

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ESTUDOS GEOLÓGICOS PRELIMINARES PARA
IMPLANTAÇÃO E CONSTRUÇÃO DE UMA USINA
HIDRELÉTRICA NO RIO URUGUAI.**



**MONOGRAFIA DE TRABALHO DE FORMATURA
(TF/08-27)**

Gustavo Chaves Alonso

Gustavo C. Alonso

Prof. Dr. Marcos Egydio da Silva

Marco E. da Silva

DEDALUS - Acervo - IGC



30900025616

São Paulo

2008

TF
AU54
GC.e

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar os estudos geológico-geotécnicos preliminares, pesquisa fundamental para implantação e construção de um empreendimento hidrelétrico seguro.

A área de estudo se trata das futuras instalações da Usina Hidrelétrica (UHE) Foz do Chapecó, que se localiza na fronteira dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, no Rio Uruguai. O projeto já se encontra em fase executiva e deve ficar pronto em meados de 2010.

Foram realizadas seções geológicas ortogonais e paralelas às estruturas civis do empreendimento, como Casa de Força, Vertedouro, Túneis de Adução, através de investigações de subsuperfície que foram executadas nesta e em outras fases da obra, com o intuito de uma melhor visualização da geologia local e suas possíveis interações com as estruturas. Também foi desenvolvido um mapa geológico em escala apropriada, bem como um mapa de localização das investigações de subsuperfície realizadas no sítio do empreendimento.

Os dados adquiridos pelos mapeamentos dos túneis de adução foram sintetizados e adequados aos parâmetros de classificação do maciço rochoso idealizado por Barton em 1974, bem como suas categorias de suporte.

Através das informações de mapeamentos das frentes de escavação realizadas pela empresa responsável, os dados direcionais de descontinuidades foram tratados e interpretados para a melhor localização das estruturas civis com relação à geologia local.

Em síntese, temos que as estruturas estão posicionadas de maneira coerente e otimizadas com a geologia local e seus diferentes sistemas de fraturamento. Também cabe salientar que os estudos geológicos são importantes em todas as fases tanto de implantação quanto de construção do empreendimento, evitando-se assim possíveis imprevistos que podem acarretar em atrasos no cronograma.

Abstract

This appraisal aims to evaluate preliminary geological-geotechnical studies, a fundamental research for the implementation and the construction of a safe hydroelectric venture.

This study was based on the forthcoming site of Foz do Chapecó Hydropower plant, located on the borders of Santa Catarina and Rio Grande do Sul states, at Uruguai river, in Brazil. This project is found to be under construction and is due to be operating by mid-2010.

Both orthogonal and parallel geological cross sections were interpreted to the structure of this venture, as to the powerhouse, the spillway and the adduction tunnel, through which researches were done on this and many other phases of the construction aiming a better understanding of the local geology and its possible interaction within the structure. Furthermore, a geological mapping was developed in fully appropriate scale, in addition to a locational underground investigation plant of the construction site.

Data acquired by the mapping of the adduction tunnels were summarized and made adequate to the rock mass classification system developed by Barton in 1974, as well as its basing categories.

Through the information gathered by the digging front mapping made by the contractors in charge, the directional data from joints were taken and interpreted for a better placement of the civil structures towards the local geology.

Synthetically, it is understood that these structures are positioned in a coherent and locally harmonized way within the geology and its various fracture systems. Nonetheless, the geological studies are of its prime importance throughout all phases, from implementation to building the venture, in such way, avoiding possible unforeseen issues causing delay.

Agradecimentos

À CNEC Engenharia pela oportunidade e contribuições oferecidas.

Dedico este trabalho primeiramente a minha família, que sempre esteve ao meu lado e deu apoio em tudo que eu almejei. Conselhos, dicas, força nos momentos mais difíceis que já passei. Mãe, Pai, Mari, Avós, Tios, Tias, amo vocês! Muito Obrigado!

Aos Drs. Nivaldo Alonso, Luiz Guilherme Barbarisi Gomes, Luiz Guilherme Barbarisi Gomes Junior (Obrigado Irmão!), a equipe de enfermagem da Casa de Saúde de Santos, obrigado pela atenção, os cuidados e carinho.

Agradeço ao meu orientador e amigo Dr. Marcos Egydio da Silva, pelos conselhos, os papos e grandes histórias e a todos os professores que me ajudaram muito durante esse período que aqui estive. Aos Geólogos e Engenheiros do CNEC Manolo Morales Melo, Tiago Borges da Silva, Martim Afonso Camargo, Leonardo Lamy, Murilo Perrella, Fábio Canzian, Flávio Lucenti e Ana Paula Ruiz, obrigado pela força.

Geólogos e futuros Geólogos: Laércio Guedes Bertossi, Rafael de Barros Barbim, Guilherme Rampazzo, Talita Muzzi, Michele Tizuka, Graziani Gobatto, Elder Yokoyama, Felipe Figueiredo, Ana Paula Tanaka, Gabriel Zorzi (diretor da Traffic), Maurício Ornelas, Don André Calado, Frederico Andres, André Paolielo, Julio Criscimani, Otto Salgado, Daniel Buzzato, André Baradel, Carlão Gonçalves, Nikolai Ojevan, Maurício Pavan e Rafael Motta (O Alain Delon da Petrologia Metamórfica), obrigado pela sala e pelas dicas! Special Thanks to my English teacher Leo, that helped me a lot during the semester and with the Abstract of this volume. Cheers Mate.

Aos futuros Contadores da FEA-USP, dêem um jeito nessa crise: Otaviano Guerra, Carolina Murgi, e todos os outros amigos que por lá convivi.

À galera do Surf, pelas barcas saindo Zero hora! Rodolfo, Mauro, Rodrigo Manga, João Gabriel, Alexandre, Saulo & Luiz (Galera XTn Floripa), Luiz Fernando (Luti), Rafael (Acerola), Netuno pelas ondas. Muitas ondas pra nós! Agradeço aos meus amigos do circuito mundial de surf Andy Irons, Joel Parkinson e Taj Burrow. Thanks Bros!

Um agradecimento especial ao meu amigo / irmão, que esteve comigo no início do curso, e resolveu trilhar por outros rumos. Fábio, parafraseando um amigo nosso, boa sorte na faculdade de medicina, sei que tem sido muito difícil passar por tudo isso novamente, mas no final irá compensar.

Enfim, agradeço a todos e colaboraram, confiaram e acreditaram em mim.

Muito Obrigado !

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO	2
2- OBJETIVOS	3
3- ÁREA DE ESTUDO.....	3
3.1- Localização e Acessos	4
3.2- Geologia Regional	5
3.3- Geomorfologia	6
3.4- Bacia Hidrográfica	7
3.5- Características do Empreendimento.....	7
4- MATERIAIS E MÉTODOS	9
5- FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	10
6- RESULTADOS OBTIDOS.....	12
6.1- Organização da Base de Dados	12
6.2- Testemunhos de Sondagem.....	12
6.3- Mapa Geológico e Geologia Local.....	14
6.4- Seções Geológicas	14
6.4.1- Eixo do Barramento / Vertedouro.....	15
6.4.2- Túneis	16
6.4.3- Tomada D'água e Casa de Força	18
6.5- Dados Estruturais	19
6.6 – Classificação Geomecânica de Barton	24
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	30
8- BIBLIOGRAFIA	31
8.1 – CONSULTA ELETRÔNICA	32
9- ANEXOS	33

1- INTRODUÇÃO

Energia é essencial para a vida na sociedade atual. A ampliação da infra-estrutura energética do Brasil exige grandes investimentos visando atender a crescente demanda da sociedade por mais e melhores serviços de fornecimento e transmissão.

No Brasil, as usinas hidrelétricas são a principal fonte geradora de energia elétrica. Até dezembro de 2006, a capacidade hidrelétrica instalada no País era de cerca de 70.000 MW (Megawatts), equivalente a aproximadamente 75% de toda a potência nacional. Na prática, essa fonte responde por mais de 90% da energia utilizada no Brasil, pois trata-se da matriz energética do país, devido a abundância deste recurso, tornando seu custo menor que o de outras fontes (ANEEL, 2006).

O país precisa aumentar sua disponibilidade de energia para garantir maior progresso econômico e, assim, ter meios de melhorar as condições de vida da população. Estima-se que é preciso, no mínimo, dobrar o consumo *per capita*, para atender a demanda de consumo, que no Brasil corresponde a 162,92 KWH, enquanto nos países desenvolvidos esse número gira em torno de 650 KWH (ABDO, 2007). Ao mesmo tempo é necessário atender o crescimento natural da população (algo em torno de 1% ao ano).

No total cerca de 1.700 empreendimentos estão em operação, e geram cerca de 100.000 MW de potência, e está prevista para os próximos anos uma adição de aproximadamente 26.600 MW na capacidade de geração do País (Fonte: Governo Federal, 2008).

Nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste habitam 64% dos brasileiros, que consomem cerca de 80% da energia elétrica do país. Esses valores mostram que nessas regiões há uma atividade econômica intensa, decorrente do elevado índice de atendimento à população e de eletrificação rural. Nessas regiões, estão localizadas as principais usinas hidrelétricas do país, sendo que a maioria desses aproveitamentos hidrogeradores importantes foram transformados em usinas, restando poucas possibilidades de expansão (Fonte: Governo Federal, 2008).

Nesse contexto, estudos geológico-geotécnicos são de fundamental importância para a implantação destes empreendimentos, pois estes são realizados em todas suas fases, desde os estudos de inventário e viabilidade, até as fases de maior detalhe, como projeto básico e executivo. Essa pesquisa é realizada visando obter o máximo de informações possíveis do substrato rochoso a fim de se evitar e/ou reduzir a possibilidade de ocorrência de imprevistos geológicos durante a execução da obra.

Para a implantação de um empreendimento hidroelétrico deve-se considerar algumas premissas:

- Demanda por energia;
- Viabilidade técnica para sua execução;
- Sua construção acarretar impactos ambientais compensáveis;
- Inexistir conflitos entre sua operação e os demais usos da água na região.
- A sociedade local pode ser devidamente compensada pelos transtornos causados por sua implantação e operação.
- Viabilidade Financeira.

2- OBJETIVOS

O presente estudo visa, à luz de investigações geológico-geotécnicas, obter subsídios para a elaboração de um empreendimento seguro, de modo à evitar imprevistos geológicos, que podem prejudicar o andamento das obras e consequentemente atraso no cronograma inicialmente previsto.

Tendo esses aspectos em vista foram realizados:

- Mapa geológico em escala apropriada.
- Planta de locação das investigações.
- Seções geológicas interpretadas a partir dos dados das sondagens realizadas nas diferentes estruturas da usina e aperfeiçoadas com os dados fornecidos pelas escavações.
- Interpretação estrutural de juntas/fraturas a partir de análise estatística de dados direcionais.
- Interpretação através do sistema Q de Barton de dados obtidos através de descrições prévias.

3- ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado com enfoque para a viabilidade técnica de execução, tomando-se como exemplo a UHE (Usina Hidrelétrica) Foz do Chapecó, localizada entre os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Foto e Figura 1), no Rio Uruguai, cerca de 6 km a montante da confluência com o Rio Chapecó, na divisa entre os municípios de Águas de Chapecó e São Carlos, no Estado de Santa Catarina, e Alpestre no Estado do Rio Grande do Sul.



Foto 1: Vista Aérea da Região do Empreendimento (Fonte: CNEC Engenharia S/A)

A montante deste aproveitamento situam-se as Usinas Hidrelétricas Itá, Machadinho e Passo Fundo, que já se encontram em operação, as Usina Hidrelétricas de Barra Grande e Campos Novos, em fase final de construção, e a Usina Hidrelétrica de Pai Querê, ainda em estudo. A foz do Rio Uruguai se localiza a cerca de 1.200 km a jusante do local da futura UHE Foz do Chapecó, estando parte da bacia em trecho limítrofe entre o Brasil, Uruguai e a Argentina.

O eixo da barragem situa-se nas coordenadas geográficas 27°08'24" de latitude Sul e 53°02'36" de longitude Oeste. Neste local, o Rio Uruguai apresenta uma grande alça de praticamente 180° e extensão aproximada de 19,5 km, com desnível natural de 12 m. O Rio Uruguai possui um grande potencial hidrelétrico, com uma capacidade de produção de 40,5 kW/km² (Fonte: Agência Nacional de Águas). Como está inserida em uma das regiões de maior consumo, e assim tentar minimizar a crescente carência devido ao aumento por demanda de energia elétrica.

3.1- Localização e Acessos

A região é servida por uma rede viária de estradas federais e estaduais pavimentadas, interligando os mais importantes portos marítimos e centros fornecedores das regiões Sul e Sudeste. As distâncias rodoviárias do local da futura Usina até as capitais e cidades mais populosas da região são as que se apresentam a seguir:

a) do lado de Santa Catarina:

São Carlos - Chapecó: 36 km

Chapecó - Florianópolis: 570 km

b) do lado do Rio Grande do Sul:

São Carlos – Passo Fundo: 165 km

Passo Fundo – Porto Alegre: 270 km

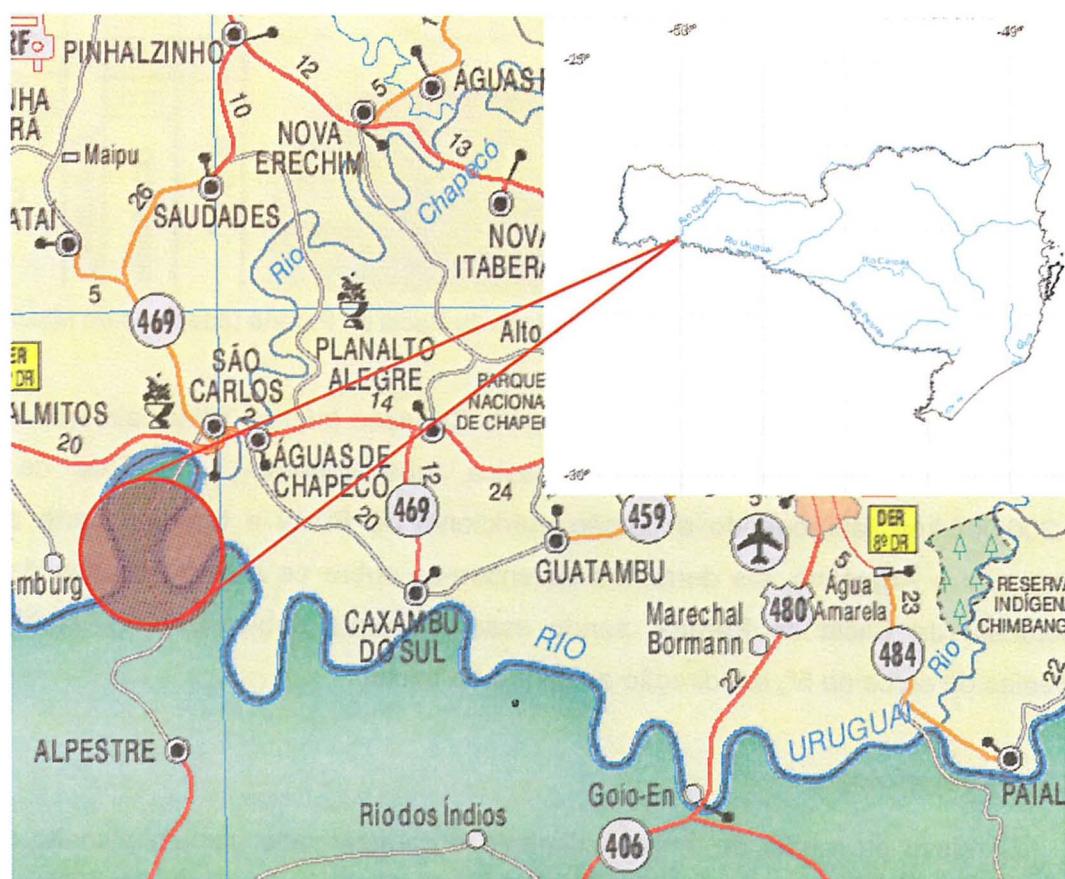


Figura 1 – Mapa de Localização e Acessos. Destaque para a localização do empreendimento.

3.2- Geologia Regional

Localmente a usina está na porção centro-sul da bacia do Paraná, constituída por um espesso pacote de rochas sedimentares recobertas por uma seqüência vulcânica basáltica de natureza principalmente toleítica. O pacote de derrames vulcânicos, denominados Formação Serra Geral (Figura 2), está associado a um intenso fenômeno distrófico que originou um vulcanismo fissural desde o final do Jurássico até o Cretáceo (Luchetti, 2005).

As rochas vulcânicas da Província Magmática do Paraná desenvolveram-se na bacia sedimentar intra-cratônica do Paraná. Recobrem cerca de 75% da bacia e ocorrem como uma sucessão de derrames de lava, formando pacotes com espessura total variável, cuja média é da ordem de 650 m, chegando até cerca de 2.000 m. Os derrames distribuem-se

por grandes extensões da bacia e apresentam individualmente dimensões variáveis, com espessuras geralmente entre 10 e 80 m (Teixeira, 2004).

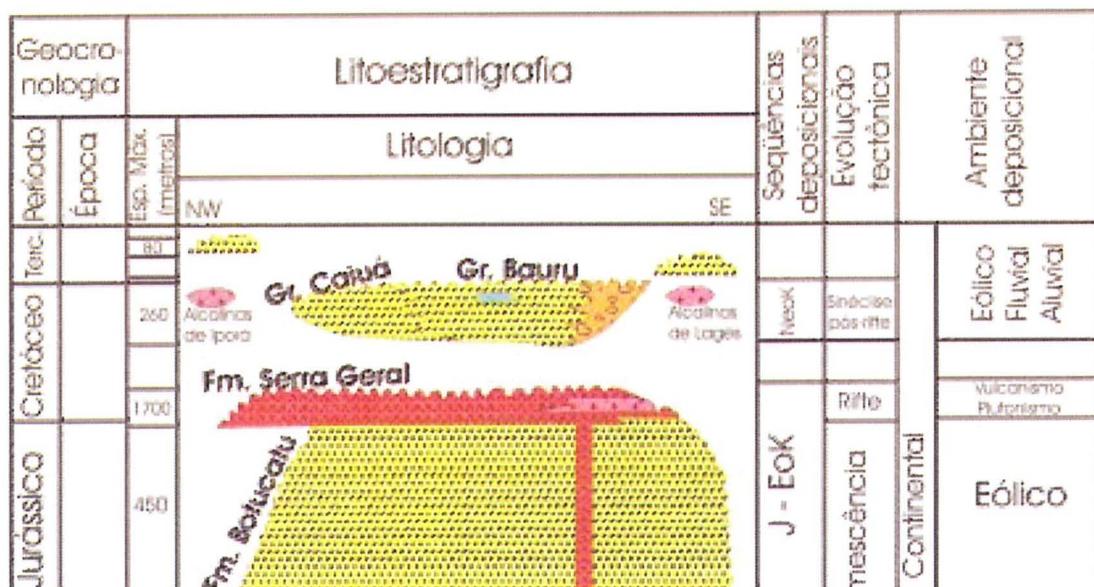


Figura 2 – Coluna Estratigráfica do topo da Bacia do Paraná (adaptado de Milani, 1994).

Essa intensa atividade ígnea ocorreu no Cretáceo Inferior, principalmente na forma de derrames de lava de composição básica, que cobriram uma área de cerca de 1.200.000 km², abrangendo a porção meridional do Brasil e também parte do Uruguai, Paraguai e Argentina. Os derrames assentam-se sobre os arenitos eólicos da Formação Botucatu da Bacia do Paraná, sendo essencialmente sub-horizontais, com inclinações médias de cerca de 5°, em direção ao centro da bacia.

3.3- Geomorfologia

O relevo da região do empreendimento é caracterizado por um planalto suavemente ondulado com acentuado controle lito-estrutural no modelado do relevo, evidenciando o empilhamento tabular dos derrames basálticos. Ao longo das encostas sucedem-se rupturas de declive em forma de degraus, com patamares associados às zonas dos topos dos derrames, intercalados por taludes subverticais relacionados à zona central, onde a rocha apresenta disjunção colunar predominantemente vertical.

O padrão de drenagem está intimamente associado ao condicionamento estrutural refletido na retilineidade e mudanças freqüentemente bruscas dos cursos d'água, relacionadas às zonas de fraqueza na rocha. Salvo algumas ocorrências isoladas, e de pequeno porte, o desenvolvimento brusco e encaixado do rio não permite a ocorrência sistemática de planícies aluvionares (modificado do Atlas Geográfico de Santa Catarina, 1986).

Na região do eixo da barragem, as ombreiras são assimétricas, com a margem esquerda apresentando uma configuração escalonada, alternando vertentes subverticais e patamares sub-horizontais, enquanto a margem direita mostra-se com topografia mais suavizada. No leito do rio, pouco a montante do eixo da barragem, ocorre um pequeno degrau (desnível), que dá origem a uma corredeira conhecida localmente como “Saltinho do Uruguai”, que transpõe o Rio Uruguai com direção N 60°W.

3.4- Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica do Rio Uruguai possui uma área de 385.000 km², dos quais 174.612 km² situam-se dentro do Brasil, abrangendo 384 municípios dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. As principais cidades brasileiras localizadas na bacia são Lajes e Chapecó (SC), Uruguaiana, Bagé e Santana do Livramento (RS) (JUSTUS,1990).

A região hidrográfica do Uruguai apresenta um grande potencial hidrelétrico, com uma capacidade total de produção de 40,5 KW/km², considerando os lados brasileiro e argentino, uma das maiores relações de energia/km² do mundo.

O Rio Uruguai apresenta marcadamente um curso principal que se forma desde as nascentes do Rio Pelotas até sua foz no Rio da Prata. Para essa configuração, o curso principal do Rio Uruguai tem como principais afluentes:

- pela margem direita, o Rio Canoas, com área de drenagem de 14.370 km², o Rio do Peixe, com área de drenagem 5.240 km² e o Rio Irani com área de drenagem de 1.750 km²,
- pela margem esquerda, os Rios Inhandava, Apuaê e Passo Fundo, com áreas de drenagem iguais a 2.460 km², 3.740 km² e 4.000 km², respectivamente.

A UHE Foz do Chapecó, situada 6 km a montante da foz do Rio Chapecó, drena uma área de cerca de 53.000 Km².

De um modo geral, todos os cursos d’água da bacia do Rio Uruguai até o local da futura UHE Foz do Chapecó, percorrem vales bastante encaixados, estreitos e profundos, com fortes declividades e drenam áreas predominantemente desmatadas onde geralmente ocorrem solos pouco espessos e de baixa permeabilidade.

3.5- Características do Empreendimento

A barragem e os túneis de adução da Usina Hidrelétrica Foz do Chapecó serão construídos no Rio Uruguai, cerca de 6 km a montante do ponto de sua confluência com o Rio Chapecó. Prosseguindo rio abaixo, será construído o desemboque do canal de fuga, 13 km a jusante desta mesma confluência.

O arranjo geral (Planta 002 e Figura 3) foi definido pelo aproveitamento do desnível natural de cerca de 12 m que existe ao longo da grande alça em forma de U que o Rio Uruguai forma neste local. Esta alça apresenta desenvolvimento total de 19,5 km.

As obras do circuito de geração compreenderão os túneis de adução, localizados a cerca de 200 m a montante do eixo da barragem principal; o canal de adução, no emboque e desemboque destes túneis; o reservatório de passagem; a tomada d' água; os condutos forçados; a casa de força e o canal de fuga. Estas obras estão localizadas na porção mais estreita da alça, a qual possui cerca de 1,7 km de largura.

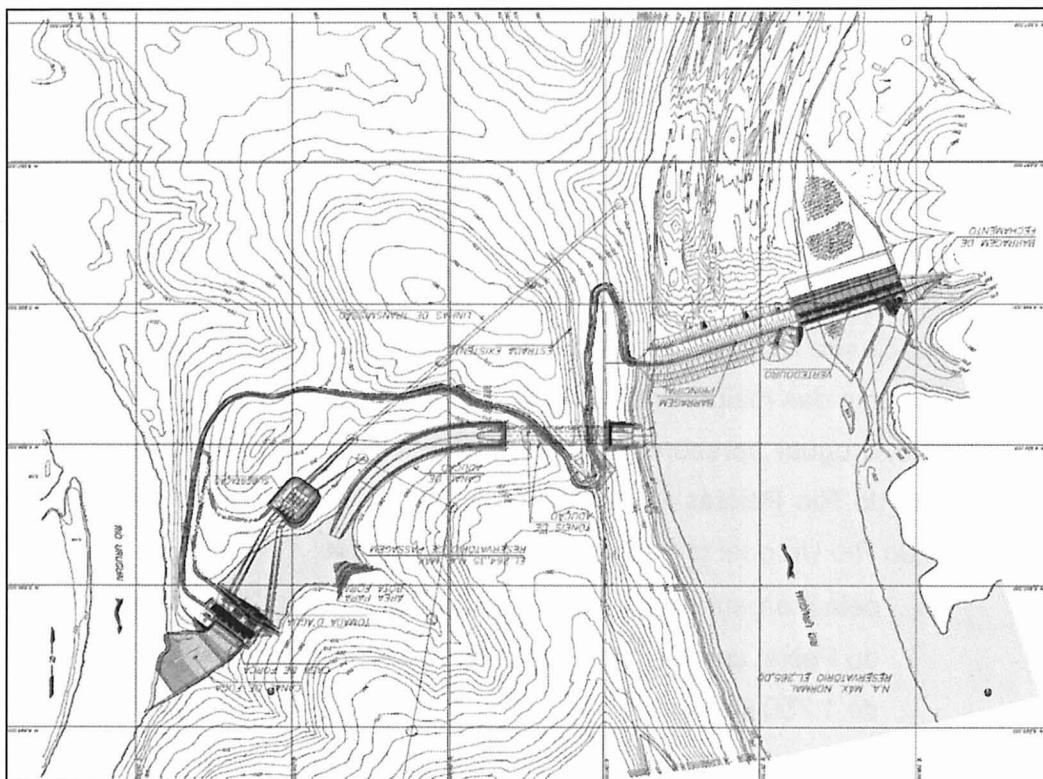


Figura 3 – Arranjo Geral do Empreendimento (Fonte: CNEC Engenharia S/A).

A estrutura de barramento será composta pela barragem principal formada por enrocamento, que consiste em um aterro feito com fragmentos de rocha (neste caso, material retirado da escavação dos túneis de adução), compactados em camadas com rolos vibratórios pesados. Nessas barragens, os deslizamentos de taludes são menos comuns, em virtude do elevado ângulo de atrito do enrocamento (ABGE, 1998).

Terá sua cota máxima em 270 m, com uma altura média de 47 m, estendendo-se por 548 m, o vertedouro contendo 15 vãos com cerca de 18 m cada um por aproximadamente 325 m e por uma barragem de fechamento localizada na ombreira direita.

Os dois túneis de adução têm comprimento de 357 m com um diâmetro médio de 18 m, e sua soleira se dá na cota 243 m. Na casa de força serão 4 unidades geradoras, com turbinas do tipo *Francis*, correspondendo a uma potência instalada de 855 MW, cada uma delas com aproximadamente 217 MW.

Uma das características que chama atenção neste projeto é o núcleo do barramento. Pelo fato da disponibilidade de material impermeável (argila) para o mesmo ser escasso, e o período de chuvas da região ser bastante extenso, optou-se por utilizar um núcleo de concreto asfáltico, que comparado ao núcleo argiloso, apresenta as seguintes vantagens: independência em relação às condições adversas de tempo, sendo possível trabalhar quase que continuamente mesmo em tempo chuvoso; ser praticamente impermeável, flexível, e ter uma espessura menor (60 cm) do que o equivalente de material argiloso. Desta maneira, tem-se um processo mais rápido e eficiente para o alteamento da barragem. Merece destaque o fato de que esta será a primeira barragem no país com essa tecnologia.

4- MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho está baseado principalmente em informações obtidas nas fases anteriores do projeto, coletadas na área do empreendimento, como dados de sondagens, bases topográficas, entre outros, que foram gentilmente cedidos pela empresa CNEC ENGENHARIA S/A.

Os trabalhos de descrição litológica e avaliação geomecânica do maciço foram realizados por empresas definidas pela projetista, no caso o CNEC ENGENHARIA S/A, a pedido do consórcio investidor. São planilhas com resultados de avaliações de alteração, coesão, fraturamento, RQD (*Rock Quality Designation*), recuperação de testemunhos e valores de ensaios de perda d'água (quando realizados), e ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) nos capeamentos de solo significativos.

Além desses dados, foram utilizadas as coordenadas fornecidas pela empresa de perfuração para elaboração do mapa de localização das sondagens, utilizando-se a base topográfica que fora levantada previamente pelas equipes em fases anteriores deste projeto.

Desta maneira foram traçadas seções que estão sitiadas as estruturas principais do empreendimento, como Vertedouro, Barragem Principal, Tomada D'água, Casa de Força e Túneis de Adução, onde foram realizadas as interpretações geológicas.

A coleta de dados das escavações, fotos, croquis na região onde foi inferida a seção, foram feitas pela equipe da empresa no local da obra, para um maior detalhe. Com as seções e investigações realizadas, foi possível confeccionar um mapa geológico em escala apropriada da área do empreendimento.

Dados estruturais das descontinuidades obtidas por meio do mapeamento dos afloramentos da fundação das estruturas civis foram disponibilizados, e foi realizado um estudo estatístico utilizando a plataforma DIPS, para caracterização dos principais sistemas.

5- FUNDAMENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA

Em obras de grande porte, como a do presente trabalho, as investigações dificilmente podem atingir a extensão adequada para eliminar riscos ou mesmo trazê-los a um nível aceitável. Neste caso é inevitável contar-se com certa quantidade de imprevistos/surpresas geológicas, os quais já foram tratados por Brito (1998).

O conceito de imprevisto geológico é tratado pelo autor como ocorrência de mudanças nas condições de feições previstas, como por exemplo, uma feição inesperada que nunca tinha sido encontrada associada ao tipo de maciço ou na região.

O enfoque principal de problemas e riscos geológicos, como falhamentos e fraturas, que são os contratemplos mais comuns nesse tipo de empreendimento, são suas maneiras de serem evitadas para um menor impacto nos custos dos mesmos.

Sendo assim, Barton (1974) propôs um índice denominado “Tunnelling Quality”, para a determinação das características do maciço rochoso e o suporte requerido, o qual foi utilizado neste trabalho, especificamente nos túneis. Os parâmetros considerados em sua classificação são os seguintes:

RQD – Índice de qualidade de rocha;

Jn – Índice de influência do número de famílias de fraturas;

Jr – Índice de rugosidade das fraturas;

Ja – Índice de alteração das paredes de fraturas;

Jw – Índice de influência da ação da água subterrânea;

SRF – Índice de influência do estado de tensões do maciço;

A qualidade do maciço rochoso é obtida a partir do produto dos três seguintes quocientes, que serão utilizados na Expressão 1.

RQD/Jn – dimensões dos blocos;

Jr/Ja – resistência ao cisalhamento entre blocos;

Jw/SRF – tensão existente nos maciços rochosos;

Expressão 1:

$$Q = (RQD/Jn) \times (Jr/Ja) \times (Jw/SRF)$$

O valor de Q pode variar entre 0,001 (Excepcionalmente Ruim) e 1000 (Excepcionalmente Boa), sendo o maciço classificado entre nove classes. A classificação apresenta ainda um método empírico de estimar a carga e 38 categorias de suporte, conforme o índice Q e as dimensões da obra, conforme diagrama abaixo (Figura 4). A natureza do suporte varia desde ancoragens ocasionais até concreto moldado com reforço de armação, tendo como termos intermediários, o concreto projetado com ou sem malha metálica.

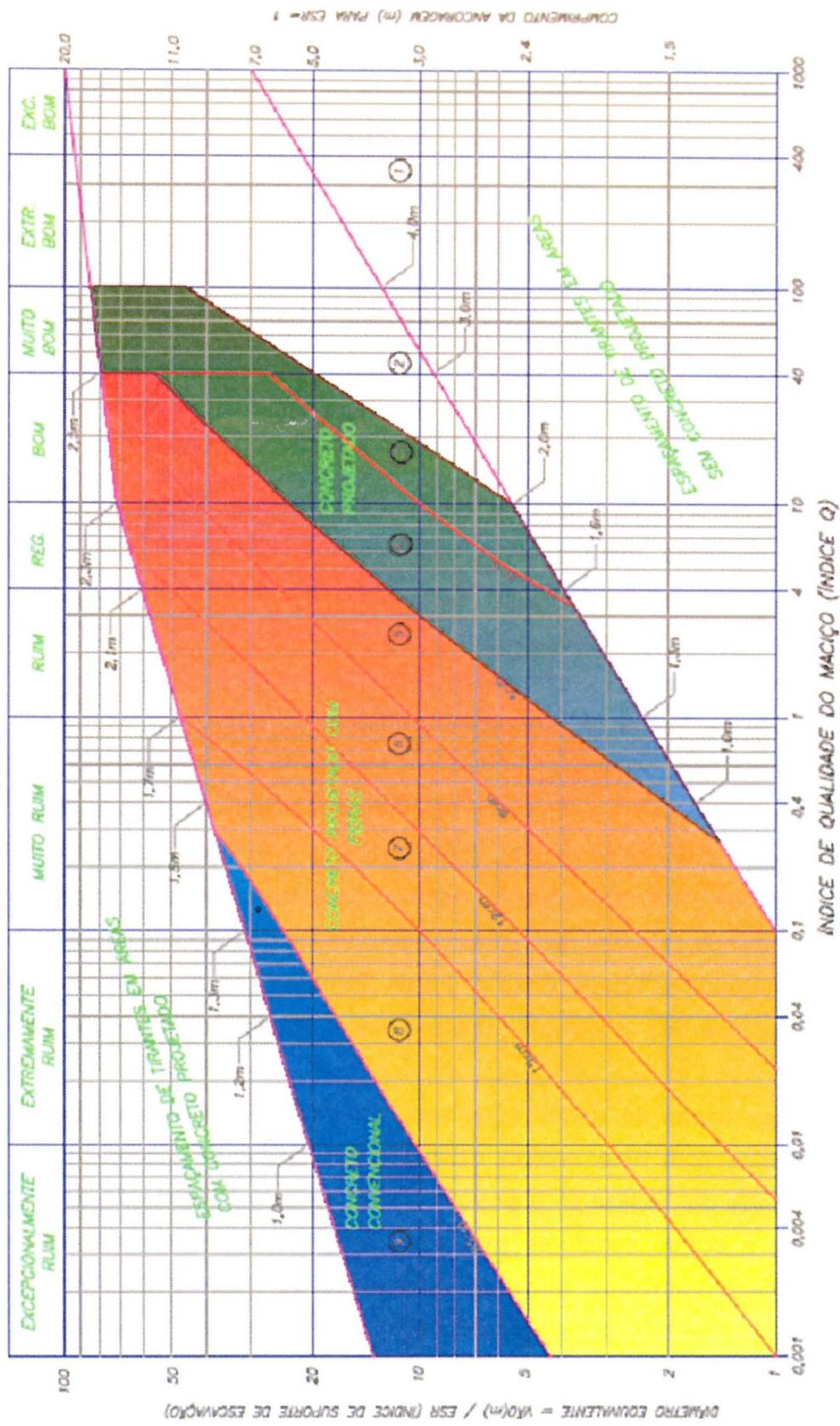


Figura 4 - Classificação de Maciços e Classes de Suporte de Túneis (Adaptado de Barton 1974)

CATEGORIAS DE SUPORTE

1 AUTOPORANTE;
2 TRAVES/CHUMBORES SISTEMÁTICOS;
3 TRAVES/CHUMBORES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO, 4 cm.
4 TRAVES/CHUMBORES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO, 4 - 10 cm.
5 TRAVES/CHUMBORES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS, 5 - 9 cm.
6 TRAVES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS, 8 - 12 cm.
7 TRAVES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS, 12 - 15 cm.
8 TRAVES SISTEMÁTICOS E CONCRETO PROJETADO COM FIBRAS, > 15 cm.
9 CHAMARDE DE CONCRETO PROJETADO ARMAÇADO COM FIBRAS DE AÇO.
10 REVESTIMENTO DE CONCRETO CONVENTIONAL.

6- RESULTADOS OBTIDOS

O desenvolvimento do trabalho permitiu obter informações das investigações de subsuperfície visando elaborar as seções geológicas e o mapa geológico, que foram interpretados a partir das investigações, em razão de que em campo era difícil encontrar rocha aflorante. Essas dificuldades interferiram diretamente na interpretação do mapa geológico para que fosse adequado a escala de trabalho.. Com os dados direcionais de descontinuidades, foi possível fazer uma interpretação através de estereogramas.

6.1- Organização da Base de Dados

Foram separados e organizados os dados estruturais de fraturas a partir do mapeamento das escavações, realizado tanto pela equipe do CNEC ENGENHARIA S/A como pelo aluno em etapas prévias de campo. As medidas foram adquiridas em campo em bússolas do tipo Brunton, entretanto, foi utilizada a notação clara na plataforma DIPS. Assim foi necessária a conversão de aproximadamente 3000 medidas de fraturamento coletadas durante o mapeamento das frentes de escavação da obra.

Foi desenvolvida uma planilha eletrônica em formato XLS (Planilha Excel) com o objetivo de converter esses dados de maneira sistemática e confiável, evitando dados em duplicata, e possíveis erros de conversão. Digitalizados em formato XLS a partir dos mapeamentos em formato DWG (Desenho em AutoCAD), os dados foram transferidos para a plataforma DIPS obtendo-se assim diagramas de densidades do fraturamento, separados por estrutura civil (Vertedouro, Túneis, Casa de Força, Tomada D'água), derrame basáltico (Classificados como "D" e "E"), e litologia (Basalto Denso, Basalto Vesículo-Amigdaloidal, Brecha).

A partir desse banco de dados organizado foi possível elaborar diagramas de densidade de medidas com uma análise estatística, estimando-se planos médios de fraturamento, e a partir daí avaliar se a posição escolhida para implantação do eixo do barramento, túneis, e outras estruturas civis foi adequadamente escolhida para este parâmetro. Estes dados estruturais totalizam cerca de 3000 medidas de fraturamento, obtendo-se então uma base estatística considerável e confiável para a realização dos estudos estruturais.

6.2- Testemunhos de Sondagem

Após a realização da investigação de subsuperfície, procedeu-se a descrição geológico-geotécnica dos testemunhos e posteriormente são digitalizados na forma de perfis

individuais de sondagem, conhecidos também por Log e Mini Log, em escala apropriada, no formato DWG (Figura 5). Este processo foi realizado pelo aluno junto à equipe da empresa.

Este arquivo digital possui todos os dados que são anotados nos perfis de sondagem que vem da empresa contratada para a sondagem. São estes: Alteração, Fraturamento, Recuperação, RQD, Ensaio de Perda D'água (quando realizado), e Litologia. Também é possível observar a elevação da boca do furo, profundidade alcançada, profundidade do nível d'água, sua inclinação e direção quando se tratar de um furo inclinado.

Os parâmetros são representados de maneira gráfica de mais fácil, rápida visualização e entendimento. Estes arquivos digitais são georeferenciados, e através de sua locação no sítio do empreendimento serão definidas as seções geológicas mais representativas para interpretação.

O mapa de locação das sondagens foi confeccionado apenas com as que foram utilizadas (31) para a realização das seções geológicas paralelas as estruturas civis do empreendimento, para facilitar o estudo em questão.

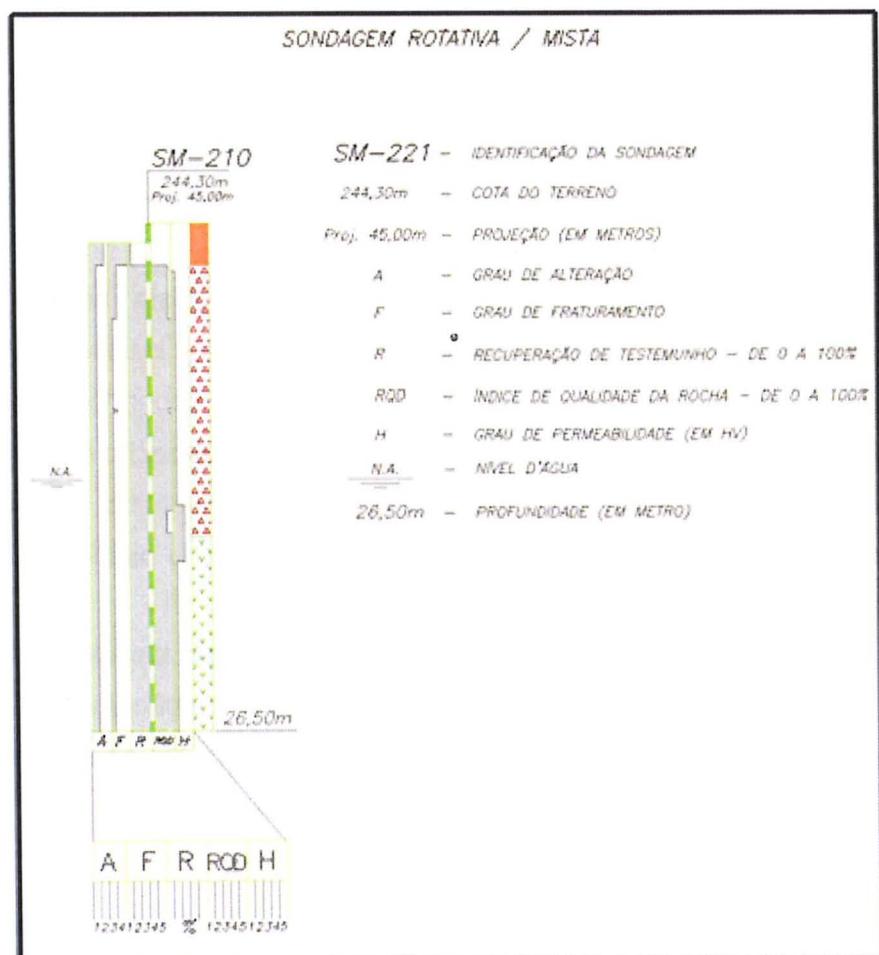


Figura 5 – Exemplo de Mini-Log de sondagem e seus parâmetros.

6.3- Mapa Geológico e Geologia Local

O mapeamento geológico da região do empreendimento foi realizado através dos dados das investigações de subsuperfície, pois a escassez de afloramentos e sua pouca representatividade com relação à escala de trabalho adotada tornaram essa técnica viável, sendo realizado como um modelo geológico em duas dimensões.

A área do sítio do empreendimento apresenta uma seqüência de 4 derrames basálticos dispostos sub-horizontalmente e com mergulho da ordem de 0,5° para Oeste, denominados seqüencialmente, do topo para a base, de derrames “B”, “C”, “D” e “E”.

O derrame “B”, unidade superior da seqüência, foi identificado somente através da sondagem SR-108, e apresenta contato inferior na elevação (els.) 319 m, mas devido à sua maior elevação, não terá interferência direta nas estruturas do empreendimento.

O derrame “C” ocorre sotoposto do derrame “B” até as els. 290 / 300 m. O derrame “D”, com cerca de 80 m de espessura, está basicamente situado no intervalo compreendido entre as els. 290 / 300 m e 210 / 220 m, e tem como destaque a implantação dos túneis de adução, da tomada d’água, e parte do vertedouro junto à margem direita. O derrame “E”, inferior, está postado abaixo das els. 210 / 220 m, prevendo-se nele a implantação da casa de força e as fundações do vertedouro e da barragem principal no leito do Rio Uruguai.

Via de regra, os contatos entre esses derrames são fechados, sendo interessante destacar a espessura significativa da brecha basáltica do topo do derrame “E”, da ordem de 20 m, na qual será escavada a casa de força.

No geral, o capeamento de solo existente nesta área é pouco expressivo, normalmente inferior a 3 m, e a passagem para a rocha é brusca, praticamente inexistindo transição. Junto ao sopé das encostas mais íngremes, e cobrindo os patamares, é comum a formação de depósitos de colúvio com esparsos blocos de rocha basáltica dispersos sobre a superfície, e imersos em solo argiloso marrom avermelhado. A exceção é a área de implantação do vertedouro junto à margem direita, onde a planície aluvionar se apresenta com cerca de 10 a 12 m de espessura.

De modo geral, o maciço rochoso mostra-se com baixos valores de condutividade hidráulica, sendo esta um pouco mais elevada em sua porção superior, onde geralmente se encontra ligeiramente mais fraturado (fraturas de alívio). No seu interior, os contatos entre derrames, em sua maioria, encontram-se selados.

6.4- Seções Geológicas

As seções geológicas foram definidas com base nas posições das estruturas civis (Arranjo Geral do Empreendimento e Posição das seções em anexo na Planta 003), possuem exagero vertical de duas vezes para melhor visualização da variação da topografia

e das regiões abrangidas, além de camadas de menor espessura. Como as estruturas geológicas não apresentam variação angular expressiva, não houve distorção nesse caso.

Com relação à posição, a seção na região do túnel é paralela a orientação do mesmo, e na região da Casa de Força, ortogonal e paralela a estrutura civil, considerando que a seção ortogonal se encontra já na Tomada D'água. No Vertedouro foi realizada uma seção geológica paralela ao eixo do mesmo, que é a mesma posição da barragem, bem como uma seção ao longo do Túnel de Adução do sistema de geração.

6.4.1- Eixo do Barramento / Vertedouro

A seção geológica traçada paralela ao eixo do Vertedouro/Barragem denominada Seção A (Planta 004), em anexo em tamanho A3.

Na região desta seção foram utilizadas 14 sondagens, sendo 8 em fases anteriores do projeto, 4 após a escavação do Vertedouro (Foto 02) e 2 furos exploratórios após a escavação do plinto da barragem. Esses furos exploratórios foram realizados posteriormente apenas por se tratar de um procedimento normatizado para verificação do maciço associado às cortinas de injeções e de eventuais problemas, já que não haverá mais escavações no local e dessa maneira pode-se perder alguma informação como fuga de fluídos. Portanto estes não possuem os dados dos parâmetros geomecânicos padronizados como no modelo de Mini-Log, esses dados estão descritos nas correspondentes profundidades.



Foto 2 – Foto aérea da enseadeira do Vertedouro
(Fonte: CNEC ENGENHARIA S/A).

O que logo pode se observar é que na região do Vertedouro são predominantes as rochas correspondentes ao derrame "E", que no topo, na margem direita (Vertedouro), está limitado pela Brecha Basáltica e na margem esquerda (Barragem), está limitado também pelo Basalto Vesículo-Amigdaloidal. Os derrames são classificados por sua litologia, porém, como são litologicamente semelhantes, foram diferenciados considerando o topo como a Brecha Basáltica e a base limitada pelo Basalto Denso. Nesta seção fica bem clara a divisão entre os derrames "D" e "E". Uma grande camada de brecha pode ser observada ao longo de toda seção, sendo mais espessa na margem direita do rio.

Outra feição que se pode observar claramente é uma grande camada de aluvião na margem direita, podendo chegar a 14 m de profundidade. Esse aluvião, atualmente, já foi totalmente escavado dando lugar a estrutura do vertedouro. Infelizmente este material não pode ser aproveitado como área de empréstimo devido à baixa composição argilosa e rica em matéria orgânica o que inviabiliza para utilização como material impermeabilizante.

Em todas as investigações os valores referentes à fraturamento (F) e grau de permeabilidade (H), obtiveram valores baixos, com exceção das regiões próximas à superfície, onde ocorre uma quantidade maior de fraturas de alívio, e assim resultando em valores maiores nos ensaios de perda d'água. Outra região que apresenta maiores valores nos ensaios de perda d'água são algumas regiões de Brecha Basáltica e Basalto Vesículo-Amigdaloidal. Isso se deve as próprias características das litologias que possuem um fraturamento característico. Como exemplo, podemos citar a sondagem SM-307, que possui um sistema de fraturamento com paredes pouco alteradas, com pouco ou nenhum preenchimento argiloso resultando, portanto nos altos valores de permeabilidade.

Na região correspondente ao trecho do barramento principal, observamos também valores de permeabilidade elevados, mesmo no Basalto Denso. Essa região de fato teve que receber um tratamento especial na área do plinto (base do barramento), devido à grande perda de fluídos que estava ocorrendo. Nas investigações, inclusive nos furos exploratórios, foram detectados valores até de H5 (valores superiores a 10l/min.m.atm) uma permeabilidade muito alta, e assim foi detectada uma descontinuidade ao longo do Basalto Denso, como um plano paralelo aos contatos dos litotipos.

6.4.2- Túneis

A seção geológica traçada paralela ao eixo dos túneis de adução (Foto 03) denominada Seção B (Planta 005), em anexo em tamanho A3.

Nesta seção foram utilizadas 7 sondagens para confecção do perfil geológico, e pode-se observar todos os derrames abrangidos pelo empreendimento, com destaque para o derrame denominado "D", identificado em 6 das 7 investigações, e com quase 70 m de espessura no Basalto Denso, e como pode ser observado na planta, os Túneis de Adução

passam por esta litologia. Através da interpretação também podemos notar a presença de lentes de Basalto Vesículo-Amigdaloidal, com aproximadamente 5 m de espessura e 30 m de comprimento, além de uma camada com cerca de 10 m de altura de Brecha Basáltica.

O derrame "C" é bem menos espesso quando comparado aos outros derrames observados nesta seção, possuindo por volta de 40 m de espessura total, com camadas bastante delgadas de Basalto Vesículo-Amigdaloidal e Brecha Basáltica, entretanto este derrame, assim como os derrames "B" e "E", não possuem nenhuma estrutura do empreendimento em seus domínios.



Foto 3 – Foto aérea da região dos Túneis de Adução

(Fonte: CNEC ENGENHARIA S/A).

De um modo geral, as investigações realizadas nesta região mostram valores baixos ou inexistentes de permeabilidade, com exceção de pequenos trechos em basalto vesicular e brechado, como podem ser exemplificados nas investigações SR-108 e SR-104, esta última ainda influenciada pelo sistema de descontinuidade identificado na seção pelo eixo do barramento.

Como se trata de uma das estruturas mais importantes do empreendimento, foram coletados dados para avaliação geomecânica do maciço, que será abordada neste trabalho.

6.4.3- Tomada D'água e Casa de Força

As seções geológicas traçadas paralelas e ortogonais aos eixos da Casa de Força e Tomada D'água (Foto 04), denominadas Seções C e D (Planta 006), e Seção E (Planta 007), ambas em anexo, e em tamanho A3 e A4 respectivamente.

As seções traçadas paralelamente ao eixo das estruturas são muito semelhantes, ambas cortam os derrames “D” e “E”, cortando camadas de Brecha Basáltica e de Basalto Vesículo-Amigdaloidal, diferenciando-se apenas as espessuras encontradas em cada uma delas, sendo que na Tomada D'água encontra-se uma camada mais delgada de basalto vesicular, com aproximadamente 8 m de espessura ao longo de toda seção, esta interpretada a partir de 4 sondagens mistas e rotativas. Na Casa de Força essa mesma camada possui cerca de 15 m de largura, entretanto vai se adelgazando conforme caminhamos em direção a sondagem SM-303, que se localiza mais a sudeste. Neste perfil fora interpretado a partir de 8 sondagens, sendo 5 sondagens em fases anteriores a escavação e 3 após a escavação da Casa de Força. Como estas três últimas foram executadas apenas como furos exploratórios, realizadas com o intuito de fazer injeções de calda de cimento, não possuindo, portanto dados de RQD, fraturamento e recuperação.

Já a seção E corresponde ao corte ortogonal das duas estruturas, truncando perpendicularmente as seções C e D. Podemos observar através da interpretação que os derrames ocorrem continuamente por todo o perfil de maneira ondulada. Alguns contatos tiveram de ser inferidos, pois não se obteve informação suficiente para afirmar a posição de tal contato.

Nos três perfis foram identificados baixos valores de permeabilidade, exceto nas regiões mais próximas da superfície devido às fraturas de alívio.



Foto 4 – Foto aérea da região da Casa de Força e Tomada D’água
(Fonte: CNEC ENGENHARIA S/A).

6.5- Dados Estruturais

Este trabalho separou todas as medidas tomadas do maciço ate o presente momento através dos mapeamentos geológicos de fundação, com o objetivo de estabelecer um padrão do comportamento geológico estrutural do Maciço. Para isso foi desenvolvido um estudo através dos dados obtidos referentes ao fraturamento com a elaboração de estereogramas e diagramas de concentração.

O que se pode afirmar é que existem na região do empreendimento padrões de fraturamento com 3 famílias preferenciais ocorrendo nas diversas estruturas da obra, sendo 2 subverticais e 1 sub-horizontal. Mais especificamente na região da casa de força (Figura 6), os dois primeiros apresentam direções predominantes N095 e N055, sendo que o primeiro tem uma concentração em torno de 16 a 18% enquanto que o segundo, estatisticamente menos marcante, apresenta uma concentração máxima entre 6 e 8%, semelhante à encontrada para as juntas sub-horizontais de atitude N040/20NW.

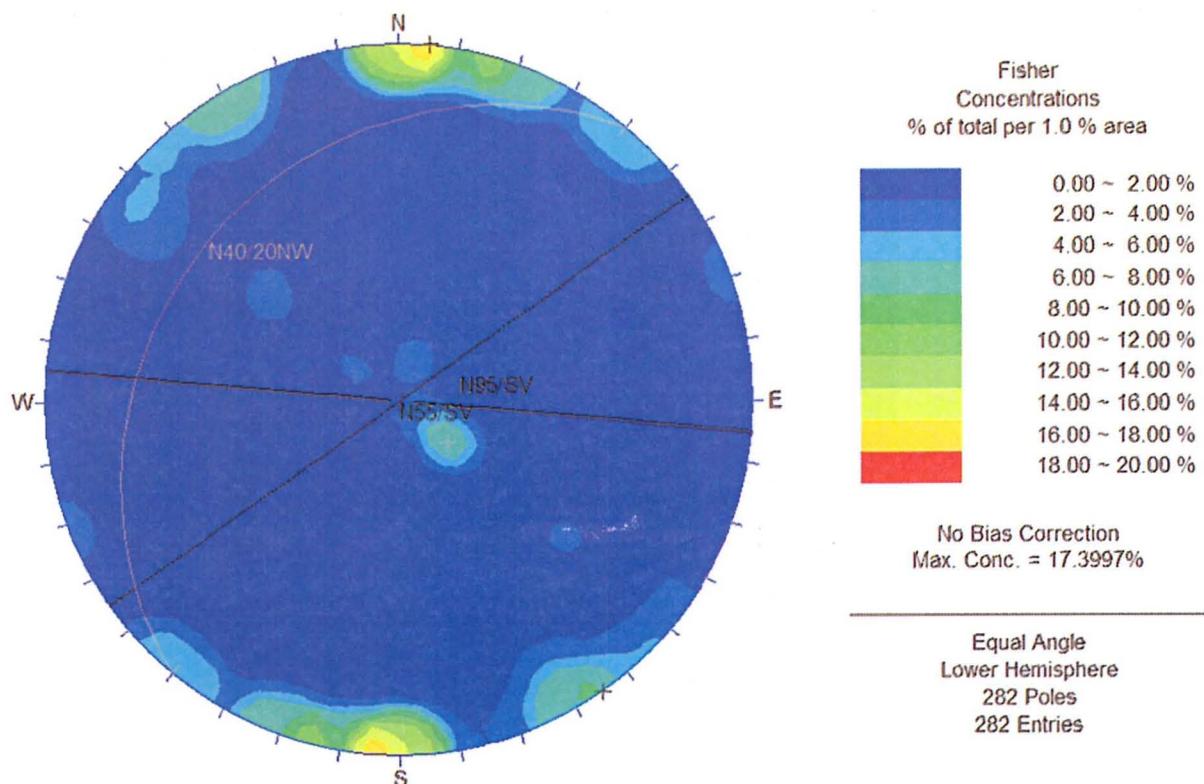


Figura 6 - Diagrama de concentração de fraturas na região da Casa de Força.

Estes sistemas de fraturas apresentados são marcantes e estão presentes ao longo de toda a área estudada, com algumas pequenas diferenças conforme pode ser observado nos diagramas a seguir nas figuras 7 e 8. Na figura 7 correspondente a região do Vertedouro, temos duas famílias preferenciais com direções N035 e N125 subverticais, entretanto, possuem uma densidade menor do que na região da Casa de Força, com aproximadamente 6% de concentração máxima. O fraturamento sub-horizontal está representado por um plano médio com direção N20/15NW, com concentração máxima entre 4 e 5%.

Na figura 8 mostrando a região dos Túneis de Adução com quase 1.700 dados, podemos observar 3 famílias preferenciais, e neste caso as três correspondem a fraturamentos subverticais, possuindo direções N025 e N125 com concentrações entre 10 a 12% e 4 e 6% respectivamente. A família correspondente à direção N035, possui concentração de cerca de 17%, sendo todas os valores subverticais.

Na figura 9 temos a região abrangida pela Tomada D'água, com 285 dados referentes às descontinuidades. Podem ser observadas 2 famílias preferenciais com direções N095 e N060, ambas subverticais. A primeira delas possui concentração máxima de quase 16%, o que seriam aproximadamente 45 medidas abrangidas neste campo, enquanto a outra direção possui dados entre 12 e 14% de concentração.

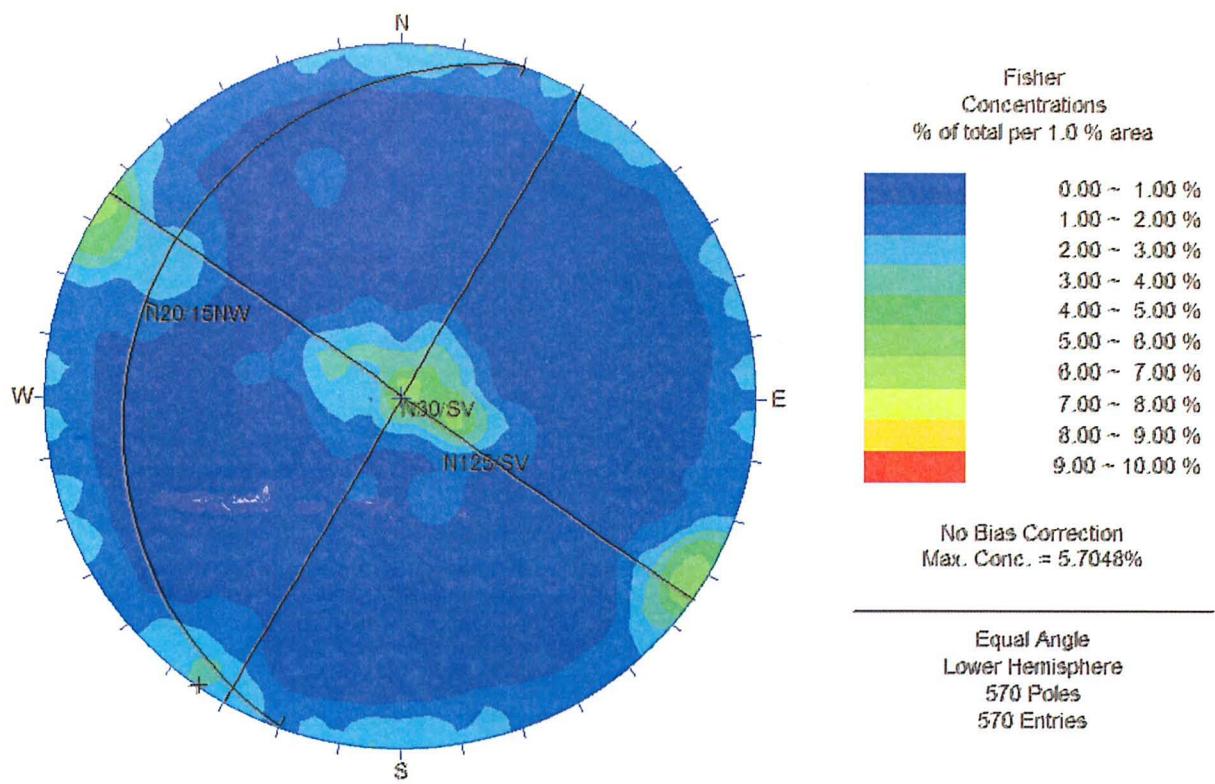


Figura 7 – Diagrama de concentração de fraturas na região do Vertedouro.

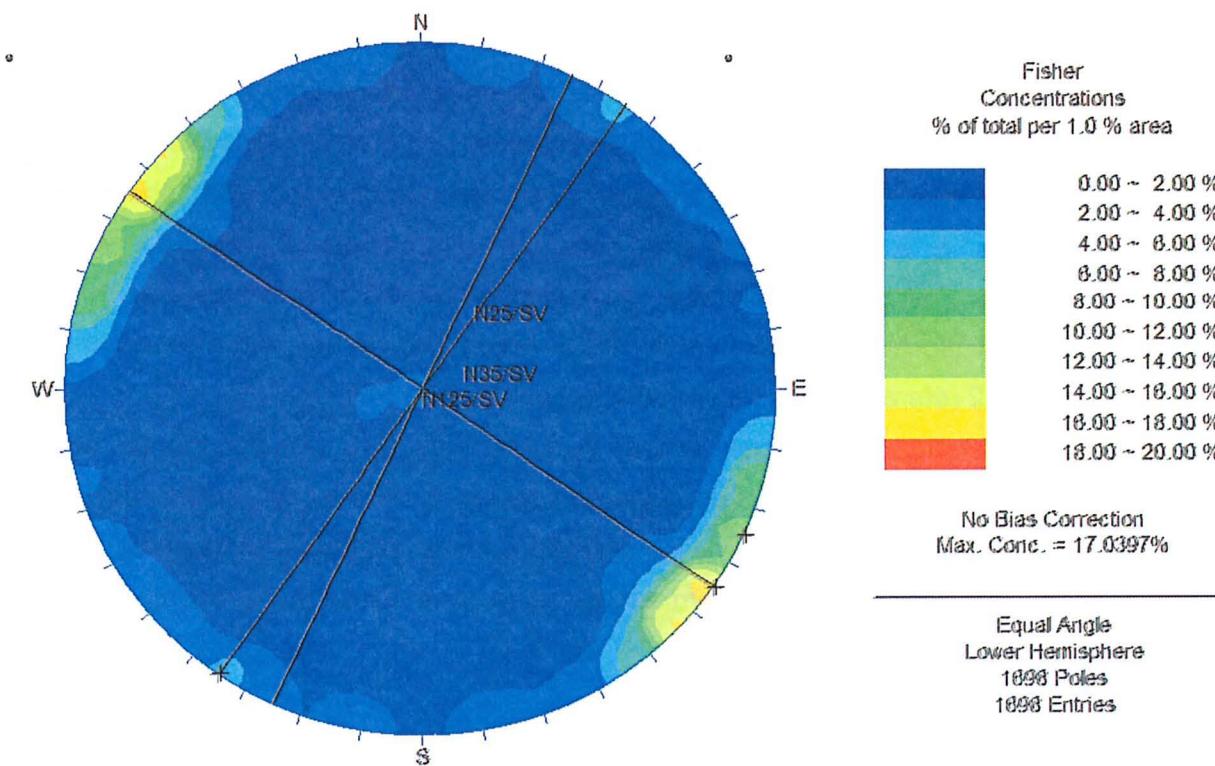


Figura 8- Diagrama de concentração de fraturas nos Túneis de Adução.

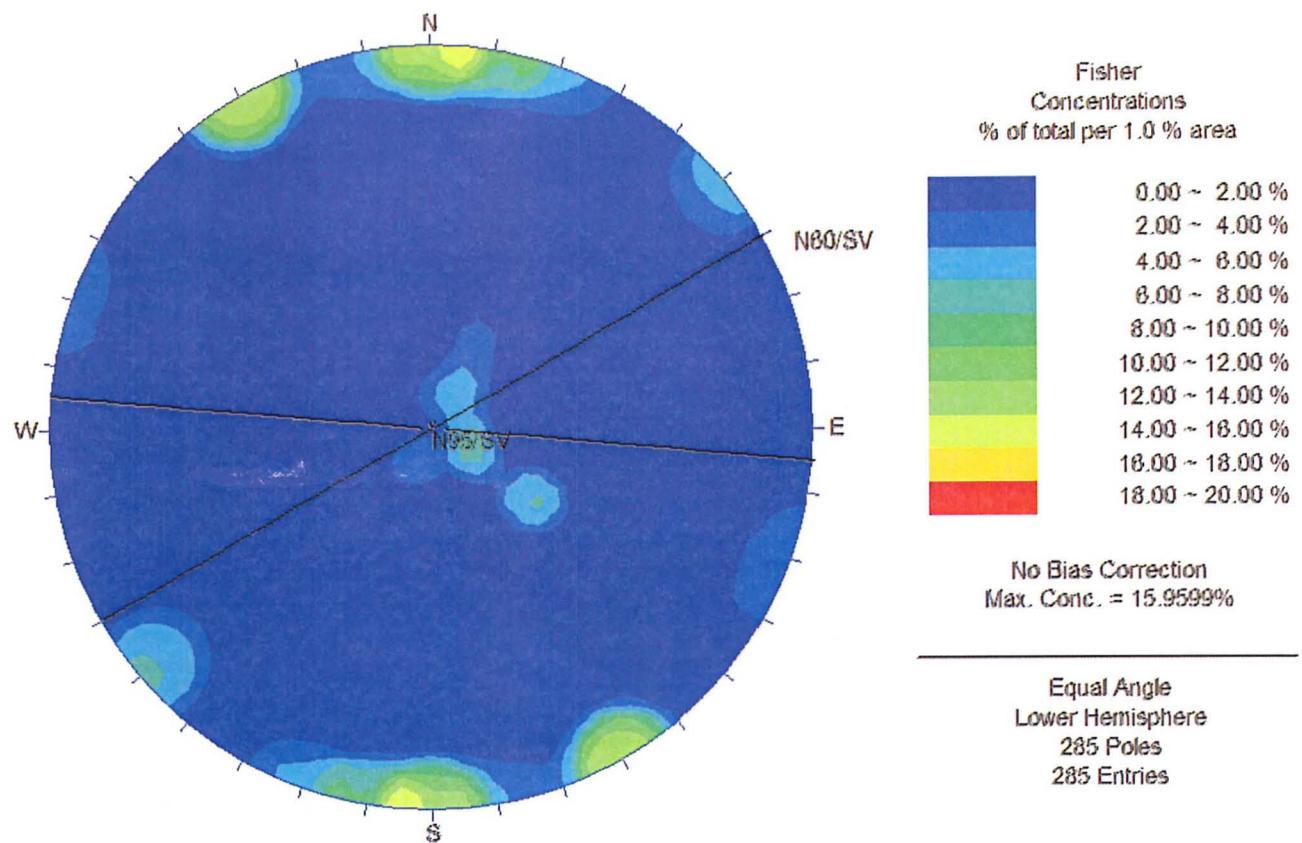


Figura 9 – Diagrama de concentração de fraturas na região da Tomada D’água.

Com análise nos diagramas de concentração, podemos dizer que essas 3 famílias de juntas estão relacionadas ao Basalto Denso, e que as estruturas civis estão basicamente contidas nesse litotipo, pois conforme podemos observar na figura 10, as concentrações desta litologia são muito semelhantes as encontradas nos outros diagramas.

Nas outras litologias abrangidas pelo empreendimento não observamos tais características e é possível atentar para um padrão quase aleatório, com baixas concentrações das descontinuidades, com valor máximo de aproximadamente 10% nos Basaltos Vesículo-Amigdaloidais e 6% nas Brechas Basálticas. Como exemplo temos as figuras 11 e 12 referentes aos respectivos litotipos.

Discute-se sobre a origem desses fraturamentos. São eles decorrentes de esforços tectônicos ou apenas resultado do alívio de pressão em razão da retirada de material no decorrer das escavações? O alívio de pressão poderia explicar o surgimento das fraturas sub-horizontais inviabilizando assim atribuir a mesma causa para a origem das juntas subverticais.

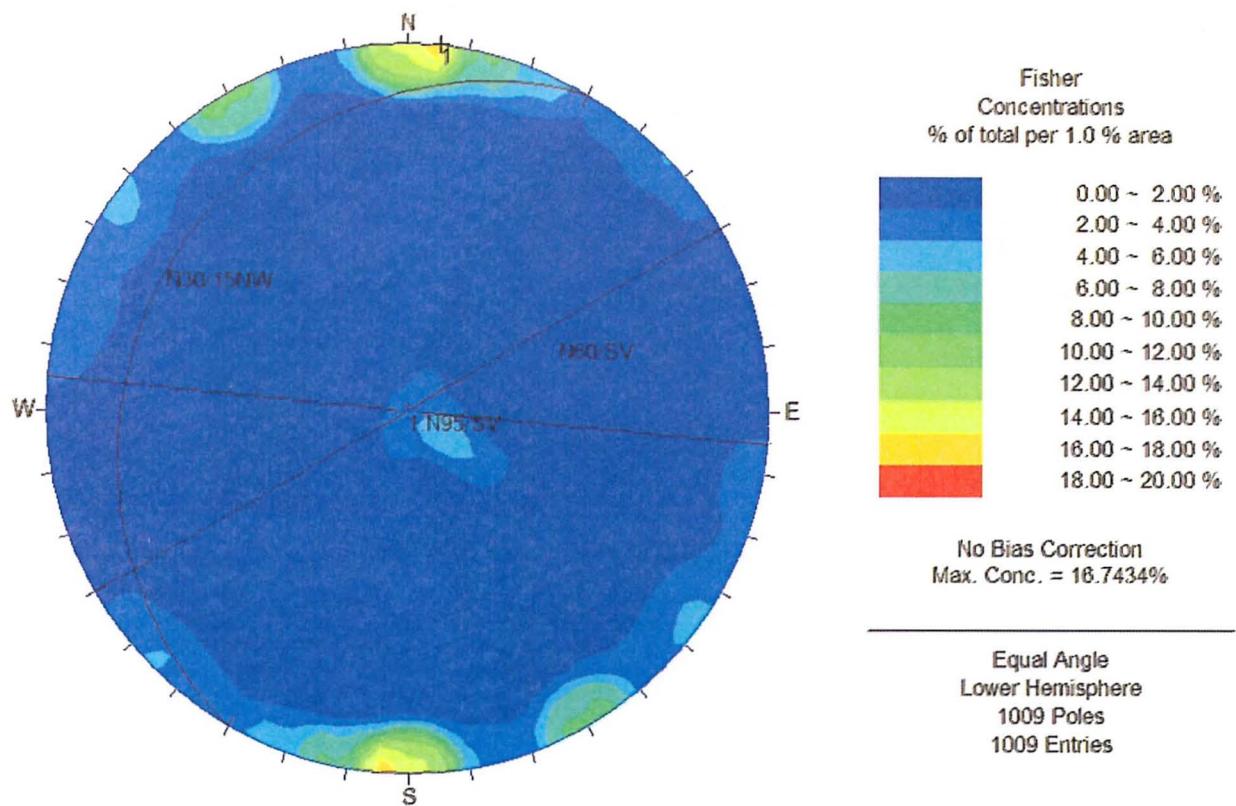


Figura 10 – Diagrama de concentração de fraturas referente ao Basalto Denso.

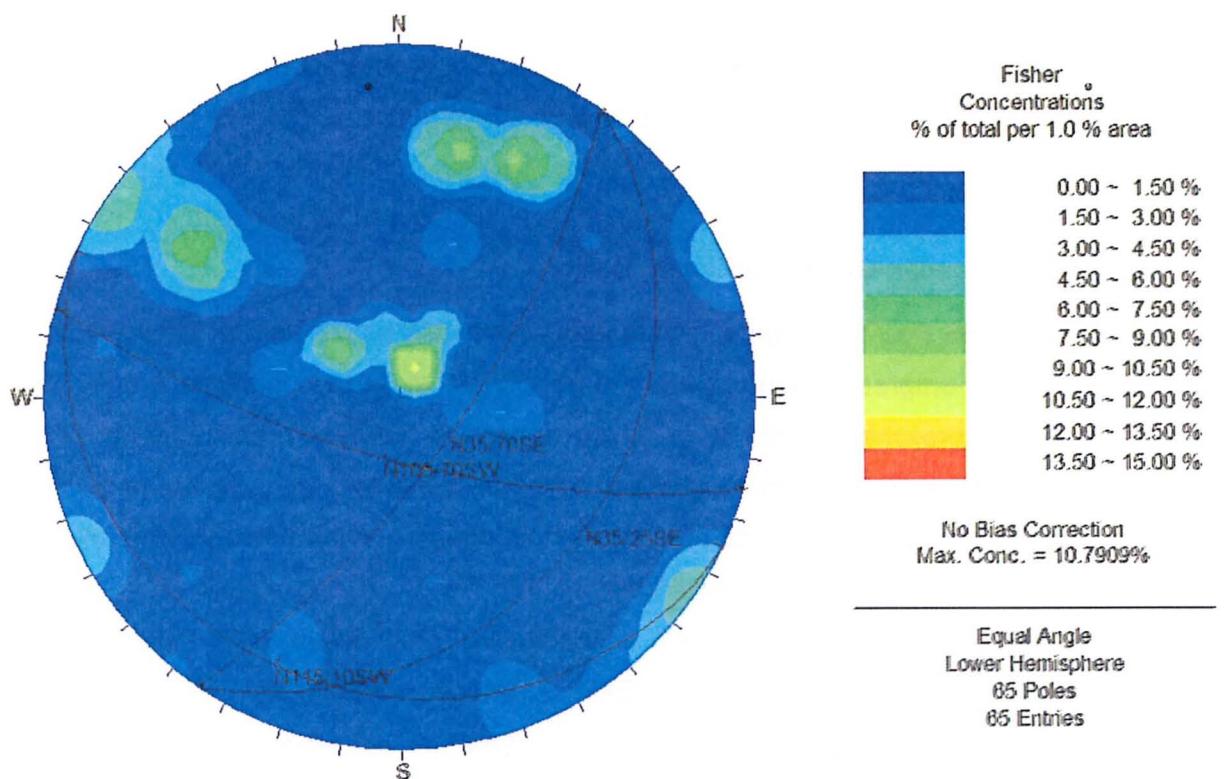


Figura 11 – Diagrama de concentração de fraturas referente ao Basalto Vesículo-Amigdaloidal.

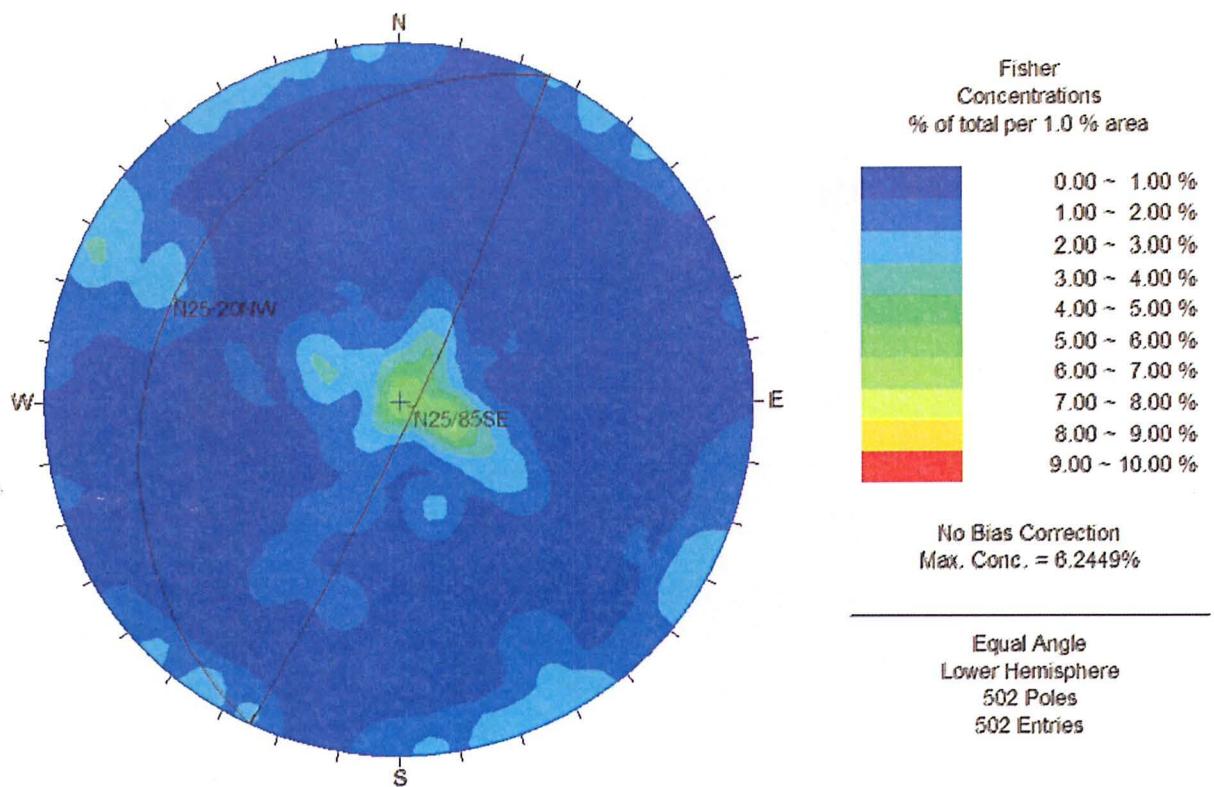


Figura 12 – Diagrama de concentração de fraturas referente à Brecha Basáltica.

Provavelmente estas fraturas subverticais já ocorrem em profundidade, porém devido à grande pressão do maciço apresentam-se fechadas ou seladas, assim demonstrado pelos baixos valores dos ensaios de perda d'água sobre pressão. Com as escavações há um alívio desta pressão resultando na abertura dessas fraturas, com maior perda d'água nestes ensaios.

6.6 – Classificação Geomecânica de Barton

Na UHE Foz do Chapecó foram escavados dois túneis que fazem parte do sistema de adução do empreendimento. Cada um possui 327 m de comprimento, e uma seção com diâmetro de aproximadamente 18 m. Desta maneira, o diâmetro da seção é um dos campos para definição do suporte que deve ser aplicado, conforme visto na figura 4. Toda essa extensão foi mapeada e descrita para que se pudesse colocar estas descrições em acordo com a classificação proposta por Barton.

Os outros parâmetros para classificação do maciço são obtidos através do mapeamento sistemático do túnel. Este acontece normalmente em trechos de 4 m, separando-se a abobada das paredes do túnel. A existência de muitos dados dos mapeamentos foi realizada uma sistematização e de forma reduzida, amostragens

representativas de trechos para caracterizar de maneira sucinta o maciço e o tipo de suporte definido através dos parâmetros definidos por Barton 1974.

Para o cálculo do índice de Barton, devemos adequar as descrições aos parâmetros. No índice de rugosidade das descontinuidades (J_r), é possível classificar em juntas ou fraturas descontínuas, até juntas ou fraturas, perfeitamente lisas, com estrias de fricção. No quesito alteração das descontinuidades (J_a), pode-se classificar em diversos campos, como tipos de contato entre os planos de descontinuidade, se estão em contato direto (Rocha X Rocha), se possuem algum tipo de preenchimento (material argiloso, por exemplo) ou se não existe contato direto entre eles, cada um com seus respectivos pesos para ser adotado na fórmula de Barton.

O fator de redução devido a presença de água (J_w), vai de aspectos como escavação com água ou fluxo menor que 5,0 l/min até um fluxo excepcional ou pressão alta de caráter persistente, pressão superior à 10 kg/cm². Todos os parâmetros e seus pesos adotados estão exemplificados na tabela 1 abaixo.

Fazendo uso desta, foram escolhidos dois trechos para amostragem já que no total são 175 planilhas com dados referentes às características do maciço, e como se trata de um litotipo bastante homogêneo, estes trechos são bastante representativos. Foram escolhidas diferentes descrições resultando em diferentes valores de Q para melhor visualização da variação do corpo rochoso com relação à proximidade da superfície.

Apesar de serem túneis separados, por estarem alinhados e próximos, os valores de Q são semelhantes.

(1) Tamanho dos blocos e grau de Faturamento (Cimento)		Jv	(4) Índice de Alteração das Descontinuidades	Jv	(6) Condições das Juntas da rocha
Família de Descontinuidade			DIREÇÃO	MERCULHO	
I- Família 1	4		I- Contato de rocha entre os planos da descontinuidade (sem minerais)	0,75	i) As zonas frágies interveem à escavação, podendo produzir desprendimento de rocha a medida que a escavação do túnel avança
Quantidade de Fraturas Distância da Medição	4		a- Fratura selada dura, sem alteração, impermeável	0,75	a- Muitíplas zonas frágies, contendo argila ou rocha desintegradada quimicamente, rocha de contorno muito seca (a qualquer profund.)
II- Família 2	2		b- Planos de descontinuidade em alteração, superfícies ligeiramente manchadas	1,0	b- Simples zonas frágies, contendo argila ou rocha desintegradada quimicamente (prof. da escavação menor que 50,0 m)
Quantidade de Fraturas Distância da Medição	4		c- Planos de Descontinuidade ligeiramente alterados, partículas arenosas, rocha desintegradada livre de argila	2,0	c- Simples zonas frágies, contendo argila ou rocha desintegradada quimicamente (prof. da escavação maior que 50,0 m)
III- Família 3	2		d- Recobrimento de argila, siltosa ou arenosa, pequena fissão de argila	3,0	d- Muitíplas zonas de fatura em rocha competente (liso de argilas), rocha de contorno seca (a qualquer profundidade)
Quantidade de Fraturas Distância da Medição	4		e- Recobrimento de argila blandas ou de baixo ângulo de atrito, calcinha ou níca. Também com presença de clorita, talco, grafita, etc. Pequena quantidade de argila extrarsita.	4,0	e- Zonas de faturas isoladas em rocha competente (liso de argilas - profundidade de escavação menor igual a 50,0 m)
IV- Família 4	2		f- Contato rocha x rocha ante um plano de deslocamento contante inferior a 10,0 cm (minimo de preenchimento em paciencia estressada)	4,0	f- Zonas de faturas isoladas em rocha competente (liso de argilas - profundidade de escavação maior que 50,0 m)
Quantidade de Fraturas Distância da Medição	4		g- Partículas arenosas, rocha desintegradada, liso de argila	4,0	g- Dioclases abertas, fortemente fraturado, em cubos (a qualquer profundidade)
Parâmetro Jv	2	RQD= 100	h- Fartere com sobreconsolidação, com enriquecimento de minerais argilosos não blandos (calcareo, com espessura inferior a 5,0 mm)	6,0	h- As zonas de faturas exercem certa influência, mas não interelevantemente (prof. da escavação menor que 50,0 m)
(2) Famílias de Juntas		Jv	i- Subconsolidação média a baixa enriquecimento de minerais (contínuos, com espessura inferior a 5,0 mm)	8,0	i- Muitíplas zonas frágies, contendo argila ou rocha desintegradada quimicamente (prof. da escavação menor que 50,0 m)
a- Rocha Maciça, sem juntas	0,6		j- Enrichimento com argila expansivas (cantenitos, boleia com grande espessura)	10,0	j- Simples zonas frágies, contendo argila ou rocha desintegradada quimicamente (prof. da escavação menor que 50,0 m)
b- Rocha Maciça, poucas juntas	1,0		k- Não existe contato rocha x rocha (preenchimento de mineral de argila) (ver q. h e i para descrição das canticções das argilas)	10,0	k- Zonas de faturas isoladas em rocha competente (liso de argilas)
c- Uma família de juntas	2,0		l- Zonas ou bandas de argila siliosa ou arenosas, com pequenas fissões de argila	10,0	l- Zonas de faturas isoladas em rocha competente (liso de argilas - profundidade de escavação menor igual a 50,0 m)
d- Uma família de juntas mais ocasionais	3,0		m- g- Zonas ou bandas contínuas de argila de espessura grossa (ver classe q. h e i para descrição das condições da argila)	16,0	m- Dioclases abertas, fortemente fraturado, em cubos (a qualquer profundidade)
e- Duas famílias de juntas	4,0		Nota: Os valores expressados para os parâmetros Jv e Jw se aplicam a famílias de dioclases ou descontinuidades que são menos favoráveis com relação a estabilidade tanto pela orientação das mesmas com por sua resistência ao cisalhamento (esta resistência pode encurtar mediante a expressão $T = \text{em.} \cdot 10^{-3} \cdot (\text{Jv/Jw})$)	16,0	iii- Rocha competente com problemas de tensão
f- Duas famílias de juntas e culturas ocasionais	6,0		h- Tensão média, condições de Tensões favoráveis	1,0	h- Baixas tensões, parte da superfície
g- Três famílias de juntas	9,0		i- Tensão elevada, estrutura muito compacta, favorável a estabilidade	1,0	i- Tensão média, condições de Tensões favoráveis
h- Três famílias de juntas e algumas ocasionais	12,0		j- Rockburst moderado depois de uma hora (deslocamento)	7,5	j- Rockburst moderado depois de uma hora (deslocamento)
i- Quatro ou mais famílias de juntas, rocha muito naturada	15,0		k- Deslocamento e estalidos da rocha depois de alguns minutos	15,0	k- Deslocamento e estalidos da rocha (desformações explosivas)
j- Rocha faturada, ferrosa	20,0		l- Estalidos violentos da rocha (desformações	25,0	l- Estalidos violentos da rocha (desformações
(3) Índice de rugosidade das descontinuidades		Jv	m- deformações dinâmicas imediatas em rocha maciças	25,0	m- deformações dinâmicas imediatas em rocha maciças
a- Contato rocha x rocha			n- Rochas deformáveis, fluxo plástico de rocha incompetente sobre influência de elas, pressão de rocha	7,5	n- Rochas deformáveis, fluxo plástico de rocha incompetente sobre influência de elas, pressão de rocha
b- Contato rocha x rocha ante um cisalhamento inferior a 10 cm			o- Pressão de deformação baixa	15	o- Pressão de deformação baixa
c- Juntas ou fraturas onduladas, rugosas ou irregulars	4,0		p- Pressão de deformação alta	7,5	p- Pressão de deformação alta
d- Juntas ou fraturas onduladas, lisas	2,0		q- Rochas expansivas, atividade química expansiva, dependendo da pressão de elas	15	q- Rochas expansivas, atividade química expansiva, dependendo da pressão de elas
e- Juntas ou fraturas onduladas, perfeitamente lisas	1,5		r- Pressão de deformação alta	15	r- Pressão de deformação alta
f- Juntas ou fraturas planas, lisas	1,0		s- Coeficiente de deformação alta	15	s- Coeficiente de deformação alta
g- Juntas ou fraturas, perfeitamente lisas, com estruturas de Flocos	0,5		t- Coeficiente de Suporte da Escavação	1,6	t- Coeficiente de Suporte da Escavação
h- Sem contato rocha x rocha			u- Túnel de Suporte	1,6	u- Túnel de Suporte
i- Zonas com argila, cascalho ou fragmentos de rocha	1,0		v- Túnel de Acesso	1,3	v- Túnel de Acesso
o- Ossacamento da família principal é superior a 3,0 m (1,0) ?			w- Casca de Força- Intersecção do Pórtal	1,3	w- Casca de Força- Intersecção do Pórtal
Valor de Jv					

Tabela 1 – Exemplo de tabela utilizada para o cálculo do índice Q (Fonte: CNEC Engenharia S/A).

Os valores mais baixos foram encontrados próximos ao emboque e desemboque dos túneis. Nessas regiões mais próximas a superfície, temos maior ocorrência de fraturamentos, com trechos triturados e leve alteração da superfície destas descontinuidades, além de um fluxo de água médio com pressões variando entre 1 e 2,5 kg/cm². Essas características influenciam no valor de quase todos os parâmetros J_v, J_n, J_r, J_a e J_w. Com valores atribuídos para os parâmetros o RQD, J_v, J_n, J_r, J_a, J_w e SRF conforme tabela 2 abaixo, temos que o valor de Q é igual a 11. Este valor classifica o maciço como uma rocha boa, e ao ser plotado no diagrama de Barton (figura 13), pode-se observar para o tratamento adequado para o suporte desse trecho da estrutura, com relação a seu diâmetro.

TÚNEL	2	
TRECHÔ DO TÚNEL	Emboque	ALTURA DO TÚNEL
DIÂMETRO DO TÚNEL	18	18,15
RQD	100	
FAMÍLIA DE JUNTAS - VALOR DE J_r		
i- Rocha triturada, terrosa		J _r = 12
FAMÍLIA	DIREÇÃO	MERCULHO
I- Família 1	N38E	803E
II- Família 2	N12S	9V
III- Família 3	N25	9V
IV- Família 4	N30E	9H
ÍNDICE DE RUGOSIDADE DAS JUNTAS		
c- Juntas ou fraturas onduladas, lisas		J _r = 2
ÍNDICE DE ALTERAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES		
b- Planos de descontinuidade em alteração, superfícies ligeiramente manchadas		J _a = 1
FATOR DE REDUÇÃO DEVIDO A PRESENÇA D'ÁGUA		
b- Fluxo d'água médio, com lavagem ocasional de preenchimento de juntas (pressão entre 1 a 2,5 kg/cm ²)		J _w = 0,86
CONDIÇÕES DE TENSÕES DA ROCHA		
i- Tensão média, condições de Tensões favoráveis		SRF = 1
$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$	Q = 11,000	QUALIDADE DO MACIÇO ROCHOSO ROCHA BOA

Tabela 2 – Tabela de Cálculo do Critério de Barton.

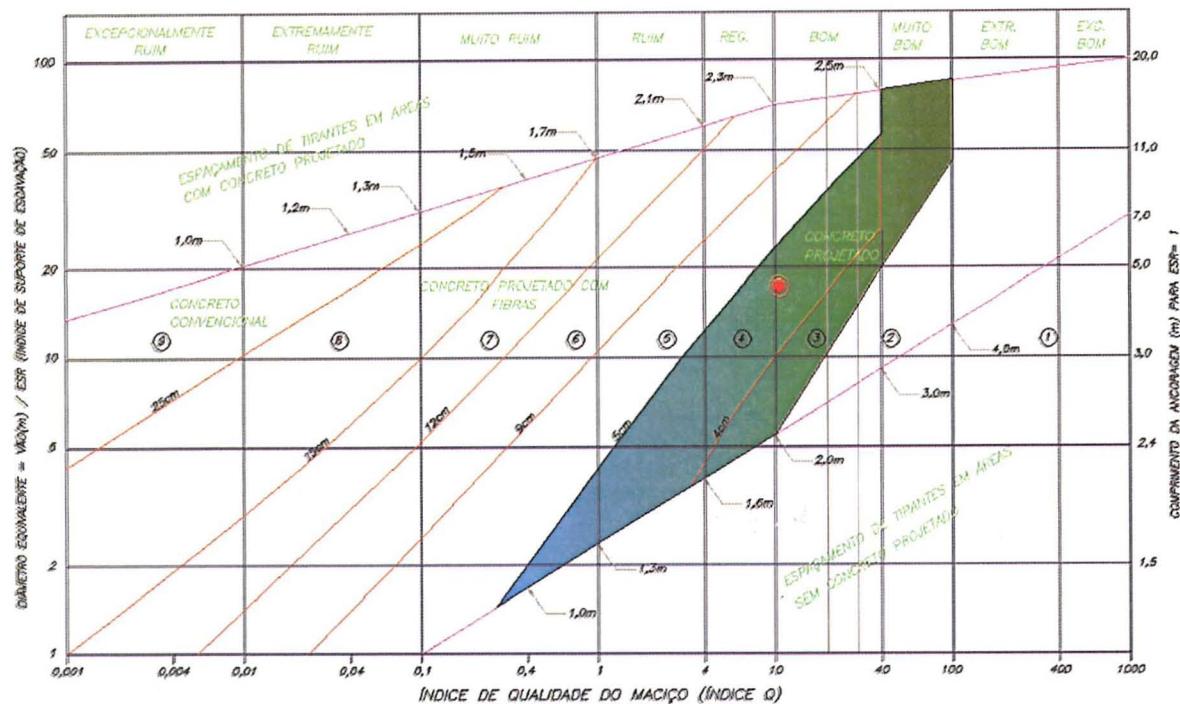


Figura 13 – Diagrama de Barton com valor obtido de Q (em vermelho) com relação ao diâmetro da estrutura.

Conforme observado no diagrama, o valor de Q obtido entra no campo 3, onde deve-se realizar um suporte com tirantes e/ou chumbadores sistemáticos e concreto projetado.

O outro caso que pode ser citado é da região mais central dos túneis, que se encontram mais afastadas da superfície, portanto são observados menor quantidade de sistemas de descontinuidades, dois sistemas principais e um ocasional, ainda com fraturas onduladas e lisas. Também se pode citar o fato das fraturas diferentemente do caso anterior que possuía uma leve alteração da superfície das descontinuidades, nesta região as fraturas encontram-se seladas, sem preenchimento e alteração, adquirindo um outro valor de acordo com a tabela 3. O fluxo de água também é reduzido, com valores inferiores a 5,0 l/min e pressões também inferiores a 1,0 kg/cm². Outro parâmetro que apresenta diferenças nas características descritas é o SRF (Condições de Tensões da Rocha). Como possui tensões elevadas e uma estrutura mais compacta, devido a seu posicionamento centralizado e sujeito as pressões litostáticas, este apresenta uma condição favorável a estabilidade.

Através do cálculo e das atribuições das características encontradas no maciço, chegou-se a um valor de Q igual a 44,44. Este valor classifica o maciço como uma rocha muito boa, e ao ser plotado no diagrama de Barton (figura 14), pode-se observar para o tratamento adequado para o suporte desse trecho da estrutura, com relação a seu diâmetro e seu índice de suporte da escavação.

No diagrama, o valor obtido incidiu no campo correspondente ao número 2, que o indicado é realizar o suporte com tirantes esporádicos conforme necessidade, isso devido a boa qualidade do corpo rochoso analisado.

TÚNEL	1	
TRECHO DO TÚNEL	Central	ALTURA DO TÚNEL
DIÂMETRO DO TÚNEL	18	18.15
RQD =	100	
FAMÍLIA DE JUNTAS - VALOR DE J_{II}		
<i>f. Duas famílias de Juntas e outras ocasionais</i>	J _{II} =	6
FAMÍLIA	DIREÇÃO	MERGULHO
I- Família 1	N40E	SV
II- Família 2	N120	SV
III- Família 3	N10	SV
IV- Família 4		
ÍNDICE DE RUGOSIDADE DAS JUNTAS		
<i>c. Juntas ou fraturas onduladas, lisas</i>	J _R =	2
ÍNDICE DE ALTERAÇÃO DAS DESCONTINUIDADES		
<i>a. Fratura seca, dura, sem alteração, impermeável</i>	J _A =	0.75
FATOR DE REDUÇÃO DEVIDO A PRESENÇA D'ÁGUA		
<i>a. Escavação em água ou fluxo <5,0 l/min localizado (pressão menor que 1,0 kg/cm²)</i>	J _W =	1
CONDIÇÕES DE TENSÕES DA ROCHA		
<i>j. Tensão elevadas, estrutura muito compacta, favorável a estabilidade.</i>	SRF =	1
$Q = \frac{RQD \cdot J_r \cdot J_w}{J_{II} \cdot J_a \cdot SRF}$		Q = 44.444 QUALIDADE DO MACIÇO ROCOSO ROCHA MUITO BOA

Tabela 3 – Tabela de Cálculo do Critério de Barton.

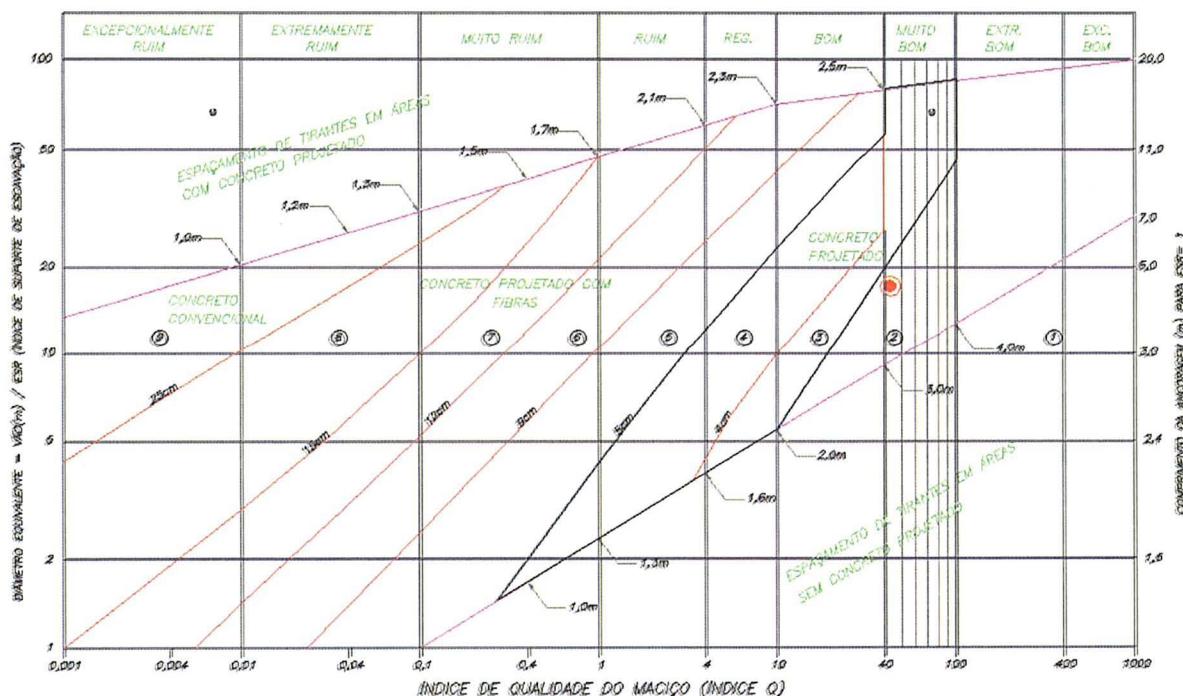


Figura 14 – Diagrama de Barton com valor obtido de Q (em vermelho) com relação ao diâmetro da estrutura.

7- CONSIDERAÇÕES FINAIS

As interpretações dos dados a partir dos diagramas de concentração de descontinuidades do maciço resultam em planos preferenciais destes sistemas.

Como apontado por Wahlstrom (1948) *in* Badgley (1965), juntas e falhas são a principal causa de colapsos em túneis. Reeves & Ross (1931) *in* Badgley (1965), diz que se possível, um túnel ou uma escavação subterrânea deve ser construída com direções de sistema de juntas e fraturas ortogonais ao eixo do túnel, situação exatamente oposta para a locação dos eixos da barragem, que deve possuir as direções desses sistemas preferencialmente paralelas ao eixo do barramento.

Através dos diagramas pode-se dizer que existem 3 sistemas de juntas preferenciais em toda a região do empreendimento, sendo duas subverticais, com direções praticamente E-W e outra NE-SW, e outra sub-horitzontal com direção NW-SE. Considerando o fato de que o eixo do barramento encontra-se praticamente com orientação E-W, temos uma situação favorável com relação ao posicionamento do mesmo.

Apesar dos túneis de adução não estarem totalmente ortogonais aos sistemas de fraturas, neste caso devemos atentar para outros condicionantes para sua locação, como o posicionamento de outras estruturas como a Tomada D'água e Casa de Força, incluindo o fato de ser a porção mais estreita do meandro em que se encontra a UHE Foz do Chapecó. Ainda sim temos uma situação favorável no que diz respeito à qualidade do maciço, como observado nos valores obtidos através do método de Barton, com classificações boas e muito boas com relação ao corpo rochoso.

Isto posto, fica clara a importância do estudo geológico realizado de maneira adequada, com acompanhamento constante em todas as fases do projeto, tanto nas iniciais como fases de inventário, viabilidade, como projeto básico, e projeto executivo como foi relacionado neste trabalho.

8- BIBLIOGRAFIA

ABDO, J.M.M. – O Futuro e os limites da Energia Elétrica no Brasil, CICLO TEMÁTICO “CIVILIZAÇÃO DA BIOMASSA” PAINEL MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA, Instituto de Estudos Avançados, USP – São Paulo, 2007.

Disponível em:<<http://www.iea.usp.br/iea/online/midiateca/abdoenergiaeletrica.pdf>>
Acesso em: 06 de agosto de 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL. *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Oficina de Textos, 1998.

Atlas Geográfico de Santa Catarina. Governo do Estado de Santa Catarina. 1986

BADGLEY, P.C. *Structural and Tectonic Principles*. Harper & Row, New York, 1965.

BARTON, N.; LIEN,R & and LUNDE,J. 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanical*, 6 (4): 183-236.

BIENIAWSKI, Z.T. - *Engineering rock mass classification* – New York, 1989.

BRITO, S.N.A. – Imprevistos Geológicos em Túneis de Empreitada por Preço Global (“Turn-Key”), I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS – Poços de Caldas/MG 1998.

JUSTUS, J. de O. – Hidrografia. In: IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Geografia do Brasil: Região Sul* – Rio de Janeiro/RJ 1990.

LUCHETTI, A.C.F.; MACHADO, F.B.; NARDY, A.J.R.; SQUIZATO, E.; OLIVEIRA, M.A.F. – Litoestratigrafia e Litogeоquímica das Rochas Vulcânicas Ácidas Associadas ao Vulcanismo Serra Geral, III SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS – Cabo Frio/RJ 2005.

MILANI, E.J.; FRANÇA, A.B.; SCNEIDER. R.L. 1994. Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, 8(1): 69-82.

Relatório Anual ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2006.

TEIXEIRA, A. L.; GAUCHER, C.; PAIM, P. S. G.; FONSECA, M. M.; PARENTE, C. V.; SILVA FILHO, W. F.; ALMEIDA, A. R.. Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda, 2004

8.1 – CONSULTA ELETRÔNICA

Website do Governo Federal – www.abrasil.gov.br

Acesso em: 14/03/2008

- www.agenciabrasil.gov.br

Acesso em: 14/03/2008

Website da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL – www.aneel.gov.br

Acesso em: 14/03/2008

Website da Agência Nacional de Águas – ANA – www.ana.gov.br

Acesso em: 14/03/2008

9- ANEXOS

Planta 001 – Planta de Legenda

Planta 002 – Mapa Geológico

Planta 003 – Planta de localização das Sondagens, Seções Geológicas e Arranjo do Empreendimento

Planta 004 – Seção Geológica – Eixo do Vertedouro / Barragem

Planta 005 – Seção Geológica – Túneis de Adução

Planta 006 – Seções Geológicas – Tomada D’água e Casa de Força

Planta 007 – Seção Geológica – Tomada D’água e Casa de Força

SEÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

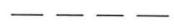
LITOLOGIA



TERRENO NATURAL



TOPO ROCOSO



LINHA DE ESCAVAÇÃO

LITOLOGIA

ALUVIAÇÃO

SOLO DE ALTERAÇÃO

COLÚVIO

BASALTO DENSO (BSD)

BASALTO VESICULO AMIGADALOIDAL (BVA)

BRECHA BASÁLTICA (BRB)



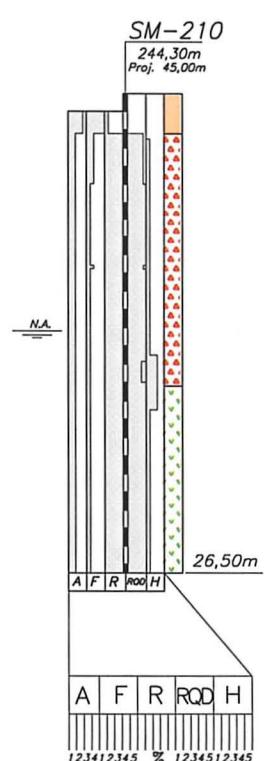
DERRAME

*Nota: Padrões de preenchimento e linha poderão variar
devido às imprecisões da impressora*

— ? — CONTATO INFERIDO

— — — CONTATO LITOLÓGICO

SONDAGEM ROTATIVA / MISTA



Universidade de São Paulo

GEOCIÊNCIAS 

Instituto de Geociências - USP

PROJETO

TF/08-27

Título

PLANTA - 001

LEGENDA

Escala

(NO ORIGINAL)

Verificação

Orientador

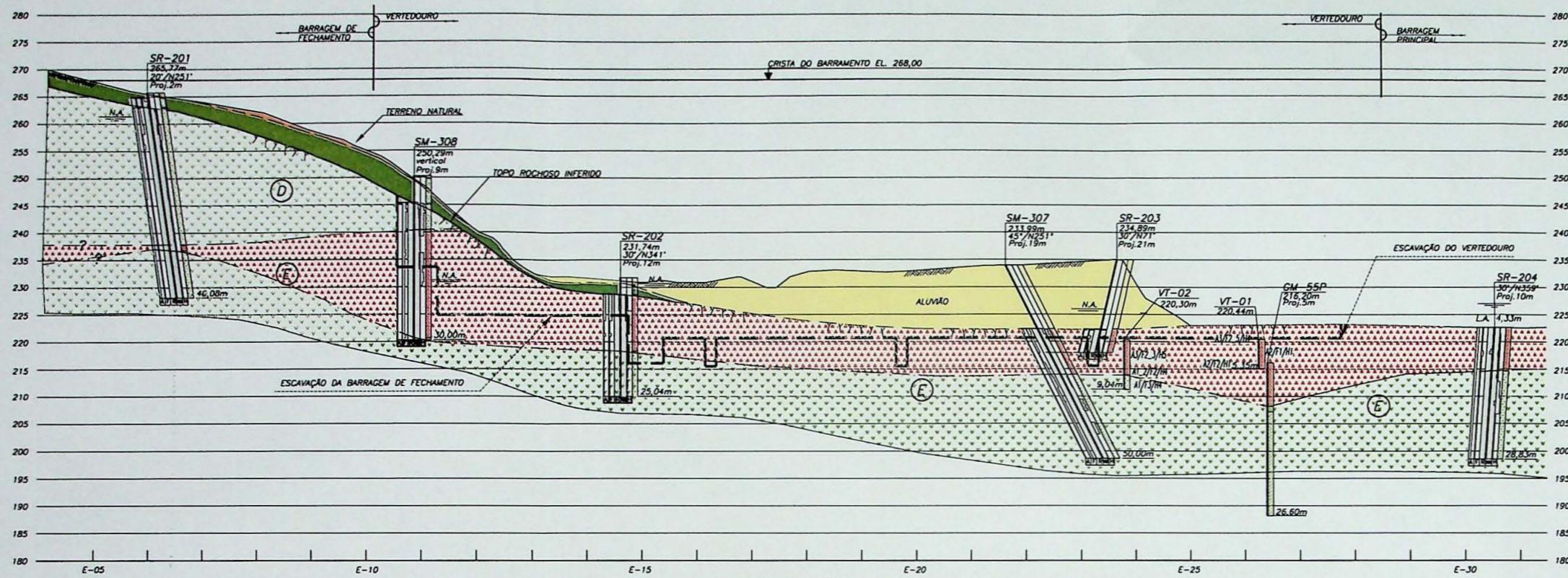
Dr. Marcos Egydio da Silva

Aluno

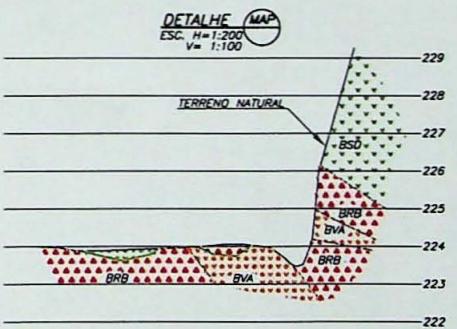
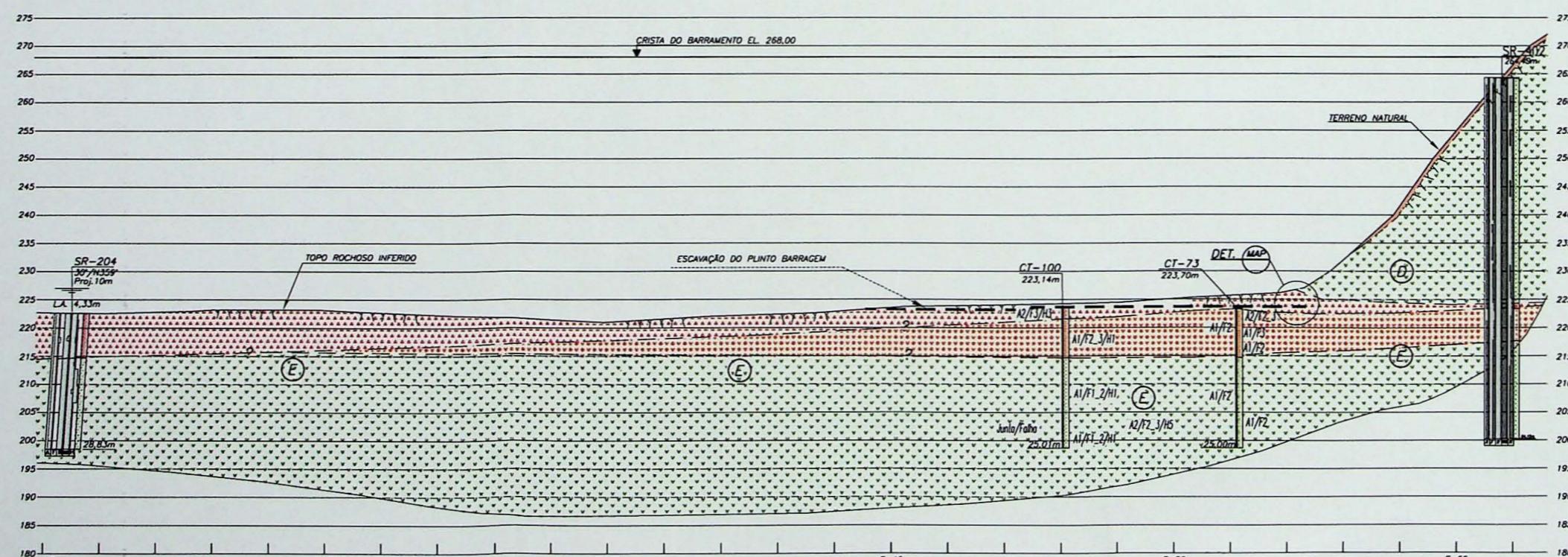
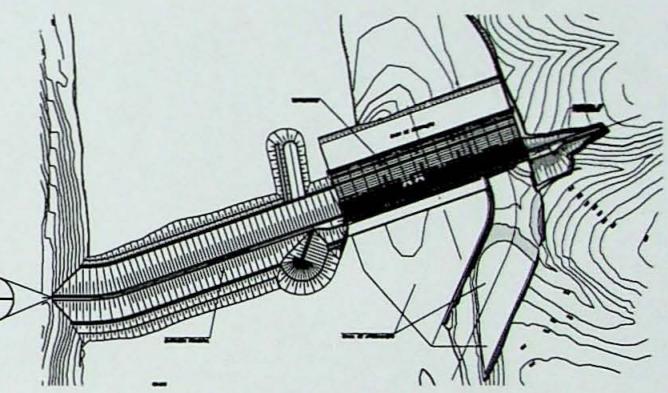
Gustavo Chaves Alonso

Data

21/08/2008



Nota:
1 - PARA LEGENDA VER PLANTA 001



USP
Universidade de São Paulo

GEOCIÉNCIAS

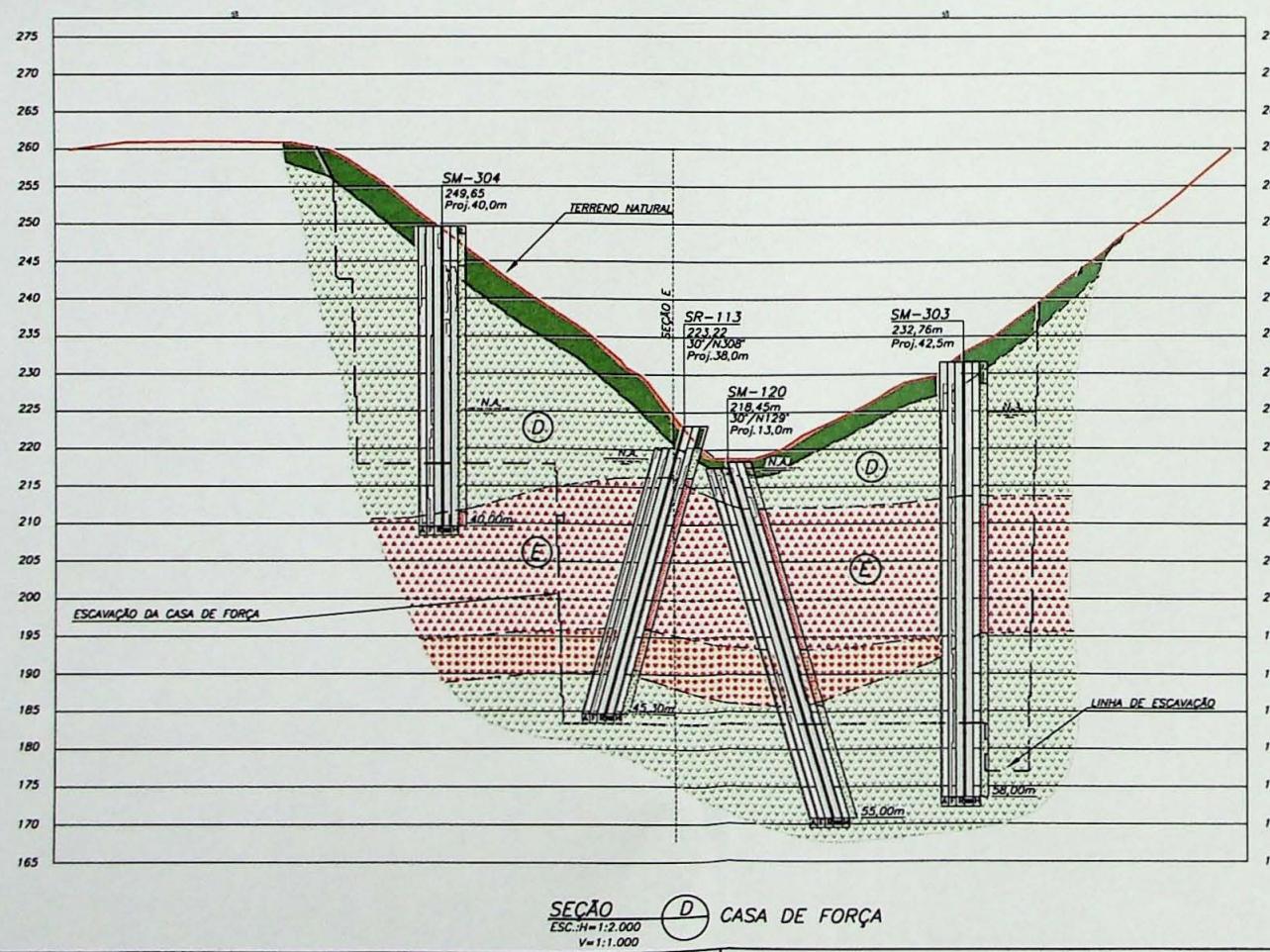
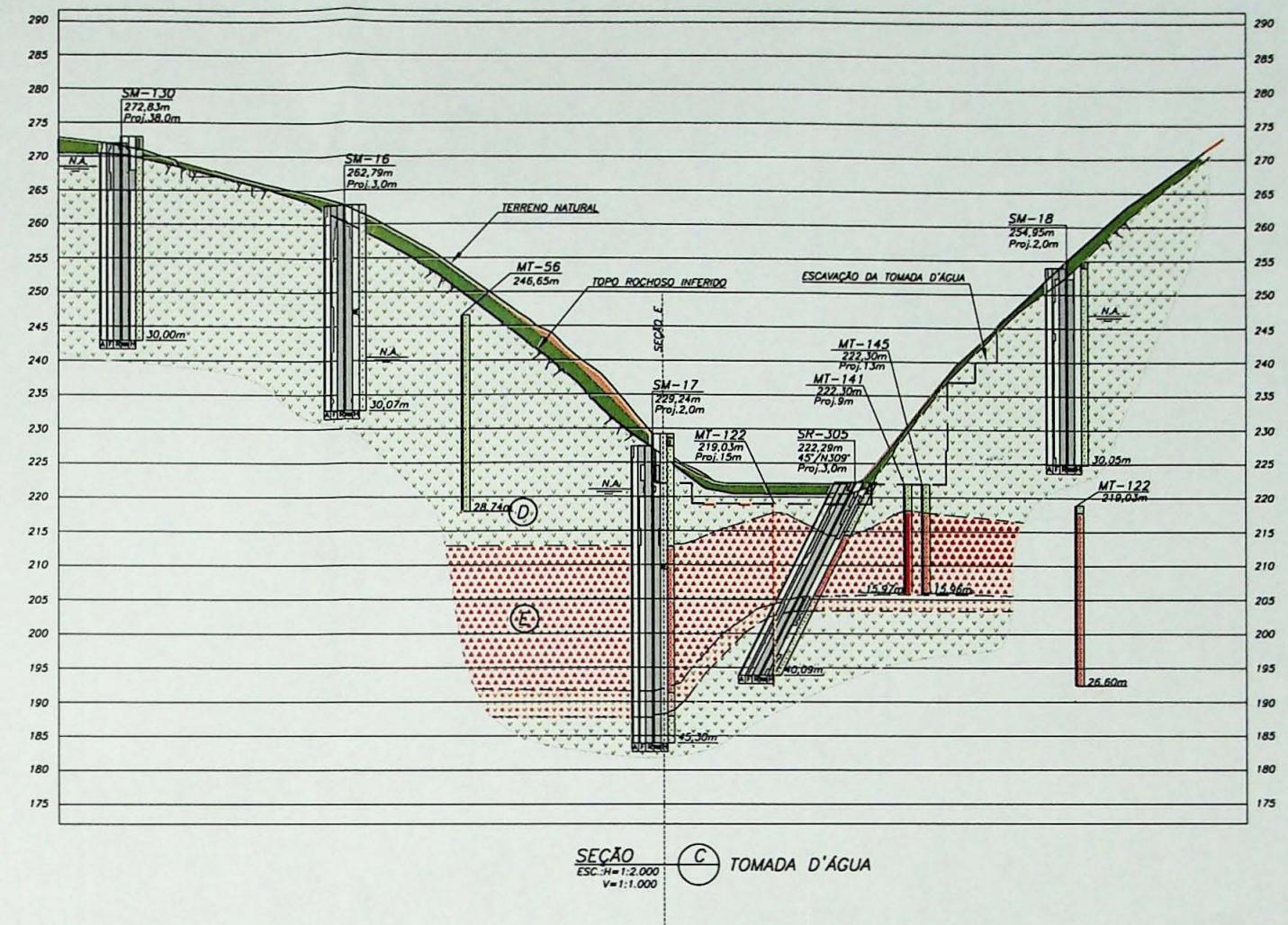
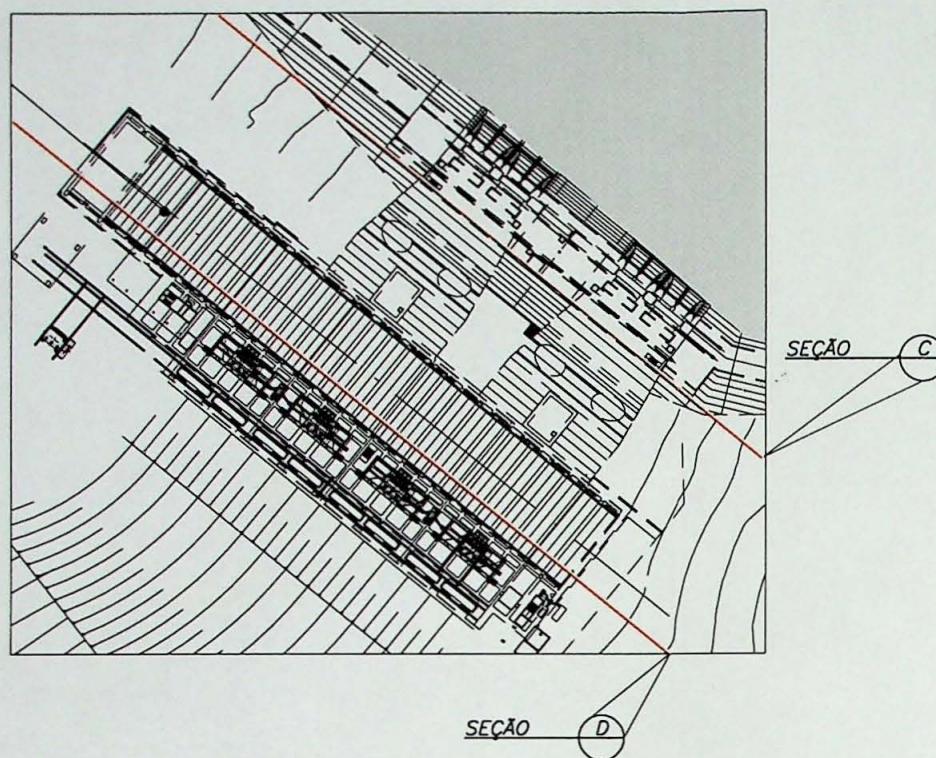
Instituto de Geociências - USP

Projeto Executivo

TF/08-27

Título
PLANTA 004
SEÇÃO GEOLÓGICA
EIXO VERTEDOURO / BARRAGEM

Escala
Verificação
Orientador
Dr. Marcos Egídio da Silva
Aluno
Gustavo Chaves Alonso
Data
29/07/2008



Nota:
1 - PARA LEGENDA VER PLANTA 001

USP
Universidade de São Paulo

GEOCIÊNCIAS

Instituto de Geociências - USP

Projeto Executivo

TF/08-27

Título

PLANTA 006
SEÇÕES GEOLOGICAS
TOMADA D'ÁGUA E CASA DE FORÇA

Escala

(NO ORIGINAL)

Verificação

Orientador

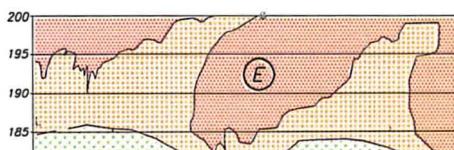
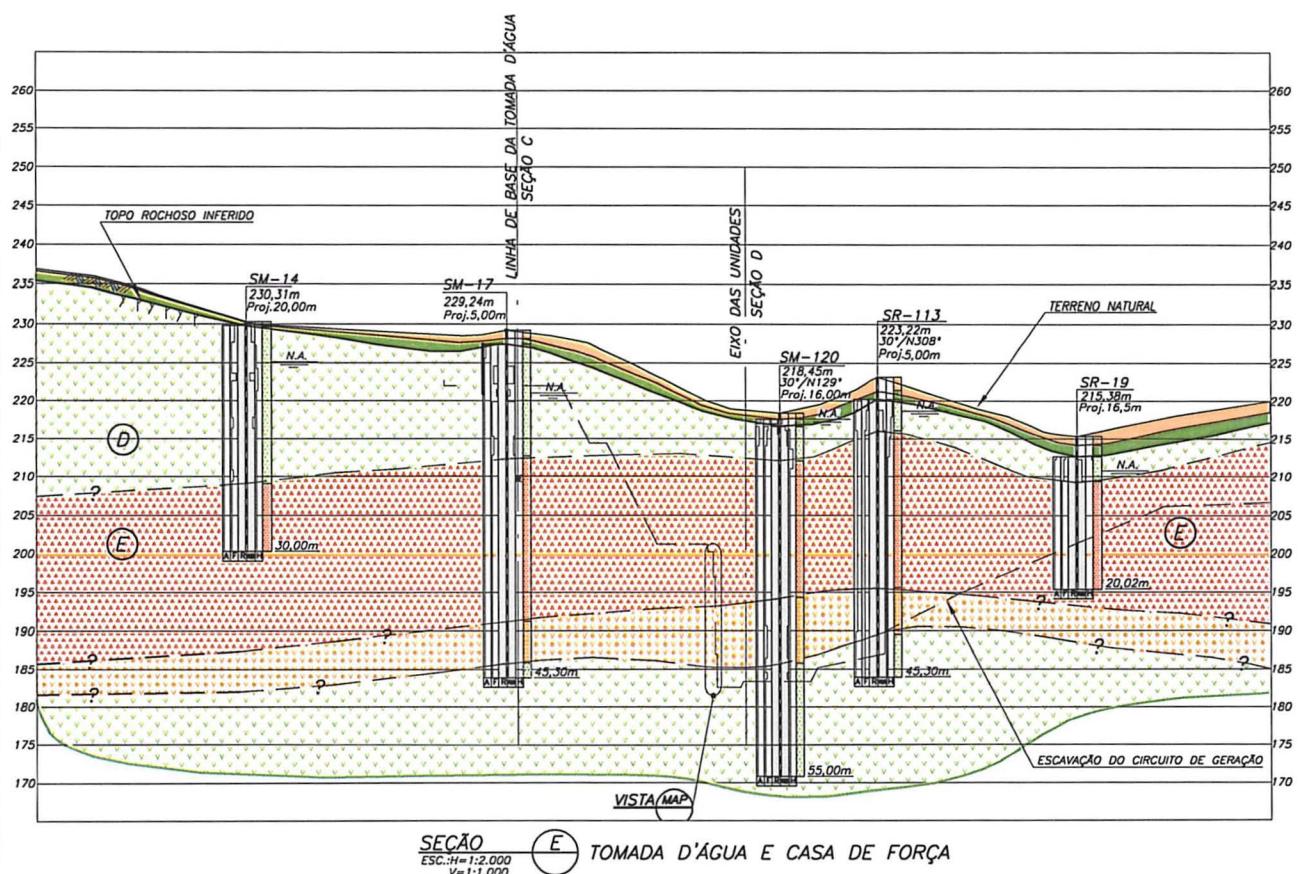
Dr. Marcos Egydio da Silva

Aluno

Gustavo Chaves Alonso

Data

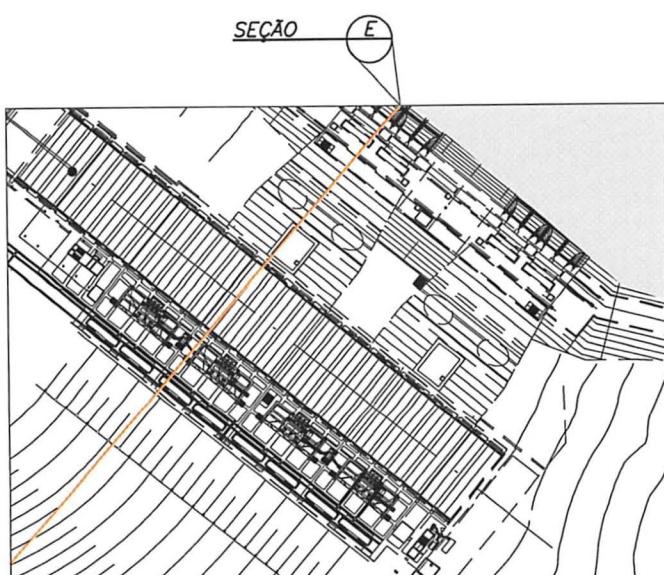
25/09/2008



VISTA DO TALUDE DE MONTANTE DA CASA DE FORÇA INDICADO NO PERFIL

Nota:

— PARA LEGENDA VER PLANTA 001



USP
Universidade de São Paulo

GEOCIÊNCIAS

Instituto de Geociências - USP

PROJETO

TF/08-27

Título

PLANTA 007
SECÇÃO GEOLOGICA
TOMADA D'ÁGUA E CASA DE FORÇA

Escala

(NO ORIGINAL)

Verificação

Orientador

Dr. Marcos Egydio da Silva
Aluno
Gustavo Chaves Alonso





INSTITUTO DE GEOCIÉNCIAS - USP
- BIBLIOTECA -
21637

LEGENDA

- ALLUVIÃO
- BASALTO DENSE (BSD)
- BRECHA BASÁLTICA (BRB)
- DERRAME
- CONTATO LITOLOGICO
- LINHA DE COTA
- 280 ELEVAÇÃO EM METROS
- FLUXO DO RIO

PLANTA 002

USP
Universidade de São Paulo
GEOCIÉNCIAS
Instituto de Geociências - USP
Projeto Executivo
TF/08-27
Título
PLANTA 002
MAPA GEOLÓGICO

Verificado
Orientador
Dr. Marcos Egydio da Silva
Aluno
Gustavo Chaves Alonso
Data
03/10/2008

