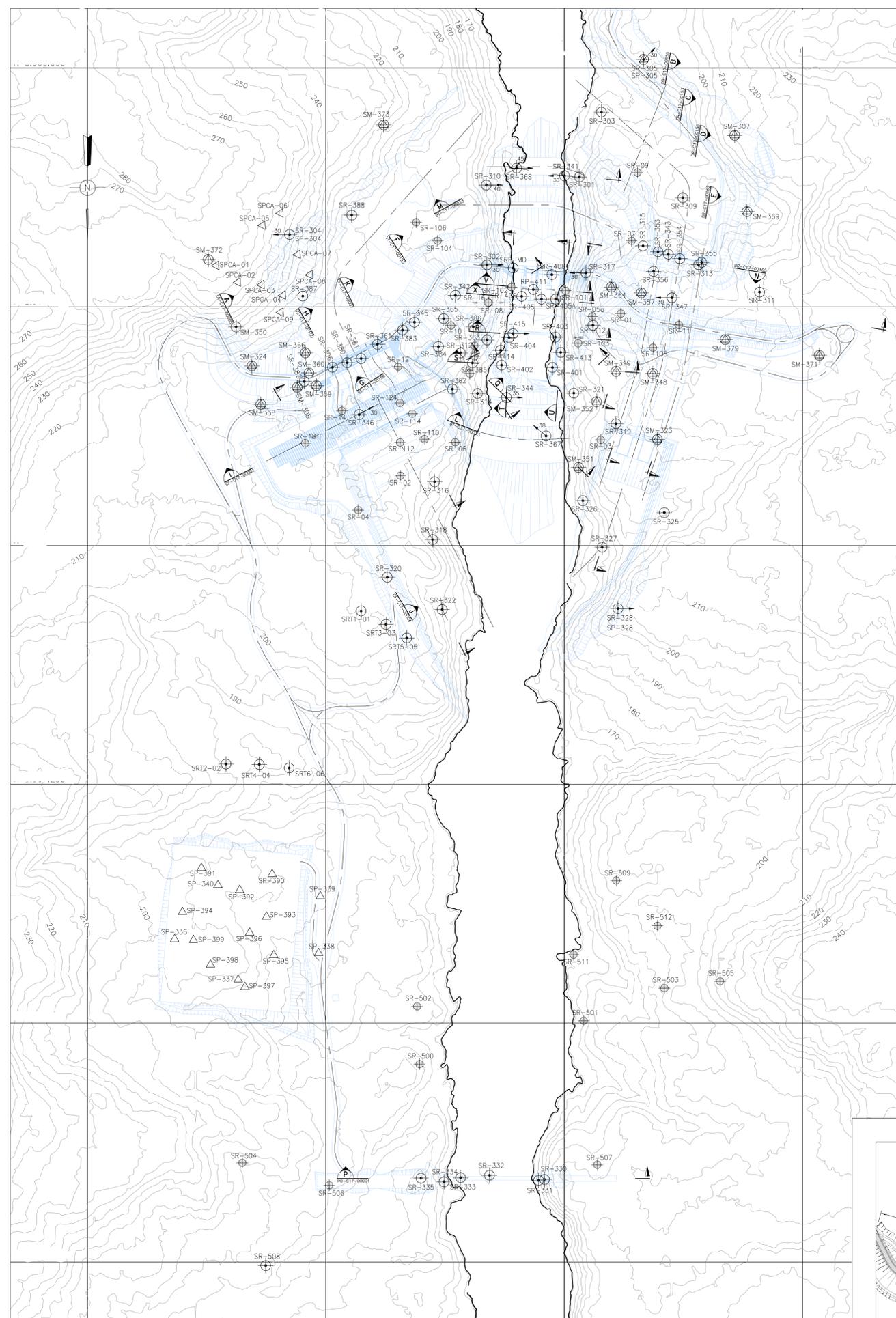


LEGENDA:

⊕ - SONDAGEM ROTATIVA EXECUTADA

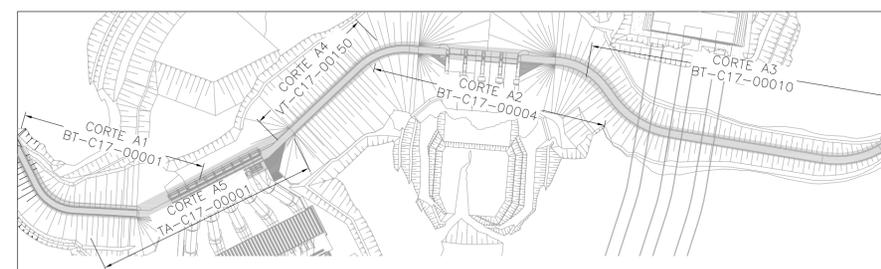


PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS
DO MODELO A - EXECUTIVO



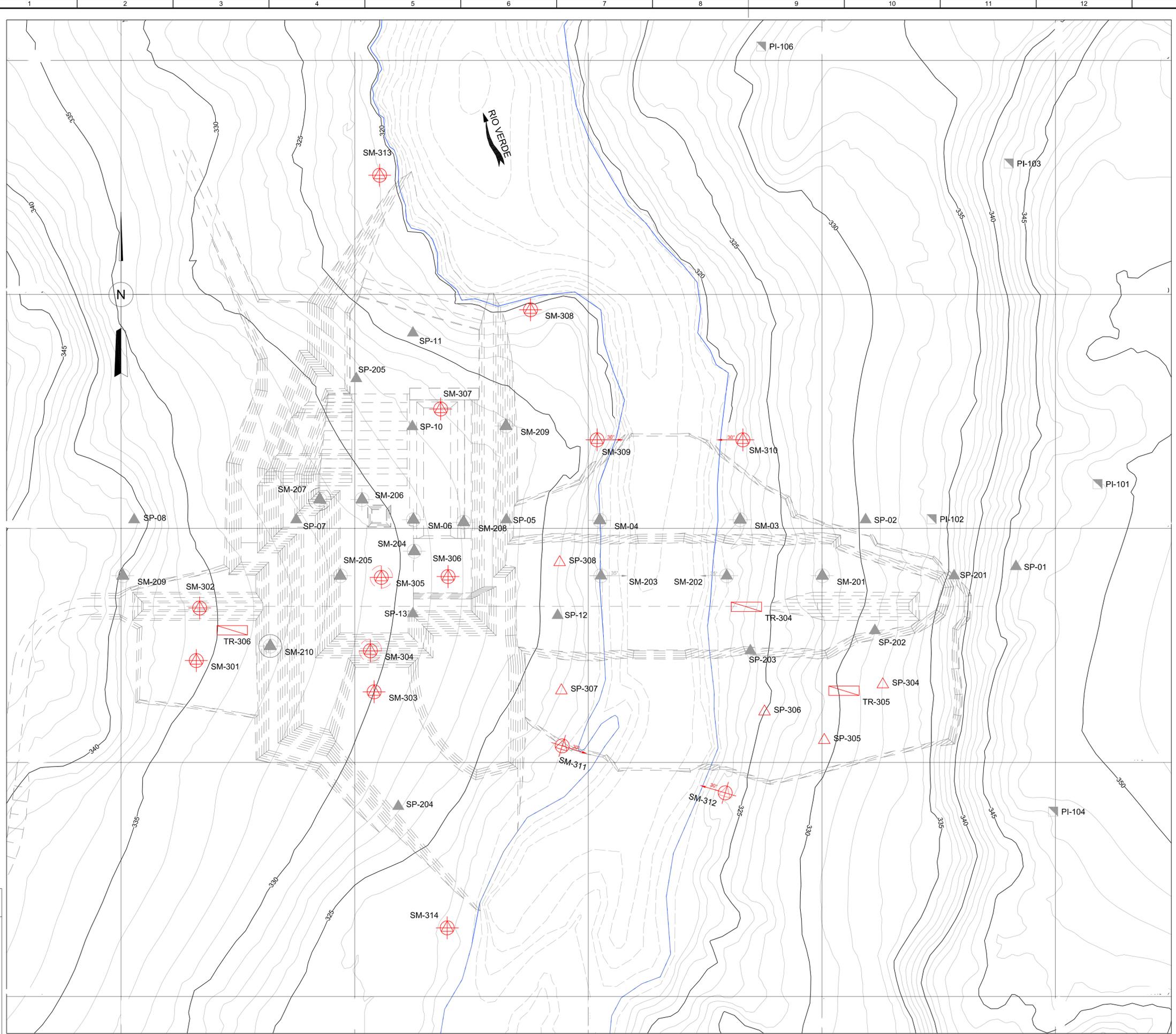
LEGENDA:

- ⊕ SR-321 SONDAGEM ROTATIVA
- ⊕ SM-349 SONDAGEM MISTA
- ⊕ SR-302 SONDAGEM ROTATIVA INCLINADA COM INDICAÇÃO DE RUMO E MERGULHO
- △ SP-336 SONDAGEM A PERCUSSÃO
- ⊕ SR-106 SONDAGEM BÁSICO



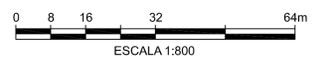
PLANTA
ESC. 1:4000

DETALHE DOS CORTES NO EIXO DO BARRAMENTO
ESC 1:4000



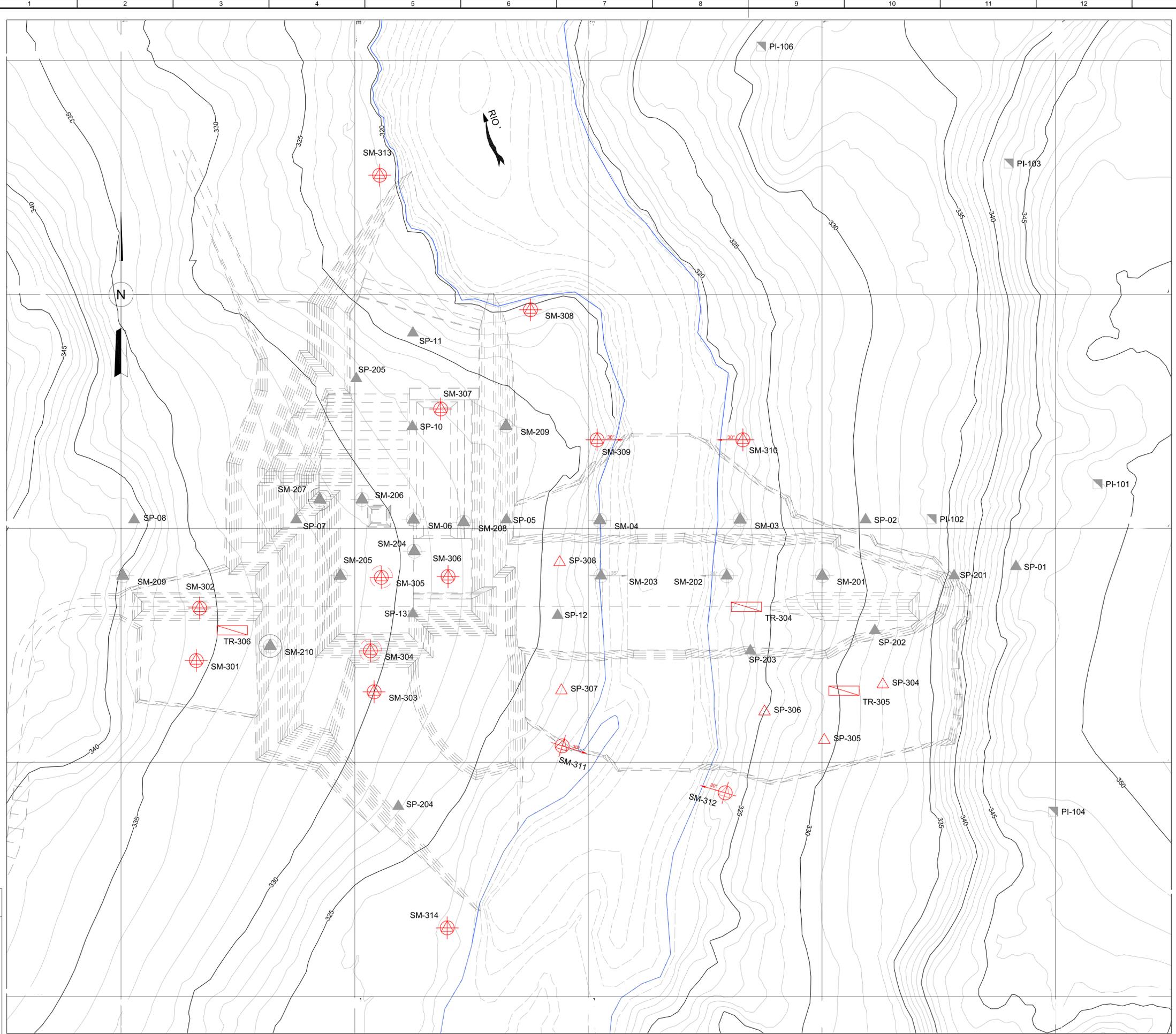
- LEGENDA:**
- CURVA DE NÍVEL MESTRA
 - CURVA DE NÍVEL INTERMEDIÁRIA
 - RIO VERDE
 - SONDAGEM MISTA EXECUTADA
 - SONDAGEM PERCUSSIVA EXECUTADA
 - POÇO DE INSPEÇÃO EXECUTADO
 - SONDAGEM MISTA INCLINADA EXECUTADA
 - ENSAIO DE BOMBEAMENTO EXECUTADO
 - TESTE DE INJEÇÃO EXECUTADO
 - SONDAGEM MISTA PROGRAMADA
 - SONDAGEM PERCUSSIVA PROGRAMADA
 - TRINCHEIRA PROGRAMADA
 - SONDAGEM MISTA INCLINADA PROGRAMADA
 - POCINHO PROGRAMADO
 - ENSAIO DE BOMBEAMENTO PROGRAMADO

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS DO MODELO B - PRÉ EXECUTIVO



PLANTA
ESCALA 1:800

Nº RDT:
Nº TDR:



- LEGENDA:**
- CURVA DE NÍVEL MESTRA
 - CURVA DE NÍVEL INTERMEDIÁRIA
 - RIO VERDE
 - SONDAGEM MISTA EXECUTADA
 - SONDAGEM PERCUSSIVA EXECUTADA
 - POÇO DE INSPEÇÃO EXECUTADO
 - SONDAGEM MISTA INCLINADA EXECUTADA
 - ENSAIO DE BOMBAMENTO EXECUTADO
 - TESTE DE INJEÇÃO EXECUTADO
 - SONDAGEM MISTA PROGRAMADA
 - SONDAGEM PERCUSSIVA PROGRAMADA
 - TRINCHEIRA PROGRAMADA
 - SONDAGEM MISTA INCLINADA PROGRAMADA
 - POCINHO PROGRAMADO
 - ENSAIO DE BOMBAMENTO PROGRAMADO

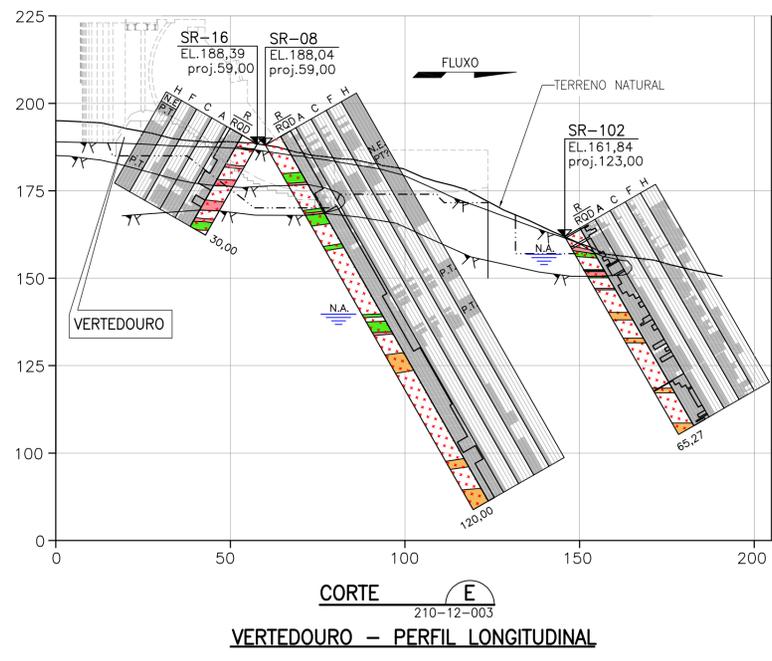
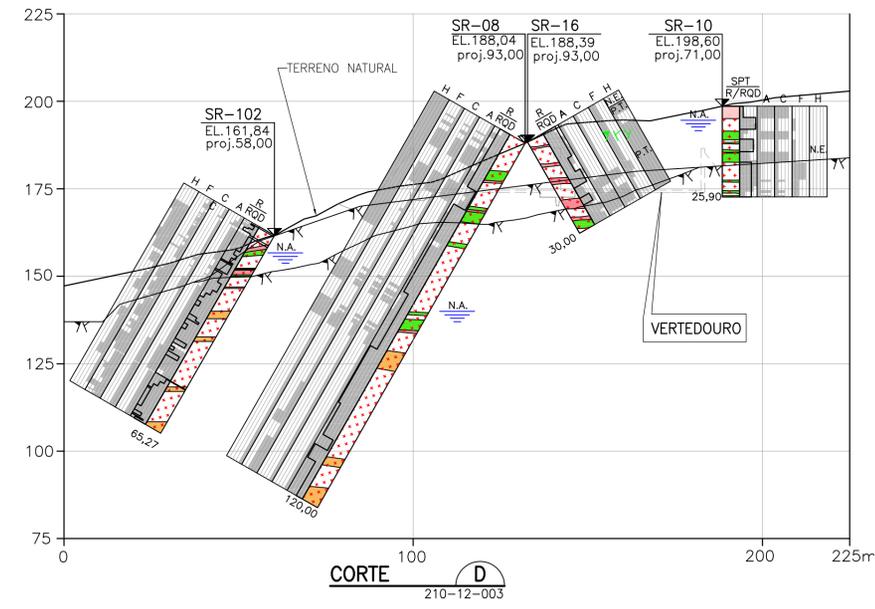
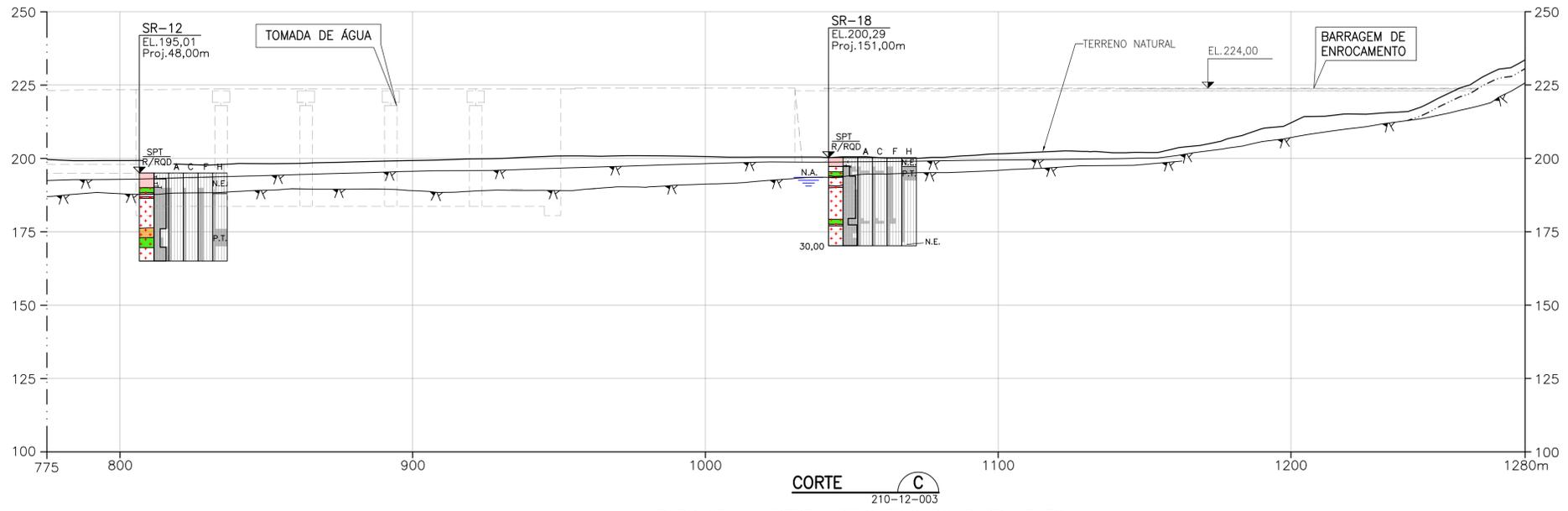
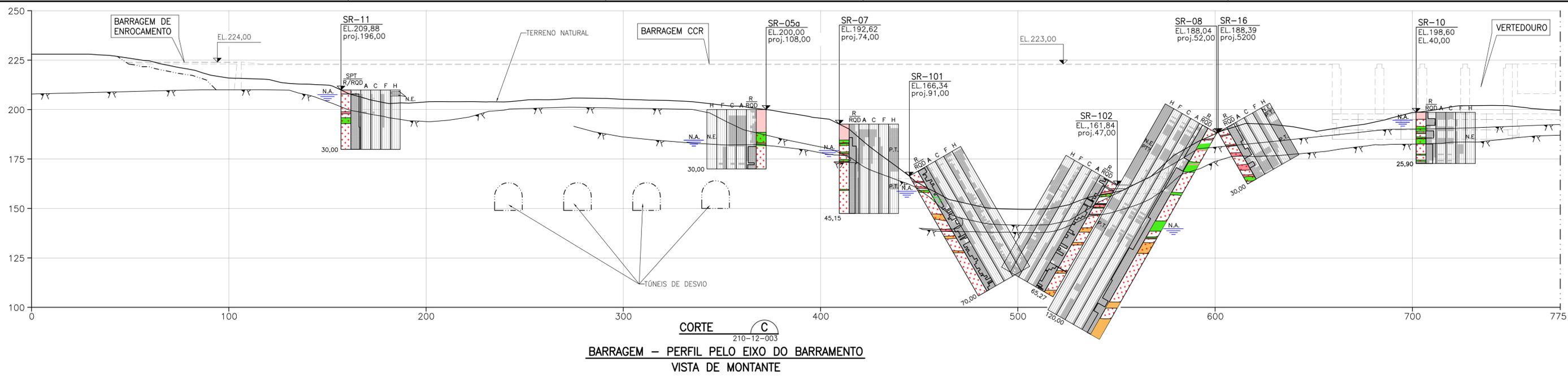


PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS SONDAGENS DO MODELO B - EXECUTIVO

PLANTA
ESCALA 1:800

Nº RDT:
Nº TDR:

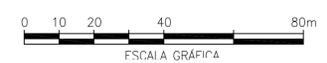
Anexo II – Seções geológica-geotécnicas na íntegra

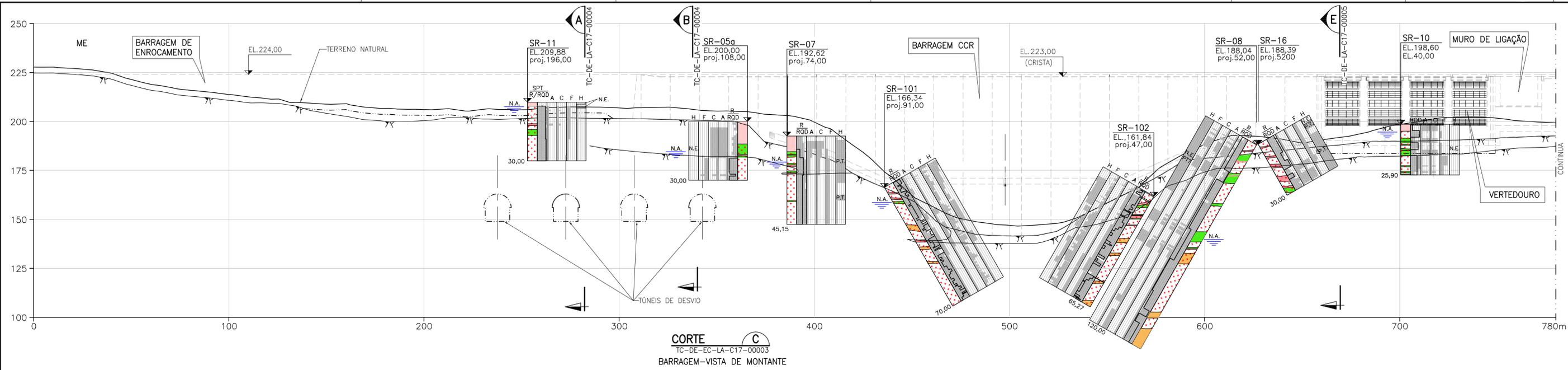


MODELO A - PROJETO BÁSICO

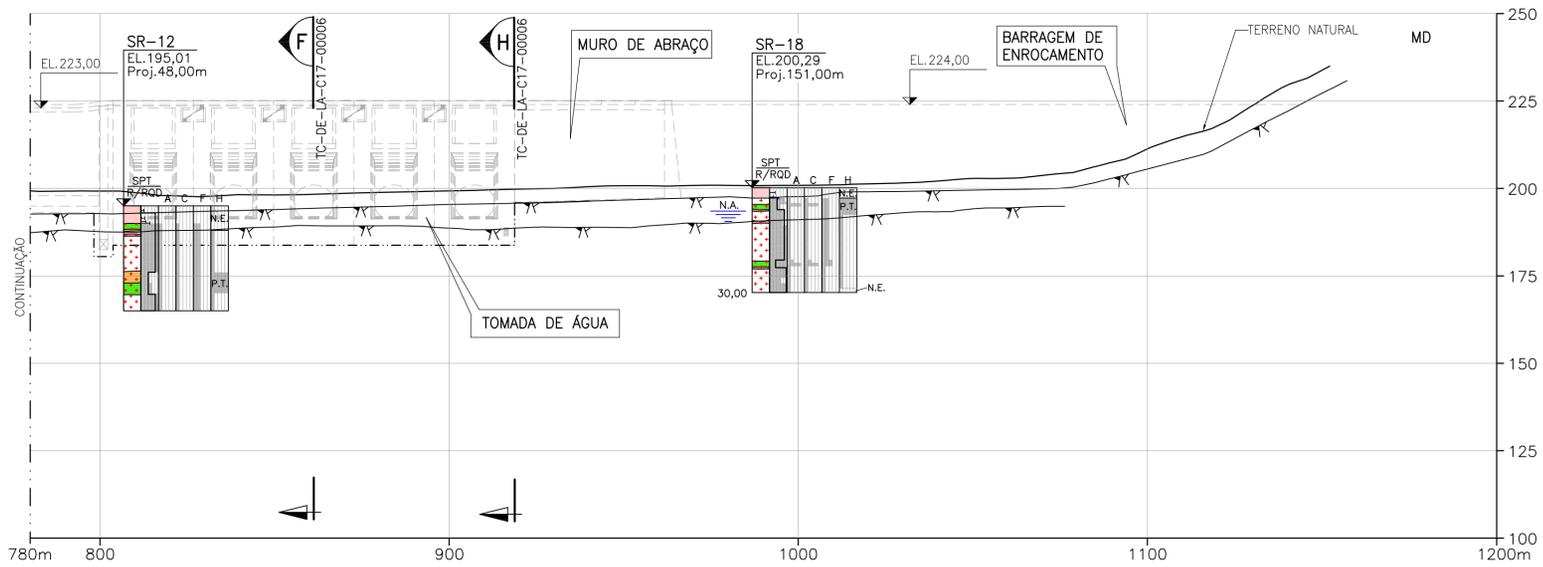
LOG DE SONDAJEM:

TIPO E Nº DA SONDAJEM ELEVACO	SPT																							
	R	A	C	F	H	[n de golpes]																		
	0	10	20	30	40	A1	A2	A3	A4	C1	C2	C3	C4	C5	F1	F2	F3	F4	H1	H2	H3	H4	H5	
N.A.																								
LITOLOGIA (VER LEGENDA DES.210-12-104)																								
ROD [%]																								
GRAU DE RECUPERAÇÃO [%]																								
GRAU DE ALTERAÇÃO DE COERÊNCIA																								
GRAU DE FRATUR.																								
GRAU DE CONDUTIV.																								
NÃO ENSAIADO																								
VAZÃO TOTAL																								
NÃO ENSAIADO																								

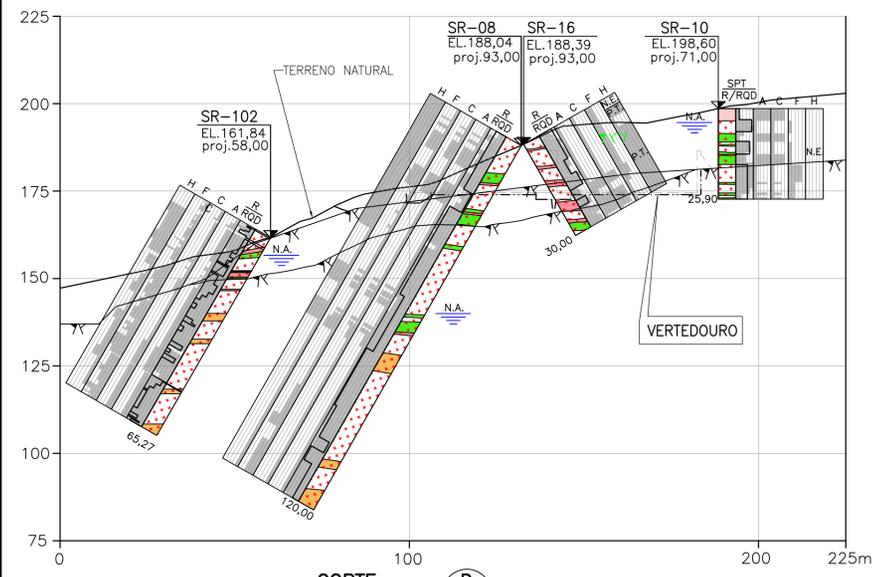




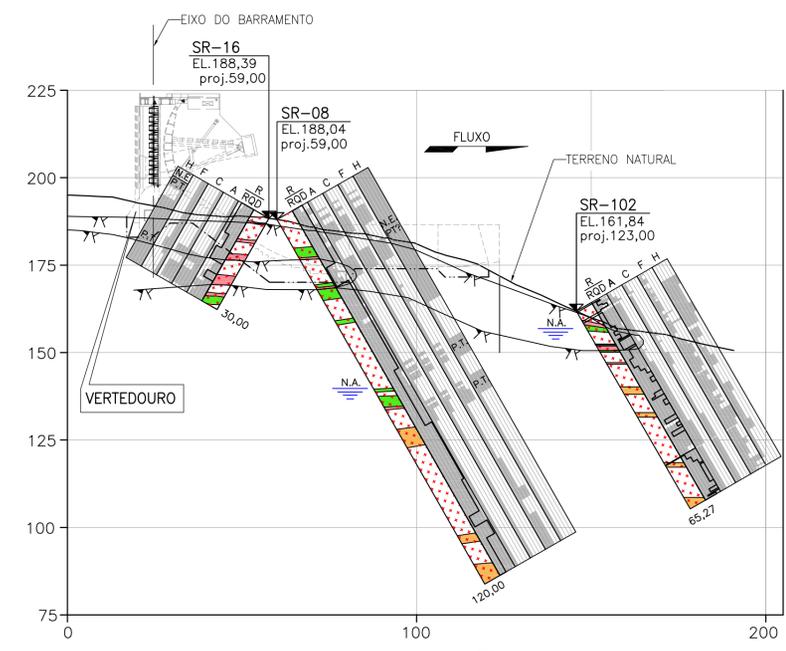
CORTE C
TC-DE-EC-LA-C17-00003
BARRAGEM-VISTA DE MONTANTE



CORTE C
TC-DE-EC-LA-C17-00003
BARRAGEM-VISTA DE MONTANTE CONTINUAÇÃO



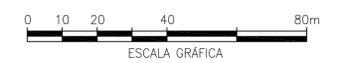
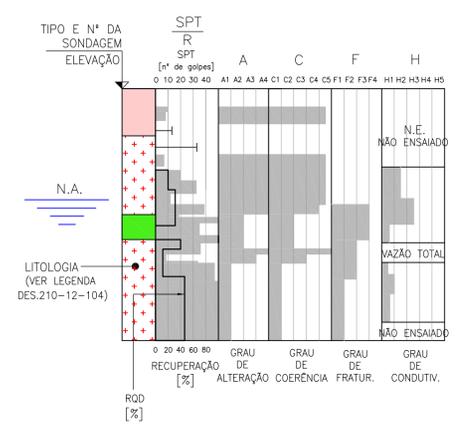
CORTE D
TC-DE-EC-LA-C17-00003
VERTEDOURO - PERFIL TRANSVERSAL



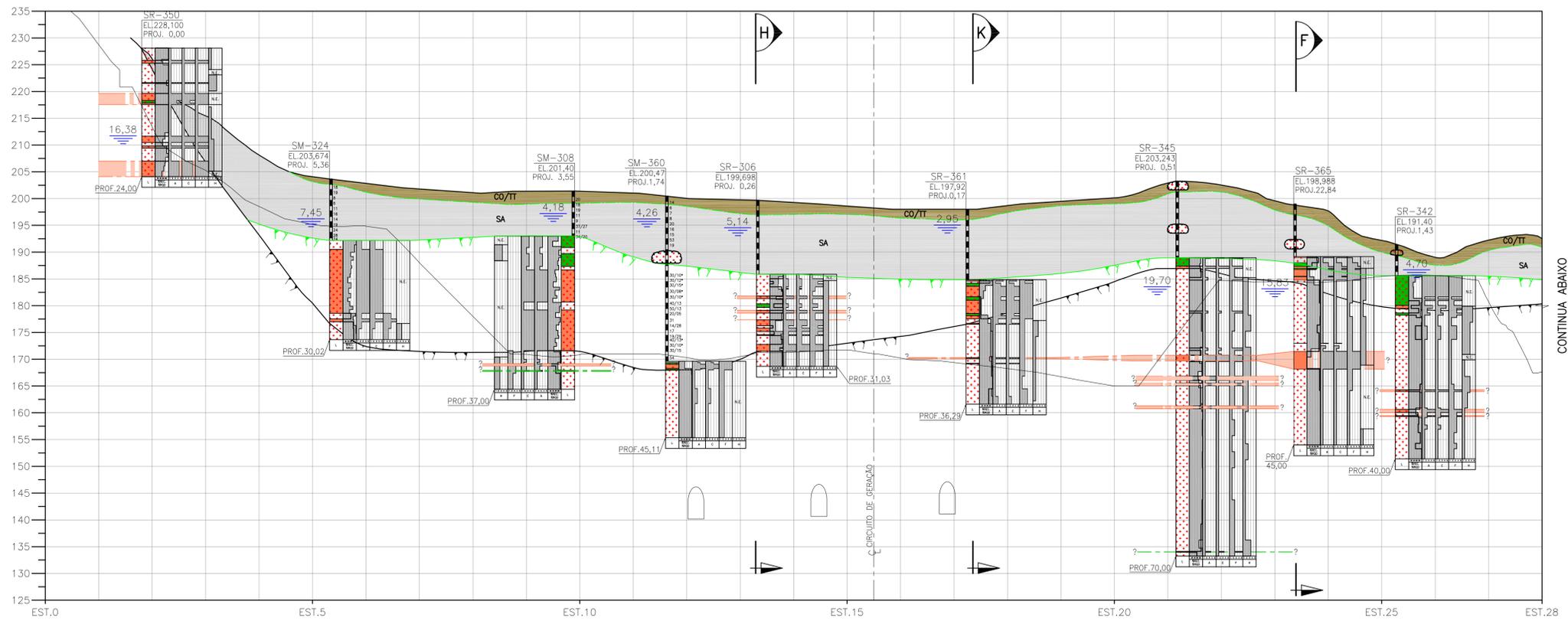
CORTE E
TC-DE-EC-LA-C17-00003
VERTEDOURO - PERFIL LONGITUDINAL

MODELO A - PROJETO BÁSICO CONSOLIDADO

LOG DE SONDAEM:



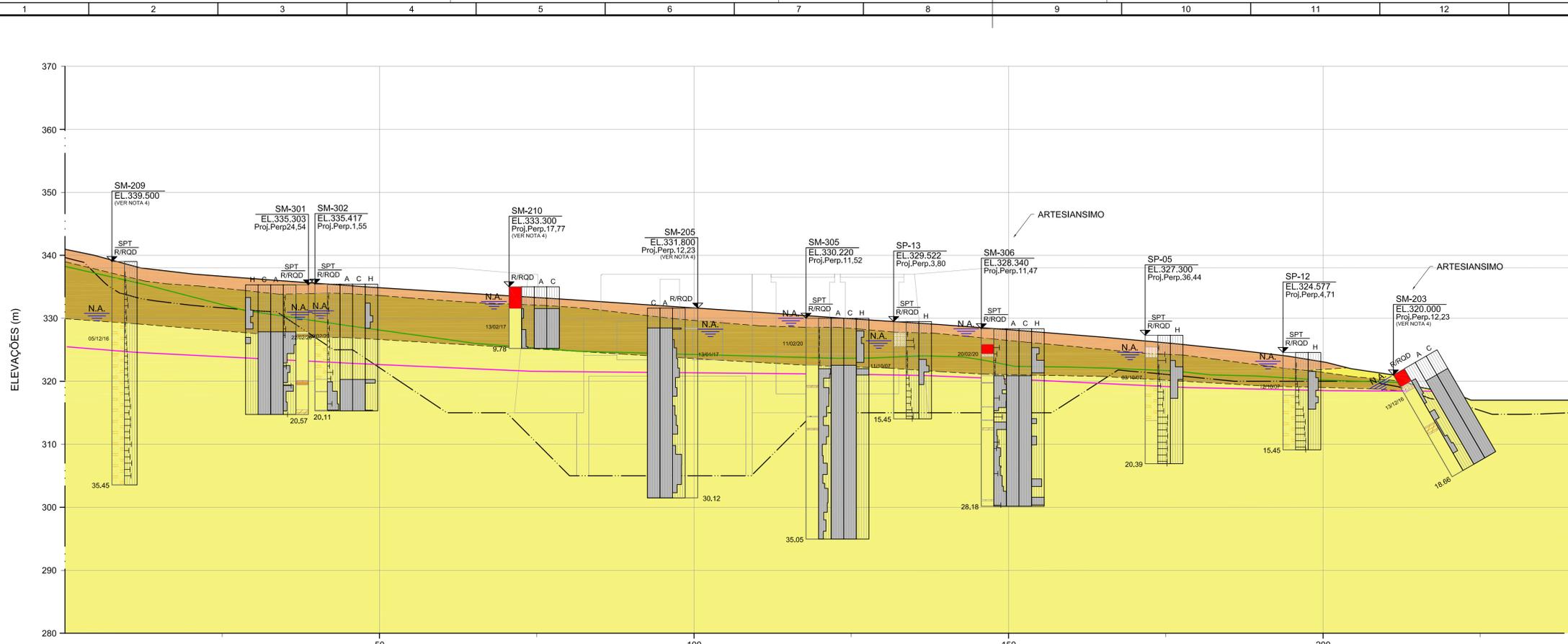
MODELO A - PROJETO EXECUTIVO



CONTINUA ABAIXO

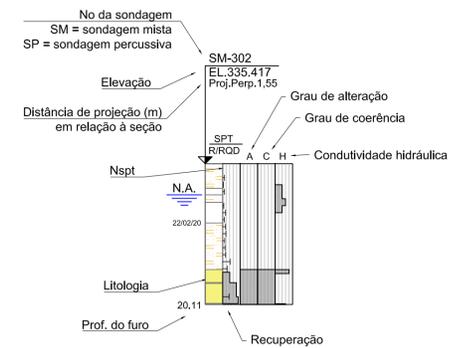


CORTE A
 ESC. 1:500(Vert.) 1:1000(Horiz.)



SEÇÃO 1 - EIXO DO BARRAMENTO - OMBREIRA ESQUERDA

0 4 8 16m
 ESCALA VERTICAL: 1: 400
 ESCALA HORIZONTAL: 1: 400

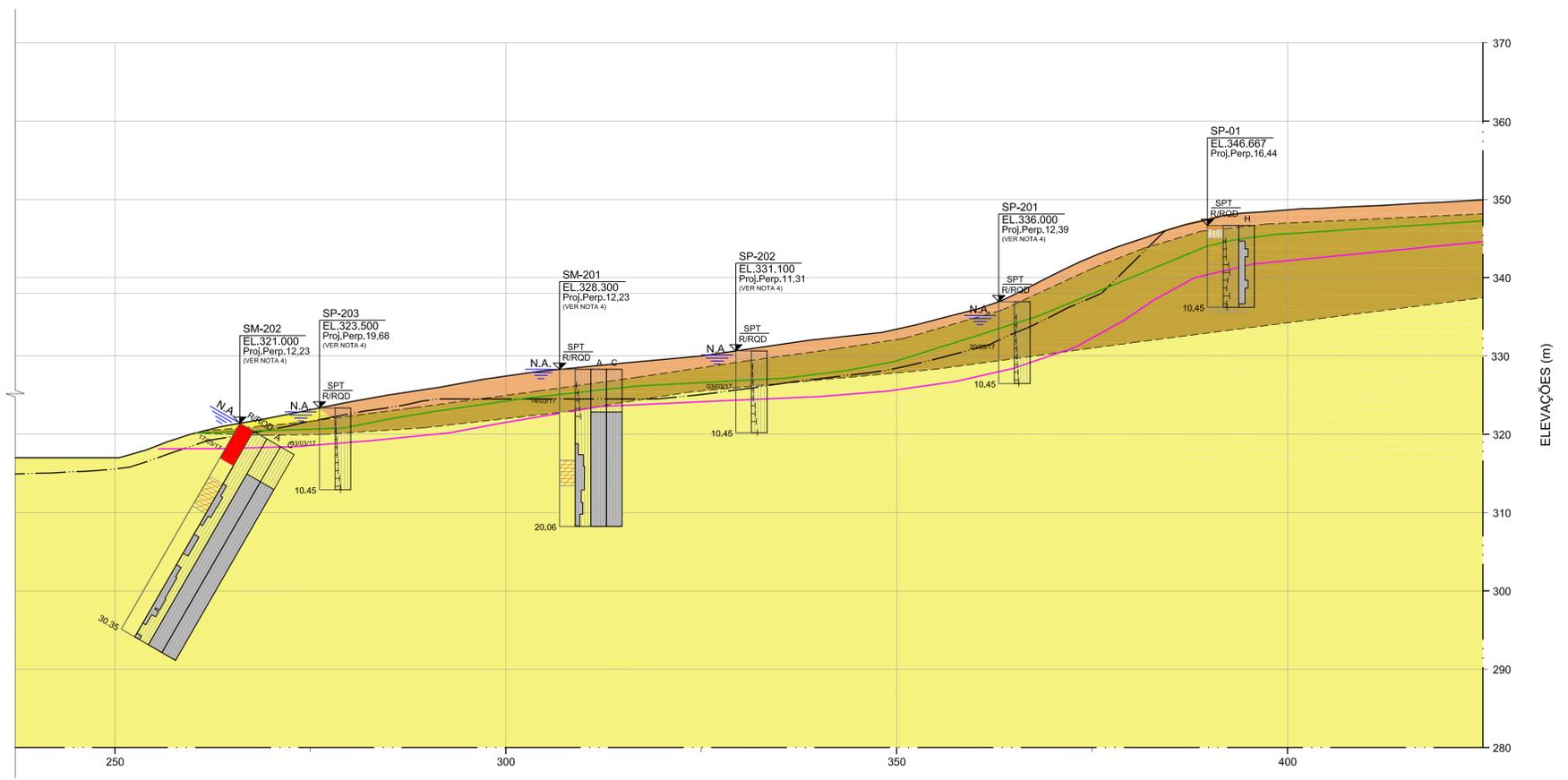


LEGENDA MINI-LOGS

- | | | | |
|--|----------------|--|-----------------|
| | AREIA ARGILOSA | | SOLO COLUVIONAR |
| | AREIA SILTOSA | | NÃO RECUPERADO |
| | SILTE ARGILOSO | | ARENITO |
| | PEDREGULHO | | ARGILITO |

LEGENDA SEÇÃO

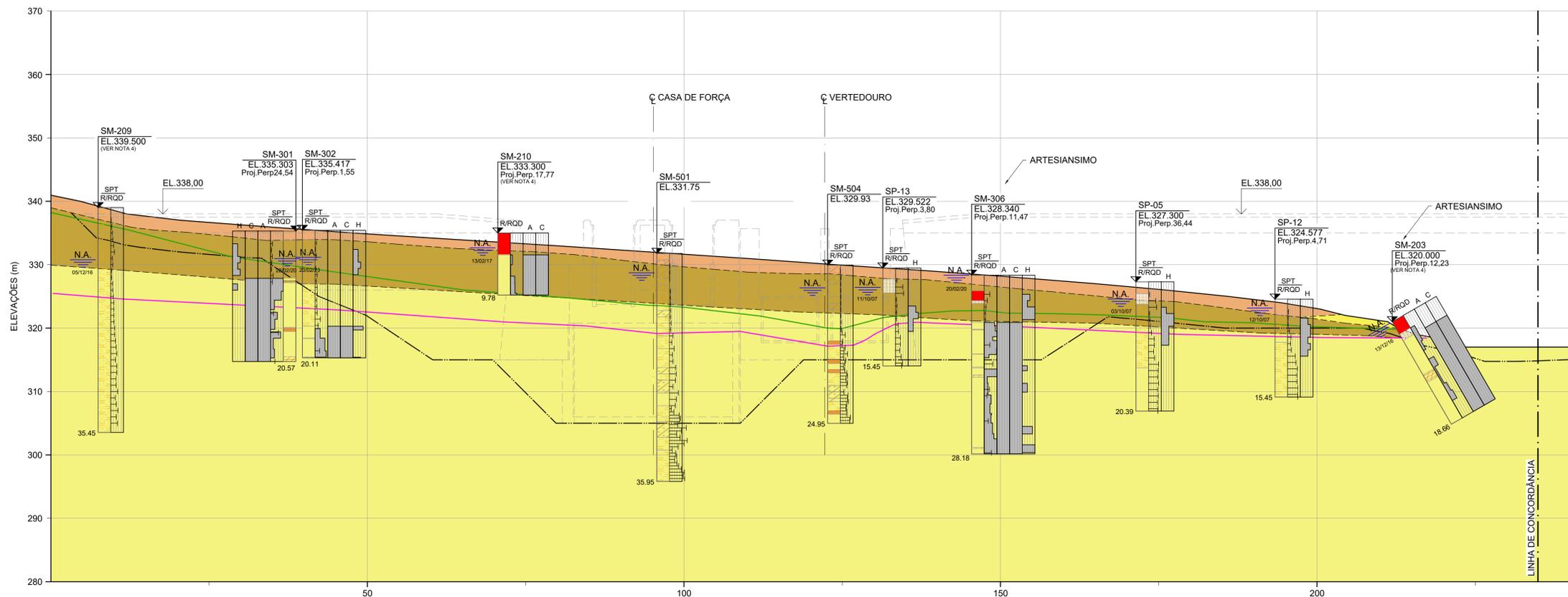
- | | |
|--|---|
| | ALUVIÃO |
| | SOLO COLUVIONAR |
| | SOLO RESIDUAL |
| | ARENITO/ARGILITO FRIÁVEL |
| | LIMITE SOLO FOFO - N.spt 0 - 4 |
| | LIMITE SOLO MEDIANAMENTE COMPACTO - N.spt > 9 |
| | CONTATO ENTRE UNIDADES INFERIDO |
| | LINHA DE ESCAVAÇÃO |



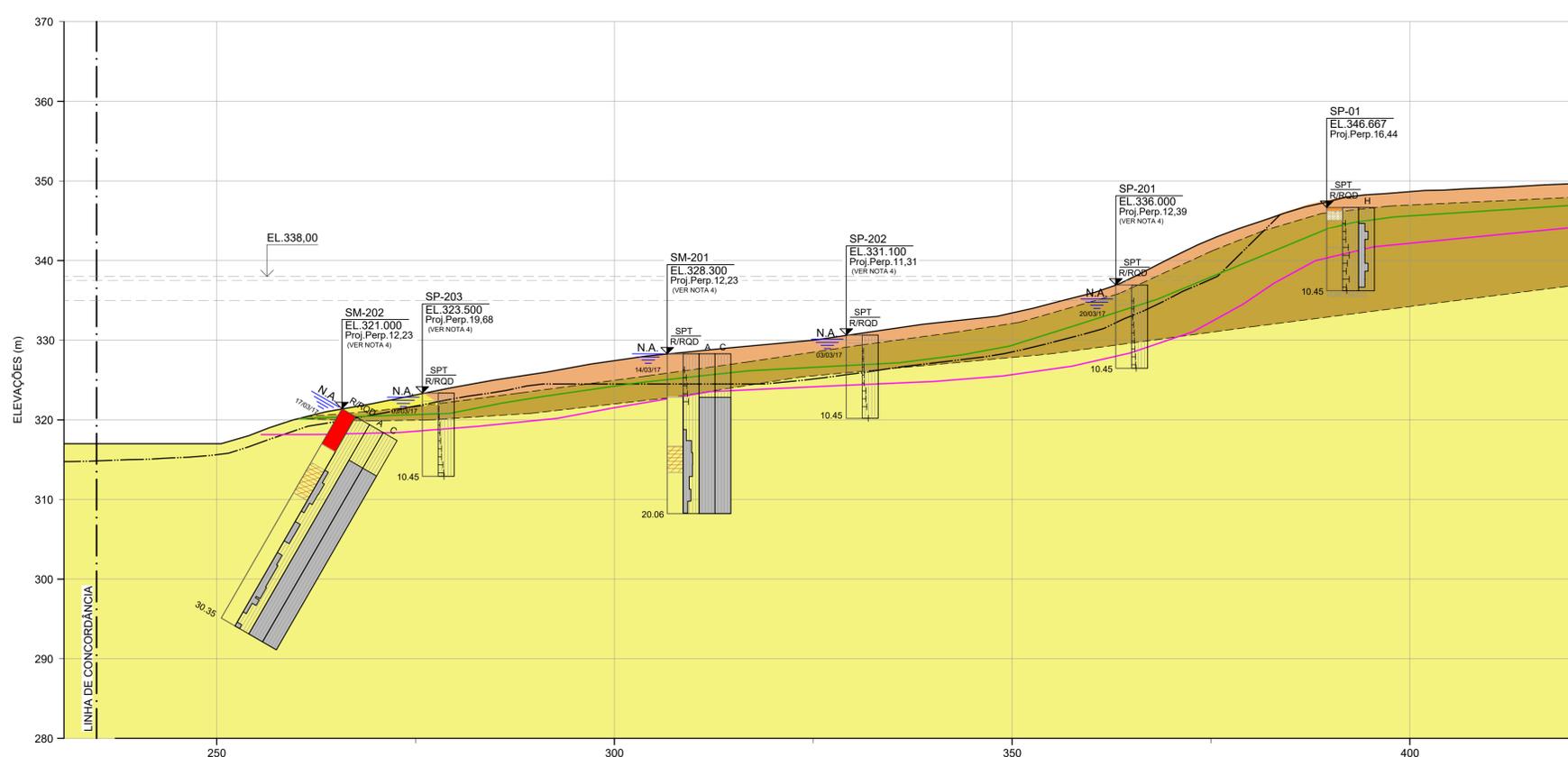
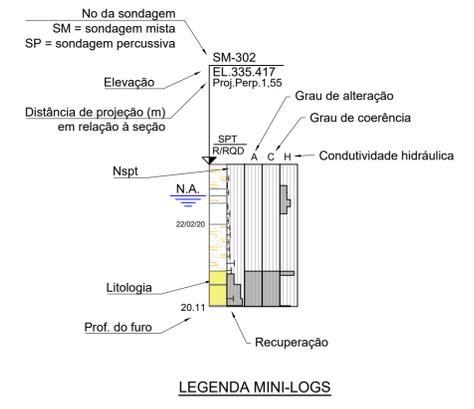
SEÇÃO 1 - EIXO DO BARRAMENTO - OMBREIRA DIREITA

0 4 8 16m
 ESCALA VERTICAL: 1: 400
 ESCALA HORIZONTAL: 1: 400

Nº RQT:
 Nº TDR:



SEÇÃO A - EIXO DO BARRAMENTO - OMBREIRA ESQUERDA
 ESCALA 1:400
 FDC-INT-E-GRDE-C18-0001



SEÇÃO A - EIXO DO BARRAMENTO - OMBREIRA DIREITA
 ESCALA 1:400
 FDC-INT-E-GRDE-C18-0001

- LEGENDA MINI-LOGS**
- AREIA ARGILOSA
 - AREIA SILTOSA
 - SILTE ARGILOSO
 - PEDREGULHO
 - SOLO COLUVIONAR
 - NÃO RECUPERADO
 - ARENITO
 - ARGILITO

- LEGENDA SEÇÃO**
- ALUVIÃO
 - SOLO COLUVIONAR
 - SOLO RESIDUAL
 - ARENITO/ARGILITO FRIÁVEL
 - LIMITE SOLO FOFO - Nspt 0 - 4
 - LIMITE SOLO MEDIANAMENTE COMPACTO - Nspt > 9
 - CONTATO ENTRE UNIDADES INFERIDO
 - LINHA DE ESCAVAÇÃO



Anexo III - Declaração de autorização de uso de dados de terceiros

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DE INFORMAÇÕES DE EMPRESAS

Empresa: Intertechne Consultores S.A.

CNPJ: 80.378.052/0001-35

Endereço completo: Avenida Iguazú, 100 – Rebouças, Curitiba – PR

Representante da empresa: José Henrique Pereira

Telefone: (41) 3219-7263 E-mail: jhp@intertechne.com.br

Tipo de produção intelectual: Monografia; Relatório Técnico; Relatório de Estágio; Dissertação; Tese; Outro:

Título/subtítulo: Verificação do modelo geológico da fundação de barragens entre o projeto básico, executivo e executado.

Autoria: Talita Juli Arantes

Orientador(a): Adriana Ahrendt Talamini

Co-orientador(a): Andrés Miguel González Acevedo

Nome do Curso: Geologia

Campus: Centro Politécnico – Universidade Federal do Paraná

Como representante da empresa acima nominada, declaro que as informações e/ou documentos disponibilizados pela empresa para o trabalho citado:

Podem ser publicados sem restrição.

Possuem restrição parcial, não podendo ser publicadas as seguintes informações e/ou documentos: Identificação da empresa, identificação do Projeto, Usina, Construtor ou outro dado que identifique a obra ou local onde foi realizada.

Possuem restrição total para a publicação, pelos seguintes motivos:



Representante da empresa

Curitiba, 27/07/2024

Local e Data