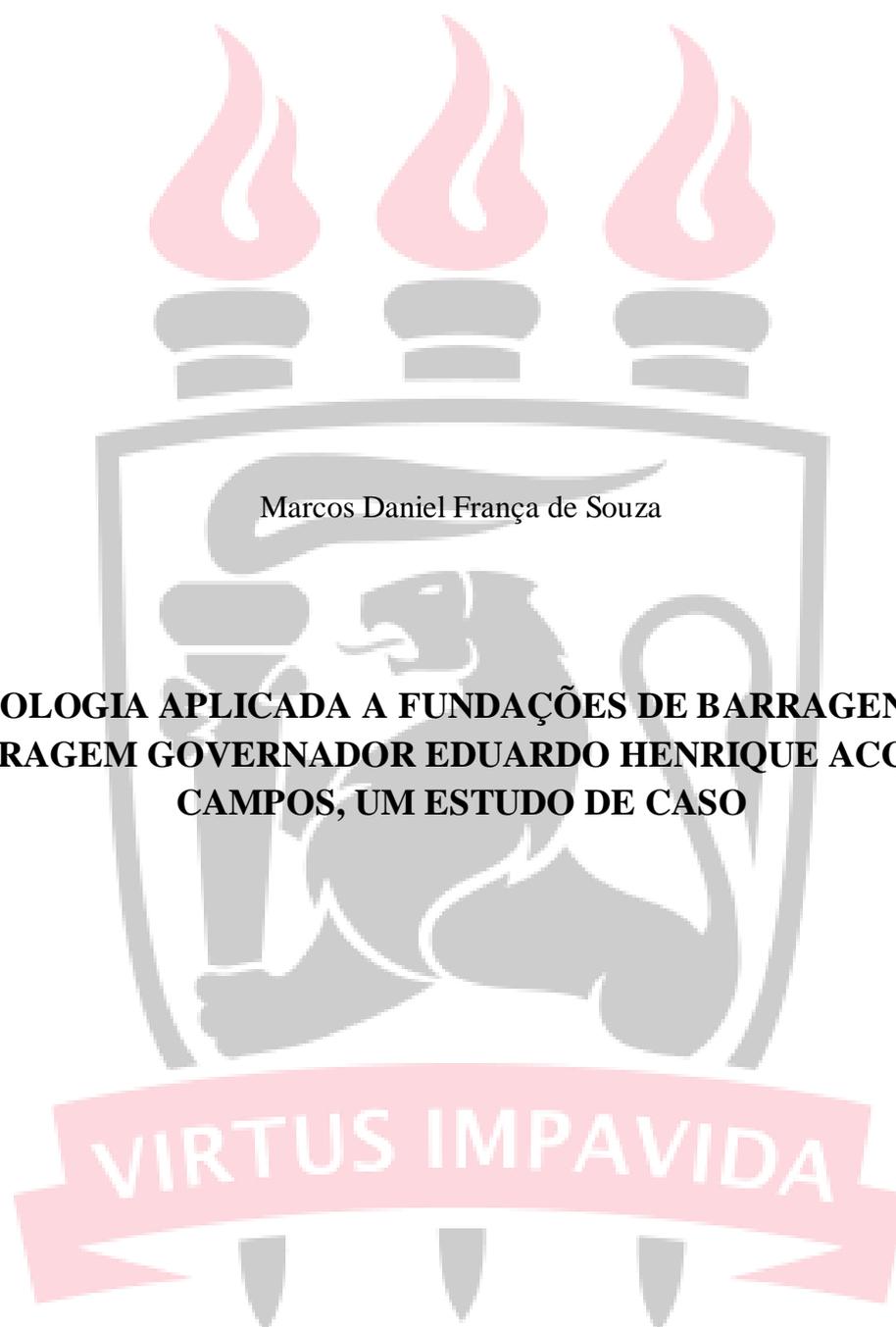


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA – DGEO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS – PPGEOC



RECIFE

2017

Marcos Daniel França de Souza

**GEOLOGIA APLICADA A FUNDAÇÕES DE BARRAGENS: A  
BARRAGEM GOVERNADOR EDUARDO HENRIQUE ACCIOLY  
CAMPOS, UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geociências PPGEOC-UFPE como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Geociências.

Área de concentração: Hidrogeologia e Geologia Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos

RECIFE

2017

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

S729g

Souza, Marcos Daniel França de.

Geologia aplicada a fundações de barragens: a Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos, um estudo de caso / Marcos Daniel França de Souza. 2017.

247folhas, Il.; Tabs.; Abr. e Sigl.

Orientador: Prof. Dr. Almany Costa Santos.

Dissertação ( Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação Geociências, 2017.

Inclui Referências, Anexos e Apêndices.

1. Geociências. 2. Barragem. 3. Maciços rochosos.
4. Caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica. 5. Classificação geomecânica. 6. Módulos de deformabilidade. I. Santos, Almany Costa. (Orientador). II. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG/2018-27

**MARCOS DANIEL FRANÇA DE SOUZA**

**GEOLOGIA APLICADA A FUNDAÇÕES DE BARRAGENS: A BARRAGEM GOVERNADOR EDUARDO HENRIQUE ACCIOLY CAMPOS, UM ESTUDO DE CASO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geociências.

Aprovada em: 27/10/2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Almany Costa Santos (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Felisbela Maria da Costa Oliveira (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

*Dedico este trabalho a minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus que através de sua graça e misericórdia me permitiu concluir este trabalho.

À minha família pelo companheirismo e amor empregado em nossas relações.

Ao meu orientador, Professor Doutor Almany Costa Santos, por sua ajuda, confiança, incentivo e companheirismo durante o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Professor Doutor Marcelo Reis Rodrigues da Silva por permitir a utilização do Laboratório de Inclusões Fluidas para o registro fotográfico da seção delgada.

Ao Professor Mestre Robson Ribeiro de Lima por seu auxílio quanto ao desenvolvimento deste trabalho.

Aos Engenheiros Fábio Bezerra e Adriano Alcântara pelo suporte na etapa de campo, explicações a respeito das características do empreendimento e envio de arquivos sobre a obra.

Ao Geólogo Bruno Freire e à empresa STS Ltda. pelo fornecimento dos dados de sondagens e ensaios geotécnicos relativos ao projeto básico da barragem.

À Secretaria Executiva de Recursos Hídricos (SERH), a seu Secretário Executivo Almir Cirilo e ao Engenheiro Felipe Rios pelo fornecimento dos dados relativos ao empreendimento e esclarecimentos a respeito da condução do projeto.

À Coordenação de Apoio ao Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento deste trabalho por meio de bolsa de pesquisa.

*“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)*

## RESUMO

Este trabalho se propôs a realizar as caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica e a classificação geomecânica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos, Palmares-PE, com fins de verificar a adequação dos mesmos ao arranjo de obras proposto com referência às solicitações de estanqueidade e deformabilidade. Para tanto, foram utilizados dados oriundos de etapa de campo, análise petrográfica, relatórios técnicos, boletins de sondagens, ensaios de perda d'água e registro fotográfico. Adicionalmente, este trabalho analisou a correlação entre os valores de RQD e condutividade hidráulica, identificou as influências das principais condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas no projeto da barragem e discutiu a programação da investigação geológica relativa ao seu projeto básico. O estudo do maciço granítico indicou que este possui seu contato com o maciço gnáissico-migmatítico nas proximidades da calha do rio Una, aflorando desde a ombreira direita ao fundo do vale. No geral, este maciço apresentou características geotécnicas, hidrogeotécnicas e geomecânicas adequadas ao assentamento de uma barragem de concreto-gravidade. Revelou-se coerente, muito resistente, pouco fraturado e pouco alterado; suas condutividades são da ordem de  $10^{-5}$  cm/s ou inferiores e seus módulos de deformabilidade estão restritos em profundidade à faixa 40-80 GPa. As zonas geotécnicas, hidrogeotécnicas e geomecânicas anômalas, identificadas pelas metodologias empregadas por esta pesquisa, não se configuraram como material de apoio à solução de concreto, o que revelou a adequação do projeto final do empreendimento aos critérios utilizados. As condicionantes identificadas influenciaram decisivamente o projeto da obra.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Barragem. Maciços rochosos. Caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica. Classificação geomecânica. Módulos de deformabilidade.

## **ABSTRACT**

This work aimed the geological-geotechnical and hydrogeotechnical characterizations and the geomechanical classification of the Governador Eduardo Henrique Accioly Campos Dam's rock masses foundations, northeast Brazil, towards the appraisal of their adequacy to the permeability and deformability requirements. We analyzed data from field, thin section, technical reports, core log data and Lugeon tests. Additionally, this work also established the correlation between the RQD and hydraulic conductivities values, discussed the main geological-geotechnical and hydrogeotechnical constraints in the dam's final design and evaluated the geological investigation related with its preliminary design. The study suggested that the geologic contact between the granitic and the migmatitic gneissic rock masses is located nearby the river channel. The primer is the main rock mass foundation, outcropping from the right abutment to the river valley. He showed, in its majority, geotechnical, hydrogeotechnical and geomechanical suitable characteristics with respect a concrete dam's foundation. Revealed itself as a very coherent, very resistant, very hard, little fractured and sound rock; its hydraulic conductivities values ranged, in cm/s, from 0 to  $10^{-5}$  orders of magnitude and its deformation modulus are restricted in depth to the range of 40-80 GPa. The anomalous geotechnical, hydrogeotechnical and geomechanical zones, identified by the methodologies applied throughout this research, does not constitute the foundations of the concrete solution in the dam's final design, revealing its accordance to the criteria adopted by this research. The discussed conditionings significantly impacted the dam's final design.

### **KEYWORDS:**

Dam. Rock masses. Geological-geotechnical and hydrogeotechnical characterizations. Geomechanical classification. Deformation modulus.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Impactos das cheias na microrregião da Mata Meridional Pernambucana. ....	20
Figura 2. Influência da direção relativa entre a tensão atuante e os planos de descontinuidade do maciço rochoso em seu módulo de deformabilidade.....	28
Quadro 1. Disposição das etapas e procedimentos relacionados à investigação geológico-geotécnica em projetos de barragem. Destacam-se as etapas que forneceram os dados para esta pesquisa. ....	31
Quadro 2. Classificação das paredes das descontinuidades quanto à sua rugosidade. ....	38
Figura 3. Determinação do RQD a partir de análise direta de testemunho. ....	40
Figura 4. Disposição dos equipamentos envolvidos na realização do ensaio de perda d'água sob pressão (EPA). ....	47
Figura 5. Representação do parâmetro D, utilizado no cálculo da pressão máxima de injeção, para furos verticais e inclinados. ....	48
Quadro 3. Características de um fluxo laminar no ensaio de perda d'água. ....	53
Quadro 4. Características de um fluxo turbulento no ensaio de perda d'água. ....	54
Quadro 5. Características do comportamento 'expansivo' no ensaio de perda d'água. ....	54
Quadro 6. Características do comportamento 'lavagem' no ensaio de perda d'água. ....	55
Quadro 7. Características do comportamento 'preenchimento de vazios' no ensaio de perda d'água. ....	55
Quadro 8. Comportamentos observados nos ensaios de perda d'água segundo boletim da ABGE. ....	56
Figura 6. Mapa geológico do município de Palmares com a localização do eixo barrado.....	63
Figura 7. Mapa geológico do local de implantação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. ....	64
Figura 8. Vista da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos a partir de sua ombreira direita durante o projeto executivo. ....	65
Figura 9. Localização dos eixos da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos e barragem auxiliar (ponto de fuga) além da extensão da área de inundação máxima. ....	66
Figura 10. Altura do maciço de CCR da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. ....	66
Figura 11. Localização das sondagens analisadas com relação ao eixo definitivo da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Notar pequena rotação (10°) do abraço de terra no sentido de montante.....	68
Figura 12. Grande concentração e persistência das fraturas de alívio na porção mais superficial do maciço granítico na região da ombreira direita, observada durante as escavações para a construção do canal de desvio. ....	70
Figura 13. Detalhe das fraturas de alívio na região da ombreira direita observadas durante a etapa de campo, revelando que estas se encontram fechadas a abertas (1-5 mm de abertura). 71	
Gráfico 1. Distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração do maciço granítico definidos nas regiões da ombreira direita e fundo do vale. ....	72
Figura 14. Seção delgada de amostra relativa ao maciço granítico. A (N//) e B (NX) revelam a ocorrência de quartzo, plagioclásio (com indícios de argilitização), hornblenda, biotita e	

minerais do grupo do epidoto. C (N//) e D (NX) revelam a existência de mineralogia idêntica à anterior com a adição de grão de titanita.....	73
Gráfico 2. Distribuição das frequências absolutas das classes de RQD definidas para o maciço granítico em sua região de domínio (ombreira direita e fundo do vale).....	75
Figura 15. Testemunho da sondagem SMB-48 (caixa 1) relativa à ocorrência do maciço granítico com excelente qualidade na região da ombreira direita da barragem. ....	75
Figura 16. Testemunho da sondagem SMB-42 (caixa 1) relativa à ocorrência do maciço granítico com qualidade de boa a excelente na região do fundo do vale. Entretanto, com nível superficial de concentração de diaclases (grau de fraturamento F3).....	76
Figura 17. Modelo tridimensional de blocos (voxels) da variação das classes de maciço rochoso de acordo com o parâmetro RQD na região de domínio do maciço granítico. ....	78
Figura 18. Localização das sondagens utilizadas nos processos de modelagens tridimensionais com relação ao eixo barrado e traçado de referência das seções verticais. ....	78
Figura 19. Variação das classes de maciço rochoso ao longo da ombreira direita e fundo do vale estimada a partir da interpolação dos valores de RQD através do método ‘inverso da distância ao quadrado’.....	79
Figura 20. Testemunho da sondagem SMB-29 relativa à intercalação de rocha gnáissica (trecho 15,15-16,65 m) e rocha granítica (trecho 16,65-20,15 m), representando uma injeção granítica na rocha encaixante na região da ombreira esquerda. ....	80
Gráfico 3. Distribuição das frequências absolutas das classes de RQD das injeções graníticas na região da ombreira esquerda. ....	81
Gráfico 4. Distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração das injeções graníticas na região da ombreira esquerda. ....	81
Figura 21. Matacão de rocha granítica, referente à uma injeção granítica, em meio ao espesso manto de intemperismo observado na margem esquerda do rio Una apresentando-se ainda em boas condições de preservação. ....	82
Figura 22. Modelo geológico idealizado para explicar a ocorrência de grandes matacões de rocha granítica no domínio do maciço gnáissico-migmatítico. A foliação gnáissica é ilustrativa. ....	83
Figura 23. Modelo Digital de Elevação (MDE) demonstrando as principais estruturas regionais nas proximidades do eixo barrado e seu controle sobre a geometria do curso do Rio Una. ....	84
Figura 24. Controle da geometria do curso do rio Una nas proximidades do eixo barrado por estruturas geológicas de direção NE-SW. ....	85
Figura 25. Solo de alteração do maciço gnáissico-migmatítico no sopé da ombreira esquerda. ....	87
Figura 26. Testemunho da sondagem SMB-37 relativa à ocorrência do maciço gnáissico-migmatítico na região da ombreira esquerda.....	87
Figura 27. Testemunho da sondagem SMB-34 relativa à ocorrência do maciço gnáissico-migmatítico na região da ombreira esquerda. Notar ocorrência de rocha granítica não deformada (injeção) no trecho final da sondagem.....	88
Figura 28. Testemunho da sondagem SMB-3 relativa à ocorrência de rocha migmatizada nas proximidades do sopé da ombreira esquerda.....	88

Gráfico 5. Distribuição das frequências absolutas das classes de RQD obtidas para as rochas relacionadas ao maciço gnáissico-migmatítico. ....	89
Gráfico 6. Distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração definidos para as rochas relacionadas ao maciço gnáissico-migmatítico. ....	90
Gráfico 7. Valores Lugeon relativos ao comportamento impermeável observado no trecho 7,30-10,30 m no furo de sondagem SMB-36 (maciço granítico – fundo do vale). ....	92
Gráfico 8. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ referente ao comportamento impermeável observado no trecho 7,30-10,30 m no furo de sondagem SMB-36 (maciço granítico – fundo do vale). ....	92
Gráfico 9. Valores Lugeon relativos ao comportamento de deformação (da fissura) sem alteração ou expansivo observado no trecho 4,30-7,30 m no furo de sondagem SMB-04 (gnaisse migmatizado – fundo do vale). ....	93
Gráfico 10. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente ao comportamento de deformação (da fissura) sem alteração ou expansivo observado no trecho 4,30-7,30 m no furo de sondagem SMB-04 (gnaisse migmatizado – fundo do vale). ....	94
Gráfico 11. Valores Lugeon relativos ao comportamento de deformação (da fissura) com fechamento ou expansivo com preenchimento observado no trecho 18,15-20,15 m no furo de sondagem SMB-29 (injeção granítica - ombreira esquerda). ....	94
Gráfico 12. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente ao comportamento de deformação (da fissura) com fechamento ou expansivo com preenchimento observado no trecho 18,15-20,15 m no furo de sondagem SMB-29 (injeção granítica - ombreira esquerda). ....	95
Gráfico 13. Valores Lugeon relativos ao comportamento de deformação (da fissura) com abertura ou expansivo com lavagem observado no trecho 3,00-6,00 m no furo de sondagem SMB-30 (gnaisse migmatizado - ombreira esquerda). ....	95
Gráfico 14. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente ao comportamento de deformação (da fissura) com abertura ou expansivo com lavagem observado no trecho 3,00-6,00 m no furo de sondagem SMB-30 (gnaisse migmatizado - ombreira esquerda). ....	96
Gráfico 15. Valores Lugeon relativos à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo laminar ou expansivo e laminar observada no trecho 10,20-13,20 m no furo de sondagem SMB-01 (injeção granítica - ombreira esquerda). ....	97
Gráfico 16. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo laminar ou expansivo e laminar observada no trecho 10,20-13,20 m no furo de sondagem SMB-01 (injeção granítica - ombreira esquerda). ....	97
Gráfico 17. Valores Lugeon relativos à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo turbulento ou expansivo e turbulento observada no trecho 22,80-24,80 m no furo de sondagem SMB-34 (injeção granítica - ombreira esquerda). ....	98
Gráfico 18. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo turbulento ou expansivo e turbulento observada no trecho 22,80-24,80 m no furo de sondagem SMB-34 (injeção granítica - ombreira esquerda). ....	98
Gráfico 19. Valores Lugeon relativos à associação de comportamentos de deformação (da fissura) com fechamento e fluxo turbulento ou expansivo e turbulento com preenchimento	

observada no trecho 21,00-24,00 m no furo de sondagem SMB-40 (injeção granítica - ombreira esquerda).....	99
Gráfico 20. Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente à associação de comportamentos de deformação (da fissura) com fechamento e fluxo turbulento ou expansivo e turbulento com preenchimento observada no trecho 21,00-24,00 m no furo de sondagem SMB-40 (injeção granítica - ombreira esquerda). .....	100
Gráfico 21. Distribuição das frequências absolutas das classes de condutividade hidráulica obtidas para o maciço granítico em sua região de domínio (projeto básico).....	101
Gráfico 22. Correlação entre os valores de condutividade hidráulica calculados neste estudo de caso, expressos em unidades Lugeon e em cm/s. ....	103
Figura 29. Testemunhos da sondagem SMB-35 na qual foi obtida uma condutividade de $1,32 \times 10^{-4}$ cm/s ou 12,91 UL (classe H3) no trecho 1,60-4,60 m na região do fundo do vale. ....	106
Figura 30. Testemunhos da sondagem SMB-46 na qual foi obtido um comportamento de vazão total (classe H5) no trecho 5,00-8,00 m na região do fundo do vale. ....	106
Figura 31. Modelo tridimensional de blocos (voxels) da variação das classes de condutividade hidráulica na região de domínio do maciço granítico.....	107
Figura 32. Seção gerada a partir da interpolação dos valores de perda d'água específica obtidos a partir dos ensaios de perda d'água.....	108
Gráfico 23. Variação da condutividade hidráulica média do maciço granítico com a profundidade em escala linear-linear.....	111
Gráfico 24. Distribuição das frequências absolutas das classes de condutividade hidráulica obtidas para os intervalos correlacionáveis ao maciço gnáissico-migmatítico (projeto básico). ....	112
Figura 33. Testemunhos da sondagem SMB-30 na qual foi obtido condutividades de $7,46 \times 10^{-5}$ cm/s (7,39 UL) e $6,03 \times 10^{-5}$ cm/s (6,65 UL), respectivamente, nos trechos de 3,00-6,00 m e 6,00-8,00 m.....	113
Figura 34. Modelo tridimensional de blocos da variação de classes de maciço rochosos de acordo com o índice RMR na região de domínio do maciço granítico. ....	118
Figura 35. Seção gerada a partir da interpolação dos índices RMR definidos para a região de domínio do maciço granítico. ....	119
Gráfico 25. Variação do módulo de deformabilidade (E) do maciço granítico com relação à profundidade para sondagens representativas da ombreira direita e fundo do vale. ....	120
Gráfico 26. Módulos de deformabilidade (E) estimados para o maciço granítico com relação à profundidade na região da ombreira direita. ....	121
Gráfico 27. Módulos de deformabilidade (E) estimados para o maciço granítico com relação à profundidade na região do fundo do vale. ....	121
Figura 36. Trecho da sondagem SMB-42 no qual os limites das manobras coincidem com os limites do trecho de interesse, sendo possível o cálculo do RQD equivalente (RQDeq). ....	124
Figura 37. Caixas de testemunhos da sondagem SMB-35 com as indicações das medições dos comprimentos dos fragmentos de testemunho e dos limites ausentes das manobras (em verde) e trechos de interesse (em azul), exemplificativas dos procedimentos realizados durante a determinação do RQD real ( $RQD_{real}$ ). Os círculos vermelhos indicam as fraturas. ....	125

Figura 38. Dois únicos casos em que foi necessário o cálculo do RQD aproximado ( $RQD_{aprox}$ ), relacionados ao furo de sondagem SMB-40. As regiões verdes correspondem aos trechos em que foi possível a determinação do RQD real enquanto as vermelhas indicam a necessidade do uso do $RQD_{aprox}$ . À direita estão indicadas as classes de condutividade hidráulica. ....	126
Gráfico 28. Correlação entre os valores de condutividade hidráulica e RQD relativos ao projeto básico da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Pontos verdes indicam os dados que utilizam o conceito do $RQD_{aprox}$ e revelam sua adequada concordância com a tendência geral observada para o conjunto de dados. ....	128
Gráfico 29. Correlação entre os valores médios de condutividade hidráulica e RQD ( $RQD_{eq}$ e $RQD_{real}$ ) relativos ao projeto básico da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. ....	128
Figura 39. Escavação e preenchimento da ‘chaveta’ com concreto para cravação da barragem de concreto CCR no maciço granítico de fundação (06/05/2013). ....	132
Figura 40. Projeção do elemento estabilizador ‘chaveta’ e indicações da profundidade das injeções de impermeabilização e construção da barragem em blocos em recortes de plantas relativas ao projeto executivo da obra. ....	133

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios dos módulos de deformabilidade para os principais tipos de rocha em estado são.....	29
Tabela 2. Condições de operação das barragens de concreto-gravidade e concreto em arco com relação a problemas de deformabilidade em função de sua altura e valores de RMR. ....	30
Tabela 3. Critérios utilizados para a determinação do grau de alteração das rochas.....	34
Tabela 4. Critérios para a determinação do grau de coerência das rochas. ....	35
Tabela 5. Graus de resistência dos maciços rochosos em função de sua resistência à compressão uniaxial. ....	35
Tabela 6. Estimativa da resistência à compressão uniaxial através da análise expedita com martelo geológico e lâmina de aço de acordo com ISRM (Brown, 1981) e com a ABGE (1983). .....	36
Tabela 7. Critérios para a determinação do grau de fraturamento do maciço rochoso. ....	37
Tabela 8. Critérios para a classificação das aberturas das descontinuidades do maciço rochoso. .....	37
Tabela 9. Critérios para a classificação da persistência das descontinuidades em um maciço rochoso.....	38
Tabela 10. Classes de qualidade dos maciços rochosos em função dos valores de RQD. ....	40
Tabela 11. Parâmetros e pontuações utilizadas na classificação geomecânica de Bieniawski (1989).....	44
Tabela 12. Critérios utilizados para a descrição das condições das descontinuidades do maciço rochoso.....	45
Tabela 13. Influência da orientação das descontinuidades em relação à estabilidade das fundações de barragens segundo Bieniawski e Orr (1976). ....	45
Tabela 14. Classes de maciço rochosos em função do valor do índice RMR. ....	45
Tabela 15. Critérios utilizados para o cálculo dos valores de pressão de injeção em um ensaio de perda d'água de cinco etapas. ....	48
Tabela 16. Relação entre os valores de condutividade do maciço rochoso e as condições das descontinuidades do mesmo. ....	57
Tabela 17. Classes de condutividade hidráulica de acordo com os valores de perda d'água específica (Pe).....	57
Tabela 18. Tipos de barragens de concreto adequados de acordo com as características de resistência e deformabilidade dos maciços rochosos de fundação segundo Marques Filho e Geraldo (1998).....	60
Tabela 19. Correspondência entre os trechos propostos para as fundações e as estacas e furos de sondagens realizados no projeto básico da barragem. ....	69
Tabela 20. Matriz de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade para o maciço granítico ao longo de sua região de domínio.....	76
Tabela 21. Matriz de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade para o maciço granítico ao longo da ombreira direita. ....	76
Tabela 22. Matriz de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade para o maciço granítico ao longo do fundo do vale.....	77

Tabela 23. Matriz de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade, obtidos para o maciço granítico em sua região de domínio. ....	102
Tabela 24. Matriz de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade, obtidos para o maciço granítico na região da ombreira direita. ....	104
Tabela 25. Matriz de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade, obtidos para o maciço granítico no fundo do vale. ....	105
Tabela 26. Frequências relativas dos comportamentos típicos e associações de comportamentos típicos observados na região de domínio do maciço granítico a partir dos ensaios de perda d'água. ....	110
Tabela 27. Escala de cores associada às classes de maciço rochoso do sistema RMR. ....	114
Tabela 28. Índices RMR atribuídos às manobras das sondagens SMB-31 e SMB-32. ....	117
Tabela 29. Módulos de deformabilidade e razões $E_c/E_m$ estimados com relação à sondagem SMB-32 localizada na ombreira direita da barragem. ....	122
Tabela 30. Principais exemplos brasileiros de UHE's com relevância no contexto da matriz energética nacional que possuem barramentos com seções mistas. ....	134

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

CBDB – COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS

CPRH – AGÊNCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE

ICOLD – *INTERNATIONAL COMMITTEE OF LARGE DAMS*

ISRM – *INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS*

NBR – NORMA BRASILEIRA

RMR – *ROCK MASS RATING*

RQD – *ROCK QUALITY DESIGNATION*

SDEC – SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO

SI – SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

SRHE – SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E ENERGÉTICOS

UFPE – UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

UHE – USINA HIDROELÉTRICA

UL – UNIDADE LUGEON

UTM – UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>1.1</b>	<b>Histórico de enchentes e atuação do poder público</b> .....	<b>20</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativas</b> .....	<b>21</b>
<b>1.3</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>21</b>
1.3.1	Objetivos gerais .....	21
1.3.2	Objetivos específicos .....	22
<b>1.4</b>	<b>Materiais e métodos</b> .....	<b>23</b>
<b>1.5</b>	<b>Organização do trabalho</b> .....	<b>24</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>26</b>
<b>2.1</b>	<b>Fundações de barragens</b> .....	<b>26</b>
2.1.1	Solicitações às fundações das barragens.....	26
2.1.1.1	<i>Estanqueidade</i> .....	26
2.1.1.2	<i>Deformabilidade</i> .....	27
2.1.1.2.1	<i>Desempenho e condições de operação de uma barragem de concreto quanto aos problemas de deformabilidade</i> .....	28
<b>2.2</b>	<b>Investigação geológico-geotécnica em projetos de barragens</b> .....	<b>30</b>
2.2.1	Métodos de prospecção.....	32
<b>2.3</b>	<b>Caracterização e classificação dos maciços rochosos</b> .....	<b>33</b>
2.3.1	Caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos.....	33
2.3.2	Classificação dos maciços rochosos .....	39
2.3.2.1	<i>RQD (Rock Quality Designation)</i> .....	39
2.3.2.2	<i>Sistemas de classificação geomecânica</i> .....	42
2.3.2.2.1	<i>Sistema Rock Mass Rating (RMR)</i> .....	42
<b>2.4</b>	<b>Ensaio de perda d'água sob pressão (EPA)</b> .....	<b>45</b>
2.4.1	Introdução .....	45
2.4.2	Definição dos parâmetros do ensaio .....	47
2.4.3	Execução.....	49
2.4.4	Cálculo da condutividade hidráulica (K) .....	49
2.4.5	Interpretação .....	52
<b>2.5</b>	<b>Condutividade hidráulica (K) dos maciços rochosos</b> .....	<b>57</b>
2.5.1	Relação entre a condutividade hidráulica (K) e RQD .....	58

2.6	<b>Critérios utilizados para a definição da alternativa tecnológica .....</b>	<b>59</b>
<b>3</b>	<b>CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA .....</b>	<b>61</b>
<b>3.1</b>	<b>Geologia regional .....</b>	<b>61</b>
3.1.1	Domínio Pernambuco-Alagoas .....	61
3.1.1.1	<i>Complexo Belém do São Francisco (PP2bf) .....</i>	<i>61</i>
3.1.1.2	<i>Complexo Cabrobó (MP3ca2 e MP3ca4) .....</i>	<i>62</i>
3.1.1.3	<i>Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (MNγ2al) .....</i>	<i>62</i>
3.1.1.4	<i>Suíte Itaporanga (NP3γ2it) .....</i>	<i>62</i>
3.1.1.5	<i>Suíte Intrusiva Conceição (NP3γ2c) .....</i>	<i>63</i>
<b>3.2</b>	<b>Geologia local .....</b>	<b>63</b>
<b>4</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO .....</b>	<b>65</b>
<b>5</b>	<b>ESTUDO DE CASO: BARRAGEM GOVERNADOR EDUARDO HENRIQUE ACCIOLY CAMPOS .....</b>	<b>67</b>
<b>5.1</b>	<b>Caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos .....</b>	<b>67</b>
5.1.1	Maciço granítico .....	69
5.1.1.1	<i>Características geológico-geotécnicas gerais.....</i>	<i>69</i>
5.1.1.2	<i>Estudo petrográfico .....</i>	<i>72</i>
5.1.1.3	<i>Características geológico-geotécnicas anômalas (zonas de fraqueza).....</i>	<i>73</i>
5.1.1.4	<i>Comportamento e modelagem dos valores de RQD.....</i>	<i>74</i>
5.1.1.5	<i>Ocorrência de rocha granítica na ombreira esquerda.....</i>	<i>80</i>
5.1.1.6	<i>Modelo geológico proposto .....</i>	<i>83</i>
5.1.1.7	<i>Definição do contato entre o maciço granítico com o maciço gnáissico-migmatítico .....</i>	<i>84</i>
5.1.2	Maciço gnáissico-migmatítico .....	86
<b>5.2</b>	<b>Caracterização hidrogeotécnica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos .....</b>	<b>90</b>
5.2.1	Comportamentos típicos e associações identificadas .....	91
5.2.1.1	<i>Comportamentos típicos .....</i>	<i>91</i>
5.2.1.2	<i>Associações de comportamentos típicos.....</i>	<i>96</i>
5.2.2	Maciço granítico .....	100
5.2.2.1	<i>Características hidrogeotécnicas gerais .....</i>	<i>100</i>
5.2.2.2	<i>Distribuição dos valores de condutividade hidráulica em profundidade.....</i>	<i>101</i>
5.2.2.3	<i>Características hidrogeotécnicas por trecho das fundações.....</i>	<i>103</i>

5.2.2.3.1	<i>Ombreira direita</i> .....	103
5.2.2.3.2	<i>Fundo do vale (características anômalas)</i> .....	104
5.2.2.4	<i>Modelagem dos dados de condutividade hidráulica</i> .....	106
5.2.2.5	<i>Características hidrogeotécnicas das injeções graníticas na ombreira esquerda</i> .....	109
5.2.2.6	<i>Comportamentos observados e condições das fraturas</i> .....	109
5.2.2.7	<i>Estimativa dos valores médios de condutividade em profundidade</i> .....	110
5.2.3	Maciço gnáissico-migmatítico .....	112
<b>5.3</b>	<b>Classificação geomecânica do maciço granítico de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos</b> .....	<b>113</b>
5.3.1	Modelagem dos índices RMR.....	117
5.3.2	Estimativa dos módulos de deformabilidade do maciço granítico em profundidade e avaliação de sua adequabilidade quanto aos problemas de deformabilidade ...	120
<b>5.4</b>	<b>Análise da relação entre os valores de RQD e condutividade hidráulica</b> ....	<b>123</b>
<b>5.5</b>	<b>Condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas, suas principais influências e análise da investigação geológica</b> .....	<b>129</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>135</b>
<b>7</b>	<b>RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>137</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>138</b>
	<b>ANEXOS</b> .....	<b>148</b>
	Anexo A.....	148
	Anexo B .....	150
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>152</b>
	Apêndice A .....	152
	Apêndice B .....	234
	Apêndice C .....	241
	Nota dos autores.....	247

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Histórico de enchentes e atuação do poder público

Nos anos de 2000, 2005, 2010 e 2011 a microrregião da Mata Meridional Pernambucana foi atingida por enchentes que tiveram como consequências perdas de vidas humanas e de bens materiais (**Figura 1**). Estas enchentes ocorreram devido à intensificação das chuvas em determinados períodos do ano associada às características de relevo das bacias hidrográficas, além da ocupação inapropriada de áreas marginais aos rios (SRHE, 2011).

Em contrapartida a estes eventos o Governo do Estado de Pernambuco em parceria com o Governo Federal promoveu o ‘Sistema Integrado de Contenção de Cheias na Mata Sul’, do qual a Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos faz parte. Este sistema deverá controlar enchentes nas áreas das bacias do rio Una e rio Sirinhaém através da construção de quatro barragens na primeira bacia e uma na segunda (SRHE, 2011). A Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos, cujas fundações são objeto deste estudo, está inclusa na Bacia Hidrográfica do Rio Una. A construção destas barragens irá beneficiar cerca de 161 mil moradores dos municípios inclusos nas áreas das referidas bacias, possuindo grande apelo social.

**Figura 1.** Impactos das cheias na microrregião da Mata Meridional Pernambucana.



Fonte: Guga Matos/JC Imagens/desconhecido (internet)

## 1.2. Justificativas

Segundo Gama (2012) há uma redução na disponibilidade dos locais com características geológico-geotécnicas adequadas à edificação de construções civis, dentre elas as barragens. Desta forma, ganha importância a análise do local de implantação de uma obra sob a ótica da Geologia Aplicada ou Geologia de Engenharia, atribuindo ao projeto maior eficiência e segurança. Gama (*op cit.*) defende que a escolha de um local adequado para o recebimento do eixo de uma obra de barramento é um dos passos mais importantes neste tipo de empreendimento.

No ano de 2004, no estado da Paraíba, estado vizinho à Pernambuco, ocorreu o colapso de parte da estrutura da Barragem de Camará cuja causa foi atribuída a aspectos geológico-geotécnicos negligenciados em sua ombreira esquerda. Até o presente momento o ocorrido constitui o único incidente internacional relacionado ao rompimento de uma barragem de concreto-gravidade do tipo Concreto Compactado a Rolo (CCR). Atualmente, esta solução constitui uma das alternativas tecnológicas mais empregadas na prática da Engenharia de Barragens, sendo utilizada no empreendimento investigado.

Além destas motivações, a escolha do empreendimento em questão está fundamentada em seu porte e nas modificações de seu projeto, fortemente influenciadas pelas características geológico-geotécnicas de suas fundações e que geraram grande questionamento por parte da sociedade civil e órgãos fiscalizadores. Desta forma, esta pesquisa foi conduzida, sempre que possível, em torno da seguinte problemática: os maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos são adequados à um projeto desta natureza e ao arranjo de obras proposto?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivos gerais

Esta dissertação possui como objetivos gerais:

- Caracterizar os aspectos geológico-geotécnicos e hidrogeotécnicos e classificar geomecanicamente os maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos, afim de promover uma análise crítica a respeito da adequabilidade dos mesmos ao arranjo de obras do empreendimento em questão com relação às solicitações de estanqueidade e de deformabilidade.

### 1.3.2. Objetivos específicos

Os objetivos específicos desta dissertação podem ser divididos da seguinte maneira:

- Objetivos específicos alinhados à obtenção do objetivo geral:
  - Adquirir, revisar, analisar e discutir as informações geológico-geotécnicas relacionadas aos maciços rochosos individualizados nas fundações da barragem, recebendo relevância os seguintes dados: classificações litológicas; graus de resistência, coerência/consistência, alteração e fraturamento; além de valores de RQD.
  - Calcular os valores de condutividade hidráulica dos maciços rochosos, através do emprego da metodologia mais empregada no Brasil (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) e daquela mais difundida internacionalmente (HOULSBY, 1976), compará-los e confrontá-los com os principais critérios de estanqueidade encontrados na literatura científica.
  - Elaborar os gráficos ‘absorção vs carga efetiva’ e ‘valores Lugeon’ a partir dos resultados dos ensaios de perda d’água disponíveis e compará-los, com a finalidade da correta interpretação dos comportamentos hidráulicos apresentados pelos maciços rochosos frente à percolação d’água e das condições de abertura de suas descontinuidades.
  - Classificar, quando possível, os maciços rochosos em função das características identificadas nas caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica através da aplicação direta do sistema de classificação geomecânica *Rock Mass Rating* (BIENIAWSKI, 1989) nas sondagens disponíveis.
  - Estimar, quando possível, os módulos de deformabilidade (E) dos maciços rochosos, utilizando, para tanto, correlações empíricas (BIENIAWSKI, 1978 e SERAFIM e PEREIRA, 1983), e confrontá-los com os principais critérios de segurança quanto aos problemas deformabilidade encontrados na literatura científica.
  - Identificar as condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas e suas principais influências no projeto da obra, de modo a destacar a importância da investigação geológico-geotécnica nas fases iniciais de projetos de mesma natureza e debater questões demandadas pela sociedade como um todo.
- Objetivo específico alinhado com as principais linhas de pesquisas desenvolvidas a nível internacional na área da Geologia Aplicada, identificadas durante a revisão bibliográfica:

- Verificar a correlação existente entre os valores de RQD e condutividade hidráulica (em cm/s).

#### 1.4. Materiais e métodos

Nesta dissertação foram adotadas as seguintes metodologias:

##### I. Revisão bibliográfica

Para a realização desta pesquisa foram realizadas consultas a artigos científicos, livros, normas técnicas e legislação brasileira vigente a respeito dos assuntos correlatos às seguintes áreas do conhecimento: ‘Geologia de Barragens’, ‘Geologia Aplicada’, ‘Geologia de Engenharia’, ‘Geotecnia’, ‘Mecânica das Rochas’, ‘Segurança de Barragens’ etc. Este procedimento acompanhou o desenvolvimento deste trabalho desde os seus primórdios até seus estágios finais, de maneira a alinhá-lo com as principais linhas de pesquisa existentes na área e passíveis de serem realizadas, em função dos dados disponíveis. Os pontos considerados relevantes à compreensão da pesquisa estão abordados no **Capítulo 2**.

##### II. Aquisição dos dados

Parte dos dados utilizados nesta pesquisa foram obtidos juntos aos órgãos da administração pública do Estado de Pernambuco, envolvidos direta ou indiretamente com o projeto da barragem, sendo eles:

- Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos (SRHE)
- Agência Estadual do Meio Ambiente (CPRH)

Além destas instituições, estabeleceu-se contato com empresas privadas participantes do projeto básico do empreendimento, a fim de reunir o máximo de informações possível.

##### III. Etapa de campo

Foi realizada visita técnica ao sítio de instalação do empreendimento em inquérito com o intuito de: identificar a configuração geológica do eixo barrado, o que incluiu o reconhecimento dos tipos litológicos, coberturas sedimentares e relações de campo; aferir os graus de resistência e coerência/consistência dos maciços rochosos, identificar as condições de suas discontinuidades e observar o arranjo final de obras. Esta etapa, em conjunto com a análise de lâmina petrográfica, realizada na etapa IV, e registro fotográfico, foi utilizada como guia para a revisão dos dados, realizada na etapa V.

#### IV. Etapa de laboratório

Nesta etapa realizou-se a análise de lâmina petrográfica de amostra da principal rocha de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos, coletada durante a etapa anterior. A seção delgada foi classificada de acordo com os devidos critérios científicos (STRECKEISEN, 1967).

#### V. Registro, revisão, tratamento, modelagem e análise dos dados

Os dados adquiridos foram registrados, revisados, tratados, modelados e analisados a nível de detalhe, objetivando o correto entendimento das condições geológico-geotécnicas, hidrogeotécnicas e geomecânicas dos maciços rochosos investigados. Para tanto, foram procedidas algumas modificações quanto às classificações litológicas, graus de alteração, classes de RQD e de condutividade hidráulica, além dos limites e formas de ocorrência dos maciços. Após esta revisão, os dados foram tratados de acordo com (1) as metodologias expostas na Fundamentação Teórica (**Capítulo 2**) e com (2) a necessidade de compatibilização da resolução dos dados, verificada durante a realização da pesquisa. Além disto, os dados foram modelados, sendo gerados modelos tridimensionais e seções verticais, e analisados estatisticamente, de maneira individualizada, com fins à realização da apropriada discussão proposta ao estudo de caso.

#### VI. Confeção do texto

A escrita desta dissertação se baseou na compilação e interpretação de todas as informações relativas às etapas anteriores. Além disto, informações discutidas com profissionais relacionados à obra (geólogos e engenheiros) e professores da UFPE influenciaram a condução da pesquisa e o desenvolvimento deste texto.

### 1.5. Organização do trabalho

O **Capítulo 1** apresenta uma breve contextualização histórica e política à qual insere-se o empreendimento analisado, as justificativas e os objetivos do trabalho, além das metodologias empregadas para sua elaboração e a disposição das informações ao longo do texto.

O **Capítulo 2** apresenta uma revisão bibliográfica a respeito dos principais assuntos relacionados ao estudo de caso, sendo eles: fundações de barragens, investigação geológico-geotécnica em projetos de barragens, caracterização e classificação dos maciços rochosos, ensaios de perda d'água sob pressão, condutividade hidráulica dos maciços rochosos e

principais critérios utilizados na definição do tipo de barragem mais apropriado à um projeto. Procedeu-se maior discussão sobre os ensaios de perda d'água dada a carência do debate, a grande relevância dos mesmos nesta pesquisa e a observação de inconsistências na interpretação de seus resultados.

Os **Capítulos 3 e 4** apresentam, respectivamente, a contextualização geológica à qual o empreendimento está inserido e suas principais características.

O **Capítulo 5** apresenta os resultados das caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica e da aplicação do sistema de classificação geomecânica *Rock Mass Rating* aos maciços rochosos que compõem as fundações da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Paralelamente a estas etapas, é neste capítulo que se procede a discussão proposta ao estudo de caso propriamente dita, no que diz respeito à avaliação da adequabilidade dos maciços rochosos às solicitações de deformabilidade e estanqueidade demandadas pelo arranjo de obras final do empreendimento.

O **Capítulo 6** apresenta as principais conclusões decorrentes desta investigação e, por fim, o **Capítulo 7**, expõe as possíveis linhas de pesquisa que poderão ser adotadas em trabalhos futuros que por razões diversas não puderam ser realizadas neste trabalho.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica a respeito dos temas julgados necessários ao entendimento e contextualização das informações discutidas no estudo de caso, sendo eles: fundações de barragens, investigações geológico-geotécnicas em projetos de barragens, caracterização e classificação dos maciços rochosos, ensaios de perda d'água sob pressão, condutividade hidráulica dos maciços rochosos e principais critérios empregados na escolha da alternativa tecnológica em projetos de barragens.

### 2.1. Fundações de barragens

Costa (2012) considera como fundações de uma barragem todo o material geológico existente no local onde será edificada uma obra de barragem e/ou suas obras complementares (vertedouros, casas de força, canais e tubulações para adução etc.). Esta conceituação inclui as ombreiras da barragem em suas fundações e independe da remoção ou não do material inicialmente considerado, abrangendo não apenas os maciços rochosos, mas também o material incoerente que os recobre. Este último, pode ser produzido *in situ* (com os diversos estágios de um perfil de alteração, cuja gradação vai desde a rocha sã até o solo residual maduro) ou transportado (aluvião, colúvio, depósitos de tálus etc.).

#### 2.1.1. Solicitações às fundações das barragens

As obras de engenharia civil, quando fundadas diretamente nos materiais geológicos, demandam características específicas (solicitações) que variam de acordo com a natureza do empreendimento. As barragens, por se caracterizarem como obras hidráulicas, requerem de suas fundações, em especial, além de características geomecânicas adequadas de estabilidade e deformabilidade, boas condições de estanqueidade. Neste trabalho, são investigados no estudo de caso estes dois últimos aspectos.

##### 2.1.1.1. Estanqueidade

A estanqueidade se refere à capacidade do material geológico, seja solo ou rocha, de resistir ou dificultar a percolação d'água (COSTA, 2012). No caso dos maciços rochosos, a estanqueidade completa é impraticável, sendo objetivada na realidade a redução dos valores de condutividade hidráulica para níveis considerados aceitáveis através do emprego de técnicas de tratamento das fundações. Em muitos empreendimentos estes níveis não são definidos de maneira clara, sendo utilizada, em detrimento de critérios bem estabelecidos na literatura

técnico-científica ou em instrumentos normativos (inexistentes no Brasil), a experiência acumulada ao longo dos anos pelos profissionais e empresas atuantes na área. Segundo Gama (2012) pode-se considerar um maciço rochoso como praticamente impermeável à injeção de caldas de cimento convencionais aquele que possui condutividades hidráulicas da ordem de  $10^{-5}$  cm/s, sendo bastante complexa a sua redução para uma condutividade da ordem de  $10^{-6}$  cm/s ( $K < 1$  UL). Desta forma, serão consideradas no estudo de caso, como portadoras de boas condições de estanqueidade, aquelas regiões dos maciços que possuem condutividades da ordem de  $10^{-5}$  cm/s ou inferiores. A unidade Lugeon (UL) será discutida adiante na **seção 2.4.4**.

Admite-se, para uma barragem com altura máxima de até trinta metros, que suas fundações devem ser tratadas até uma profundidade tal que sua condutividade seja inferior a 3 UL (NONVEILLER, 2005 *apud* AMARO, 2015). Para barragens de maior porte deve-se tratar as fundações até uma profundidade tal que sua condutividade seja inferior a 1 UL (ISRM, 2015 *apud* AMARO, 2015).

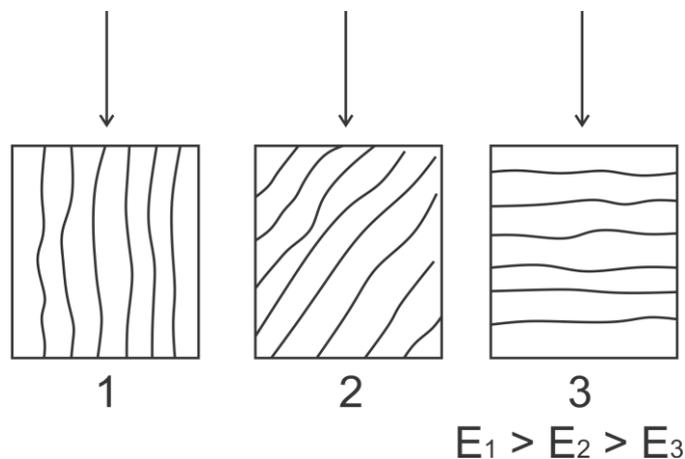
#### 2.1.1.2. Deformabilidade

A deformabilidade expressa as características de deformação das rochas frente às tensões que lhe serão impostas, sendo fundamental para o projeto da obra. O parâmetro geomecânico que expressa a resistência à deformação do maciço rochoso é o módulo de deformabilidade (E) que corresponde ao parâmetro mais representativo na descrição do comportamento pré-falha de qualquer material na engenharia (KAYABASI, GOKCEOGLU e ERCANOGLU, 2003). O módulo de deformabilidade fornece informação valiosa a respeito dos possíveis recalques (abatimentos) que as fundações das barragens poderão sofrer, de forma que, quanto maior for seu valor, maior será a resistência à deformação da rocha. As deformações sofridas pelos maciços, mesmo que inferiores às apresentadas pelos solos, podem resultar no rompimento da rocha de fundação e/ou estrutura construída (COSTA, 2012). Entretanto, mesmo que não ocorra o rompimento de fato das estruturas projetadas, pode ocorrer a formação de fissuras que comprometam sua segurança.

A determinação do módulo de deformabilidade dos maciços rochosos é uma das tarefas mais desafiadoras nos projetos de engenharia, visto que a maior parte da deformação ocorre em suas descontinuidades e ensaios laboratoriais não conseguem prevê-la de maneira satisfatória. Além disto, ensaios de campo são caros e demandam grande quantidade de tempo (ZHANG e EINSTEIN, 2004; JIANG *et al.*, 2009). Nos maciços rochosos, a deformabilidade é afetada por

quatro aspectos: constituição mineralógica, grau de alteração, condições das discontinuidades e direção relativa entre a tensão aplicada e os planos de discontinuidades. De modo geral, à medida que cresce o grau de alteração da rocha decresce sua resistência à deformação (COSTA, 2012). A influência de um plano de discontinuidade de um maciço em sua deformabilidade é maior ou menor, a depender de sua direção relativa à tensão principal atuante (próprio peso da barragem), como exposto na **Figura 2**. Os valores médios dos módulos de deformabilidade para os principais tipos litológicos em estado são estão apresentados na **Tabela 1**.

**Figura 2.** Influência da direção relativa entre a tensão atuante e os planos de discontinuidade do maciço rochoso em seu módulo de deformabilidade.



**Fonte:** modificado de Costa (2012)

Quanto à dificuldade de determinação do módulo de deformabilidade dos maciços rochosos, alguns autores propuseram correlações entre este parâmetro e os resultados de diversos sistemas de classificação geomecânica, dentre eles o RMR, o Sistema-Q etc. Neste sentido, serão apresentadas adiante, no **tópico 2.3.2.2.1**, duas correlações empíricas entre o sistema *Rock Mass Rating* e o módulo de deformabilidade dos maciços rochosos, obtidas na literatura existente e que serão aplicadas no estudo de caso.

#### 2.1.1.2.1. Desempenho e condições de operação de uma barragem de concreto quanto aos problemas de deformabilidade

Segundo Romana (2003a, 2003b) a relação  $E_c/E_m$ , onde  $E_c$  corresponde ao módulo de deformabilidade do concreto e  $E_m$  ao módulo de deformabilidade do maciço rochoso, possui influência no desempenho de uma barragem de concreto, existindo duas situações que podem comprometer seu normal funcionamento: (1) se  $E_m$  varia amplamente ao longo das fundações de uma barragem ou (2) se a razão  $E_c/E_m$  alcança valores críticos. Rocha (1976) *apud* Romana

(2003a, 2003b) advoga que, para barragens de concreto-gravidade, uma relação  $E_c/E_m < 8$  tende a resultar em um funcionamento seguro da barragem enquanto que para  $E_c/E_m > 16$  a possibilidade de surgimento de problemas moderados a graves se torna mais alarmante. Quando identificadas, as zonas desfavoráveis quanto aos problemas de deformabilidade, devem ser tratadas ou, preferencialmente, escavadas (removidas).

A existência de juntas nas barragens de concreto ajuda a lidar com problemas relativos à deformabilidade. Esta deve ser a principal razão para as mudanças nos projetos de barragens de concreto do tipo CCR, de barragens com quase nenhuma junta para os padrões atuais, construídas em blocos. Além disto, as barragens de concreto CCR são menos propensas a problemas relacionados à deformabilidade das fundações, visto que possui valor de  $E_c$  inferior ao concreto CVC. Em geral o módulo de deformabilidade do concreto CCR ( $E_{CCR\text{médio}}$ ) é equivalente a cerca de 20 GPa, podendo, em muitos casos, ser inferior a este valor (ROMANA, 2003b).

**Tabela 1.** Valores médios dos módulos de deformabilidade para os principais tipos de rocha em estado são.

Grupo de rocha	Rocha	Módulo de deformabilidade (E)	
		$\times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$	GPa
Ígneas	Basalto e Gabro	6,0-12,0	60,0-120,0
	Anfibolito	6,0-7,0	60,0-70,0
	Granito e Granodiorito	5,0-9,0	50,0-90,0
	Diabásio	3,0-9,0	30,0-90,0
	Andesito	1,2-3,5	12,0-35,0
	Riolito e Fonolito	1,0-2,0	10,0-20,0
Metamórficas	Mármore	6,0-9,0	60,0-90,0
	Quartzito	4,0-10,0	40,0-100,0
	Gnaiss	2,5-6,0	25,0-60,0
	Quartzoxisto	1,2-3,0	12,0-30,0
	Micaxisto	1,0-2,5	10,0-25,0
Sedimentares	Calcário	4,0-8,0	40,0-80,0
	Arenito	1,5-5,0	15,0-50,0
	Dolomito	2,0-3,0	20,0-30,0
	Argilito	1,5-3,0	15,0-30,0

**Fonte:** modificado de Costa (2012)

Romana (2003a) fornece ainda diretrizes para a averiguação das condições de operação de uma barragem do tipo concreto-gravidade ou concreto em arco no que diz respeito às possibilidades de ocorrência de problemas de deformabilidade. Essas diretrizes, expostas na **Tabela 2**, estão baseadas no trabalho de Zeballos e Soriano (1993), consideram  $E_c=30$  GPa (valor superior ao  $E_{CCR}$  médio) e são dadas em função dos valores de altura da barragem em metros e índices RMR.

**Tabela 2.** Condições de operação das barragens de concreto-gravidade e concreto em arco com relação a problemas de deformabilidade em função de sua altura e valores de RMR.

Tipo barragem	Altura (m)	Condições de operação		
		Operação normal	Possibilidade de ocorrência de problemas	Possibilidade de ocorrência de graves problemas
Concreto-gravidade	<50	>40	25-40	<25
	50-100	>50	40-50	<40
	100-150	>60	50-60	<50
Concreto em arco	<100	>45	35-45	<35
	100-150	>60	45-55	<45
	150-200	>70	55-70	<55

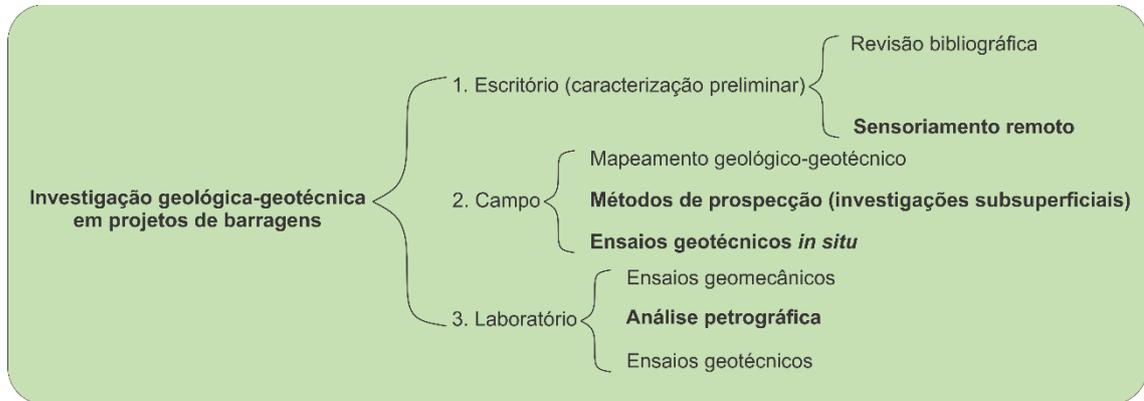
Fonte: Romana (2003a)

## 2.2. Investigação geológico-geotécnica em projetos de barragens

Segundo Costa (2012) a investigação geológico-geotécnica em projetos de barragens corresponde à aplicação das técnicas e procedimentos necessários à caracterização de todas as feições geológicas e geotécnicas que possam ser relacionadas com a implantação da barragem, sendo procedida a nível de escritório, de campo e de laboratório (**Quadro 1**). Segundo Fell *et al.* (2005) existem diversos métodos de investigação do local de implantação de um projeto de barragem, devendo ser empregado, durante o processo de caracterização, o maior número possível destas técnicas, a fim de reduzir as limitações inerentes a cada uma delas.

Os principais objetivos da investigação geológico-geotécnica em projetos de barragens são: (1) fornecer as informações necessárias à concepção de um projeto eficaz e seguro e (2) permitir a estimativa mais precisa do custo relativo ao empreendimento (MEDEIROS, 2009 *apud* BENTO, 2014). Desta forma, os fatores geológicos são fundamentais à concepção, viabilidade, construção e segurança de uma barragem.

**Quadro 1.** Disposição das etapas e procedimentos relacionados à investigação geológico-geotécnica em projetos de barragem. Destacam-se as etapas que forneceram os dados para esta pesquisa.



**Fonte:** o autor (2016)

Segundo Vallejo *et al.* (2002) a investigação geológico-geotécnica é detalhada em sintonia com o prosseguimento das diferentes fases de um projeto de barragem. Tem início na fase de inventário e continua ao longo de sua operação através do acompanhamento das leituras de equipamentos que a monitoram. O custo relacionado com a pesquisa geológico-geotécnica cresce muito em função da utilização de técnicas mais sofisticadas. Portanto, é fundamental que sua programação seja feita de maneira a atender as reais demandas de cada fase do projeto e que os métodos escolhidos sejam adequados com o tipo de barragem indicado. No geral, a aplicação das técnicas mais dispendiosas se dará nas fases finais do projeto (projeto básico e executivo), após a comprovação da viabilidade técnica e econômica do empreendimento.

Segundo Costa (2012) são aspectos relevantes na programação de uma investigação geológico-geotécnica: o tipo e porte da obra, a complexidade geológica do local de implantação, os riscos associados e questões ambientais.

Dentre as influências dos resultados obtidos a partir da investigação geológico-geotécnica em projetos de barragens, destacam-se:

- A localização do eixo barrado.
- O projeto em si (concepção e dimensionamento, alternativas tecnológicas, tratamento das fundações etc.).
- A segurança do empreendimento.

Adiante, na **seção 2.6**, serão indicados os principais fatores que influenciam na escolha da alternativa tecnológica.

### 2.2.1. Métodos de prospecção

Segundo Chiossi (2013) os métodos de prospecção são destinados ao estudo da subsuperfície, com vistas à caracterização de seus litotipos, estruturas geológicas, presença de minérios etc. A prospecção de subsuperfície é orientada segundo os modelos geológico-geotécnicos resultantes do mapeamento de superfície realizado no âmbito dos estudos preliminares, de modo a verificar a veracidade dos mesmos (FELL *et al.*, 2005).

Lima (1979) divide os métodos de prospecção do subsolo em: indiretos, semidiretos e diretos. A seguir procede-se uma breve descrição destes tipos de modo a contextualizar as técnicas que forneceram os dados aqui analisados.

#### a) Prospecção indireta

Engloba os chamados métodos geofísicos os quais realizam o estudo da geologia de subsuperfície através da análise de suas propriedades físicas sem causar perturbação sobre estas. Nestes métodos não há qualquer contato entre o pesquisador e o material investigado, não havendo produção de amostras (LIMA, 1979). Estes métodos têm sido amplamente utilizados tanto nas fases de projeto quanto na verificação das condições de operação da barragem. Há diversos métodos geofísicos que podem ser utilizados na investigação das fundações de uma barragem, dentre eles destacam-se: a eletrorresistividade, os métodos sísmicos e o GPR (*Ground Penetrating Radar*).

#### b) Prospecção semidireta

Está representada pelos ensaios geotécnicos *in situ* os quais possibilitam a obtenção de informações a respeito do material investigado, mas sem fornecer amostras do material estudado (LIMA, 1979). Estes ensaios foram desenvolvidos em um primeiro momento com vistas à investigação do comportamento de determinados materiais que apresentam dificuldade de serem amostrados e ensaiados em laboratório (ex: areias puras ou submersas e argilas sensíveis de consistência muito mole). A principal vantagem dos ensaios geotécnicos *in situ* é que estes permitem uma medida mais realística dos parâmetros dos materiais investigados, pois estes são obtidos a partir da configuração geológica mais fidedigna o possível àquela observada

em campo. No que se refere às investigações das fundações em projetos de barragens destacam-se os seguintes ensaios: ensaio de penetração padronizado (ensaio SPT) e ensaio de infiltração (ensaio de Le Franc), aplicados aos solos; e ensaio de perda d'água sob pressão (ensaio de Lugeon), aplicado aos maciços rochosos. Os ensaios de perda d'água, por se constituírem como a principal técnica cujos resultados são analisados no estudo de caso, têm seus principais aspectos pormenorizados adiante. Apesar da grande importância deste ensaio, o mesmo ainda não está normatizado no Brasil, existindo uma demanda por maior número de trabalhos científicos que tratem a respeito do tema.

#### c) Prospecção direta

Os métodos de prospecção direta se referem àquelas técnicas de investigação que permitem ao investigador o contato direto com o material investigado, seja *in situ* ou através do fornecimento de amostras (LIMA, 1979). Os métodos diretos podem ser subdivididos em: métodos manuais, representados pelas escavações (poços e trincheiras) e pela sondagem a trado, e métodos mecânicos, representados pelas sondagens à percussão, sondagens rotativas e sondagens mistas. Neste trabalho são discutidas informações relacionadas diretamente com a execução dos métodos de prospecção diretos mecânicos.

### **2.3. Caracterização e classificação dos maciços rochosos**

#### **2.3.1. Caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos**

Os maciços rochosos correspondem à associação da rocha intacta e de suas descontinuidades. Entende-se por descontinuidades toda feição que promove a quebra da continuidade das propriedades da rocha e que possuem resistência à tração baixa ou nula, como falhas, fraturas (juntas) etc. (ABGE, 1983). Dentre os principais parâmetros dos maciços rochosos que possuem influência em seu comportamento mecânico e que são frequentemente utilizados em sua caracterização geológico-geotécnica, se destacam os que seguem abaixo. No estudo de caso, em um primeiro momento, será realizada a caracterização dos maciços através da discussão destes parâmetros.

- **Grau de alteração**

Corresponde ao estado de alteração/degradação da rocha, podendo ser determinado através de análise tátil-visual em função dos critérios apresentados na **Tabela 3**. Sua influência nas propriedades mecânicas das rochas é tal que, quanto maior o grau de intemperismo do maciço, mais impactadas negativamente estas o serão (ver **tópico 2.1.1.2**).

**Tabela 3.** Critérios utilizados para a determinação do grau de alteração das rochas.

<b>Grau</b>	<b>Denominação</b>	<b>Características</b>
A1	Rocha sã	A rocha apresenta seus minerais constituintes inalterados (sem decomposição). Eventualmente observam-se fraturas oxidadas.
A2	Rocha pouco alterada	A rocha apresenta decomposição incipiente em sua matriz e ao longo dos planos de fraturas.
A3	Rocha medianamente alterada	A rocha apresenta cerca de 1/3 de sua matriz decomposta com decomposição acentuada ao longo das fraturas.
A4	Rocha muito alterada	A rocha apresenta cerca de 2/3 de sua matriz ou de seus minerais totalmente decompostos. Todas as fraturas estão decompostas.
A5	Rocha extremamente alterada	A rocha apresenta todo o seu corpo decomposto.

**Fonte:** baseado em ABGE (1983)

- **Grau de coerência/consistência**

Corresponde à resistência da rocha ao impacto do martelo e ao risco por lâmina de aço (canivete), podendo ser determinado a partir dos critérios estabelecidos na **Tabela 4**. Além disto, o grau de coerência pode ser entendido como uma estimativa de campo da resistência à compressão uniaxial do maciço rochoso (VIEIRA *et al.*, 2015). Neste sentido, quanto maior o grau de coerência/consistência, maior a resistência à compressão uniaxial.

**Tabela 4.** Critérios para a determinação do grau de coerência das rochas.

<b>Grau</b>	<b>Denominação</b>	<b>Características</b>
C1	Rocha coerente/ consistente	A rocha quebra com dificuldade ao ser golpeada por martelo, produzindo som metálico. Sua superfície é riscada pelo aço.
C2	Rocha medianamente coerente/consistente	A rocha quebra relativamente fácil ao ser golpeada por martelo, produzindo som fraco. Ao ser riscada por aço, formam-se sulcos superficiais.
C3	Rocha pouco coerente/ consistente	A rocha quebra com facilidade ao ser golpeada por martelo, produzindo som oco e fragmentos que são quebradiços à pressão dos dedos. Ao ser riscada pelo aço, formam-se sulcos leves.
C4	Rocha incoerente/ inconsistente	A rocha quebra com muita facilidade ao ser golpeada por martelo. As bordas dos fragmentos produzidos são facilmente quebradas à mão. Ao ser riscada pelo aço, formam-se sulcos profundos.
C5	Rocha sem coerência/ consistência/ Solo de alteração	A rocha se esfarela ao ser golpeada por martelo, desagregando-se à pressão dos dedos. Pode ser cortada com aço e riscada com a unha.

**Fonte:** baseado em ABGE (1983)

- **Grau de resistência**

O grau de resistência está correlacionado com a resistência da rocha à compressão uniaxial (GUIDICINI *et al.*, 1972a *apud* NOGOSEKE, 2009). A partir de seus valores de resistência, as rochas podem ser classificadas em cinco graus de resistência (**Tabela 5**). Quando não é possível a realização do ensaio de compressão uniaxial, esta propriedade pode ser estimada em campo com base em análises expeditas, realizadas com o auxílio de martelo e lâmina de aço como exposto na **Tabela 6**. No estudo de caso a resistência está referida com relação à simbologia indicada por Guidicini *et al.* (1972a).

**Tabela 5.** Graus de resistência dos maciços rochosos em função de sua resistência à compressão uniaxial.

<b>Siglas</b>	<b>Denominação</b>	<b>Resistência (MPa)</b>
R1	Muito resistente	>120
R2	Resistente	120-60
R3	Pouco resistente	60-30
R4	Brandia	30-10
R5	Muito brandia	<10

**Fonte:** baseado em Guidicini *et al.* (1972a) *apud* Nogoeseke (2009)

**Tabela 6.** Estimativa da resistência à compressão uniaxial através da análise expedita com martelo geológico e lâmina de aço de acordo com ISRM (Brown, 1981) e com a ABGE (1983).

ISRM (Brown, 1981)				ABGE (1983)			
COD	Rocha	Rc* (MPa)	Avaliação de campo	COD	Rocha	Avaliação de campo	Rc* (MPa)
R6	Extremamente resistente	>250	Pode apenas ser lascada com o martelo.	C1	Extremamente resistente	Amostras podem ser apenas lascadas com o martelo de geólogo.	>250
R5	Muito resistente	100-250	Requer vários golpes do martelo para quebrar.		Muito resistente	Amostras requerem muitos golpes de martelo para fraturarem-se.	100-250
R4	Resistente	50-100	Requer mais de um golpe do martelo para quebrar.	C2	Resistente	Amostras requerem mais de um golpe de martelo para fraturarem-se.	50-100
R3	Medianamente resistente	25-50	Requer apenas um golpe do martelo para quebrar. Não pode ser raspada ou descascada com um canivete.	C3	Medianamente resistente	Não pode ser raspada por canivete. Amostras podem ser fraturadas com um único golpe de martelo.	25-50
R2	Fraca	5-25	Indentação rasa com um golpe firme da ponta do martelo. Amostra pode ser descascada com um canivete.	C4	Branda	Pode ser raspada por canivete com dificuldade; marcada por firme pancada com a ponta do martelo de geólogo.	5-25
R1	Muito fraca	1-5	Esmigalha com golpes firmes da ponta do martelo. Pode ser descascada com um canivete.	C5	Muito branda	Esmigalha-se sob o impacto do martelo de geólogo; pode ser raspada por canivete.	1-5
R0	Extremamente fraca	0,25-1	Indentada pelo polegar.		Extremamente branda	Marcada pela unha.	0,25-1

Fonte: baseado em Vieira *et al.* (2015)

Rc= resistência à compressão

- **Condições das descontinuidades**

A descrição das condições das descontinuidades envolve, dentre outros, a determinação dos seguintes aspectos:

- **Grau de fraturamento:** corresponde ao número de fraturas por unidade de metro, podendo ser determinado em testemunhos de sondagem em função dos critérios estabelecidos na **Tabela 7** (ABGE, 1983).

**Tabela 7.** Critérios para a determinação do grau de fraturamento do maciço rochoso.

Siglas	Número de fraturas por metro	Denominação
F1	<1	Ocasionalmente fraturado
F2	1-5	Pouco fraturado
F3	6-10	Medianamente fraturado
F4	11-20	Muito fraturado
F5	>20	Extremamente fraturado

**Fonte:** baseado em Guidicini *et al.* (1972a) *apud* Nogoseke (2009)

- **Abertura:** se refere à distância perpendicular entre as paredes adjacentes das descontinuidades do maciço (ABGE, 1983). Considera-se a abertura de uma descontinuidade quando esta não está preenchida por material detrítico ou cristalino. Influencia diretamente na deformabilidade do maciço rochoso. Em geral, na caracterização do maciço, utiliza-se um valor médio como representativo das aberturas das descontinuidades. Os critérios utilizados para sua classificação estão expostos na **Tabela 8**.

**Tabela 8.** Critérios para a classificação das aberturas das descontinuidades do maciço rochoso.

Abertura	Descrição	
<0,1 mm	Muito apertada	Fechadas
0,1-0,25 mm	Apertada	
0,25-0,5 mm	Parcialmente aberta	
0,5-2,5 mm	Aberta	Abertas
2,5-10 mm	Moderadamente larga	
>10 mm	Larga	
1-10 cm	Muito larga	Afastadas
10-100 cm	Extremamente larga	
>1 m	Cavernosa	

**Fonte:** baseado em ABGE (1983) *apud* Nogoseke (2009)

- **Persistência:** é definida como a extensão do traço da descontinuidade em uma superfície de observação do maciço (ABGE, 1983). Possui grande influência na resistência ao cisalhamento da rocha, sendo classificada em função dos critérios apresentados na **Tabela 9** (SERRA JUNIOR e OJIMA, 1998 *apud* NOGOSEKE, 2009).

**Tabela 9.** Critérios para a classificação da persistência das descontinuidades em um maciço rochoso.

Extensão (m)	Descrição
<1	Persistência muito baixa
1-3	Persistência baixa
3-10	Persistência média
10-20	Persistência alta
>20	Persistência muito alta

Fonte: baseado em ABGE (1983) *apud* Nogoseke (2009)

- **Rugosidade:** corresponde à mensuração do grau de irregularidade das paredes das descontinuidades. Assim como a persistência, influencia diretamente a resistência ao cisalhamento do maciço rochoso e, portanto, em sua estabilidade ao rompimento por cisalhamento (ABGE, 1983). O **Quadro 2** apresenta um guia para a rápida classificação da rugosidade das descontinuidades.

**Quadro 2.** Classificação das paredes das descontinuidades quanto à sua rugosidade.

Recortada	Ondulada	Plana
rugosa	rugosa	rugosa
polida	polida	polida
lisa	lisa	lisa

Fonte: Barton *et al.* (1974) *apud* Nogoseke (2009)

Um amplo guia para a descrição destas e de outras características das descontinuidades dos maciços rochosos pode ser encontrado na tradução n°12 da ABGE (1983), intitulada: “Métodos para descrição quantitativa das descontinuidades dos maciços rochosos”.

### 2.3.2. Classificação dos maciços rochosos

#### 2.3.2.1. RQD (*Rock Quality Designation*)

O índice geotécnico RQD foi idealizado por D. U. Deere no ano de 1964 quando se dispunha apenas de descrições de geólogos e porcentagens de recuperação de testemunhos como formas de se ter acesso à qualidade dos maciços rochosos. Apesar disto, seu conceito só foi publicado de maneira formal por este mesmo autor em 1967 durante evento na Universidade de Illinois (EUA). O RQD tornou-se reconhecido internacionalmente no ano de 1968 através da publicação de D. U. Deere, intitulada: “*Rock Mechanics in Engineering Practice*” (DEERE e DEERE, 1988).

Na prática da Geologia de Engenharia o RQD se origina da proporção entre o somatório de todos os pedaços (blocos) de rocha intacta observados nos testemunhos de sondagem, maiores ou iguais a 10 cm, em relação ao comprimento total do avanço (DEERE, 1968 *apud* EDELBRO, 2003). De acordo com Deere e Deere (1988), o comprimento do avanço/manobra, preferivelmente, não deve ser superior a 1,5 m. Este índice é informado em termos de porcentagem e pode ainda ser referido, segundo Costa (2012), como ‘recuperação diferenciada’. Segundo Barros (2000) o RQD foi definido originalmente com referência aos fragmentos de testemunhos maiores que o dobro do diâmetro do testemunho obtido (NX). A forma mais comum de determinação deste parâmetro é através da análise direta do testemunho recuperado, sendo o mesmo computado através da **Eq. 1**. Um exemplo deste procedimento está ilustrado na **Figura 3**.

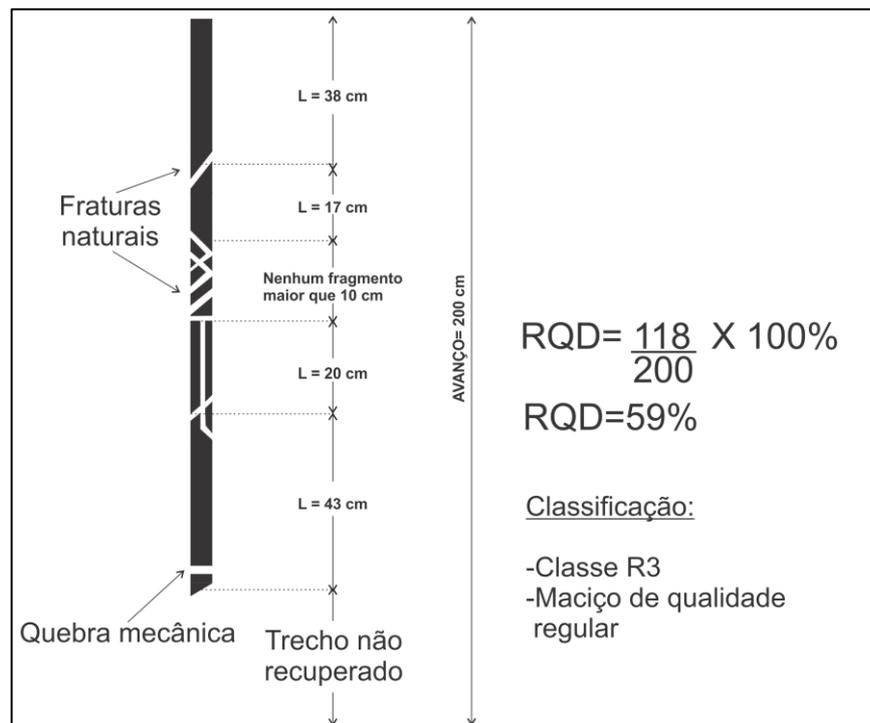
$$RQD = \frac{\sum \text{Fragmentos de testemunho com comprimento} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Comprimento total da manobra (avanço)}} \times 100\% \quad (\text{Eq. 1})$$

Assim definido, o RQD está relacionado com o grau de fraturamento e o grau de alteração do maciço rochoso, sendo influenciado por estas características, mas não as levando em consideração em seu cálculo. Segundo Vaz (1982) *apud* Barros (2000) as rochas alteradas devem ter indicação de valores nulos quanto ao RQD. Além disto, o RQD é empregado como parâmetro básico em diversos sistemas de classificação geomecânica, dentre eles o RMR (*Rock Mass Rating*), proposto por Bieniawski (1973), e o Sistema-Q, proposto por Barton (1974), os quais são utilizados para estimar propriedades de engenharia dos maciços rochosos. A partir das faixas de valores do RQD os maciços rochosos podem ser classificados em cinco classes de qualidade de acordo com **Tabela 10**.

**Tabela 10.** Classes de qualidade dos maciços rochosos em função dos valores de RQD.

Classe	RQD (%)	Qualidade do maciço rochoso
$R_1$	91-100	Excelente
$R_2$	76-90	Boa
$R_3$	51-75	Regular
$R_4$	26-50	Pobre
$R_5$	0-25	Muito pobre

Fonte: Deere e Deere (1988)

**Figura 3.** Determinação do RQD a partir de análise direta de testemunho.

Fonte: baseado em Deere e Deere (1988)

Para a determinação do RQD a ISRM recomenda a utilização de manobras de comprimentos variáveis, visando a individualização de domínios estruturais, transcorrências, zonas de fraqueza etc. (EDELBRÖ, 2003). Desta forma, o RQD indicará de maneira mais precisa a variação das características do maciço rochoso, delineando suas zonas críticas. Trechos de elevada diaclase ou cisalhamento, quando observados, diminuem a qualidade do maciço rochoso, já que reduzem suas características de resistência (deformabilidade). Neste contexto o RQD pode ser entendido como a porcentagem de rocha intacta de boa qualidade recuperada a partir de uma investigação (DEERE e DEERE, 1988). Em geral, a adaptação do comprimento da manobra às condições do maciço se faz de maneira natural durante a realização da sondagem.

Segundo Edelbro (2003) o procedimento correto de medida do tamanho do testemunho é medi-lo a partir de uma linha centrada no mesmo. Porções do testemunho quebradas pelo processo de perfuração, relacionadas a fraturas artificiais, devem ser somadas como um único pedaço. Quando há dúvida se a fratura é natural ou artificial, esta deve ser contabilizada como fratura natural para que o RQD expresse um valor mais conservador (DEERE e DEERE, 1988).

Deere (1968) estabeleceu originalmente que, para a determinação do RQD, deveria ser utilizado um diâmetro mínimo de testemunho de 54,7 mm (nominalmente NX), também recomendado pela ISRM. Apesar do diâmetro NX ser referido como o ‘diâmetro ótimo’ para a determinação do RQD, posteriormente foi observado que outros diâmetros também poderiam ser utilizados, desde que se faça uso de técnicas de perfuração que não induzam ao fraturamento excessivo do testemunho, provocando sua baixa recuperação (DEERE e DEERE, 1988). Os testemunhos analisados nesta pesquisa possuem diâmetro NX (TECHNE, 2011).

Atualmente o índice RQD é amplamente utilizado em obras de engenharia civil, sendo um parâmetro padrão utilizado na descrição de testemunhos. Suas grandes vantagens são: simplicidade e rapidez, baixos custos associados e identificação de zonas de baixa qualidade do maciço rochoso que podem interagir de maneira danosa com as estruturas projetadas (DEERE e DEERE, 1988; EDELBRO, 2003).

Zhang e Einstein (2004) citam algumas das limitações do RQD ao correlacionar este parâmetro com a razão entre os módulos de deformabilidade do maciço rochoso ( $E_m$ ) e da rocha intacta ( $E_r$ ) -  $E_m/E_r$ , sendo elas:

- Insensibilidade do RQD quanto à frequência das fraturas (grau de fraturamento): espaçamentos de fraturas próximos a 10 cm (100 mm) podem fornecer valores de RQD bastante distintos. Por exemplo, se o espaçamento das fraturas for de 10,5 cm, o RQD será de 100%, mas isto não significa que a rocha não contém fraturas. Caso seja 9,5 cm, o RQD será nulo (RQD = 0%) e isto não significa que o maciço possui péssimas condições. Esta limitação pode ser sanada através da análise direta dos testemunhos de sondagem ou de seu registro fotográfico.
- O RQD varia com a direção da perfuração em relação às descontinuidades da rocha.
- O RQD não considera as condições das fraturas, como abertura, preenchimento, alteração etc. Estas características possuem grande influência sobre o módulo de

deformabilidade (resistência) da rocha e, portanto, sobre sua qualidade. Por exemplo, em áreas onde as fraturas estão preenchidas por argilas, apesar da possibilidade do valor do RQD ser alto, o maciço será instável ao cisalhamento. Esta limitação pode ser resolvida com a ampla caracterização geológico-geotécnica do maciço e sua classificação geomecânica.

#### 2.3.2.2. Sistemas de classificação geomecânica

A ideia básica dos sistemas de classificação geomecânica é reunir um conjunto de características do maciço rochoso que possuem forte influência sobre seu comportamento mecânico, objetivando classificá-lo quanto à uma finalidade específica (túneis, taludes, fundações etc.). Estes sistemas atribuem pontuações a cada parâmetro considerado e, ao final, o somatório destes valores fornecerá uma ideia da adequação da rocha ao projeto idealizado. Além disto, estes sistemas podem ser utilizados para estimar certas propriedades mecânicas. Segundo Vieira *et al.* (2015) uma boa classificação geomecânica está diretamente relacionada à realização de uma boa caracterização geológico-geotécnica e hidrogeotécnica o que permitirá a previsão mais adequada do comportamento do maciço frente às solicitações que lhe serão impostas pela obra.

Segundo Hoek (2000) *apud* Nogueira (2009) a utilização dos sistemas de classificação geomecânica possui maior importância nas etapas iniciais dos projetos de engenharia civil, quando se dispõe de poucas informações a respeito do maciço. Estes sistemas acabam funcionando com uma espécie de *checklist* de todas as informações relevantes para a caracterização do maciço.

A seguir procede-se uma breve abordagem do sistema de classificação geomecânica RMR proposto por Bieniawski (1989) e que será aplicado ao estudo de caso.

##### 2.3.2.2.1. Sistema *Rock Mass Rating* (RMR)

O sistema RMR foi proposto por Bieniawski em 1973 com o objetivo de classificar os maciços rochosos com vistas à realização de escavações subterrâneas (CHRISTOFOLLETTI, 2014). Originalmente este sistema era composto por oito parâmetros geológico-geotécnicos e geomecânicos, sendo sua versão mais atual, proposta em 1989, baseada em seis (**Tabela 11**). Segundo Freitas (2011) o sistema RMR deve ser aplicado preferencialmente a regiões do

maciço com características geológico-geotécnicas uniformes e tem como resultado final o fornecimento do ‘índice RMR’.

A estruturação do sistema RMR e os pesos relativos a cada parâmetro considerado, de acordo com suas condições, estão apresentados na **Tabela 11**. Neste sistema, em um primeiro momento, calcula-se o valor relativo à soma das pontuações dos cinco primeiros parâmetros, obtendo-se o denominado ‘RMR básico’, e em seguida realiza-se uma correção através do sexto parâmetro (orientação das descontinuidades), também referido como ‘parâmetro de ajuste’ (ROMANA, 2003a e 2003b). A **Tabela 12** apresenta os critérios para a descrição das condições das descontinuidades enquanto que a **Tabela 13** indica a influência da orientação destas feições na estabilidade das fundações das barragens.

O índice RMR varia de 0 a 100, indicando a qualidade do maciço rochoso e fornecendo ainda uma estimativa dos seguintes parâmetros: ângulo de atrito interno e coesão do maciço (**Tabela 14**). Segundo Bieniawski (1988) *apud* Nogoseke (2009) o RMR é um sistema de simples aplicação que pode ter seus parâmetros facilmente obtidos a partir de furos de sondagem ou mapeamentos geológicos. Além disto, o índice RMR pode ser correlacionado com módulo de deformabilidade do maciço rochoso ( $E_m$ ) através das equações **Eq. 2** e **Eq. 3**, propostas respectivamente por Bieniawski (1978) e por Serafim e Pereira (1983) (NOGOSEKE, 2009; CHRISTOFOLLETI, 2014). Em ambas as equações o módulo de deformabilidade é dado em gigapascal (GPa).

- Para o índice  $RMR > 50$ :

$$E_M[GPa] = 2RMR - 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

-Para o índice  $RMR < 50$ :

$$E_M[GPa] = 10^{(RMR-10)/40} \quad (\text{Eq. 3})$$

**Tabela 11.** Parâmetros e pontuações utilizadas na classificação geomecânica de Bieniawski (1989).

Parâmetros		Faixa de valores							
1	Resistência da rocha intacta	Índice puntiforme	> 10	4 a 10	2 a 4	1 a 2	Utilizar compressão simples		
		Compressão simples (MPa)	> 250	100 a 250	50 a 100	25 a 50	5 a 25	1 a 5	< 1
	Peso relativo	15	12	7	4	2	1	0	
2	<b>RQD</b>		90 a 100	75 a 90	50 a 75	25 a 50	< 25		
	Peso relativo		20	17	13	8	5		
3	<b>Espaçamento das fraturas</b>		> 2 m	0,6 a 2 m	200 a 600 mm	60 a 200 mm	< 60 mm		
	Peso relativo		20	15	10	8	5		
4	<b>Condição das fraturas</b>		Superfícies muito rugosas; não contínuas; fechadas; paredes duras.	Superfícies pouco rugosas; abertura <1 mm; paredes duras.	Superfícies pouco rugosas; abertura <1 mm; paredes moles.	Superfícies estriadas ou preenchimento <5 mm ou abertura 1-5 mm; contínuas	Preenchimento mole >5mm ou abertura >5 mm; contínuas		
	Peso relativo		30	25	20	10	0		
5	Água subterrânea	Infiltração em 10 m de túnel	Nenhuma (ou)	< 10 l/min (ou)	< 25 l/min (ou)	25 a 125 l/min (ou)	> 125 l/min (ou)		
		Relação (pressão de água/tensão)	0 (ou)	< 0,1 (ou)	0,1 a 0,2 (ou)	0,2 a 0,5 (ou)	> 0,5 (ou)		
		Condições gerais	Seco	Umedecido	Úmido	Gotejando	Com fluxo		
	Peso relativo		15	10	7	4	0		
6	<b>Direção e mergulho</b>		Muito favorável	Favorável	Moderado	Desfavorável	Muito desfavorável		
	Peso relativo	Túneis	0	-2	-5	-10	-12		
		Fundações	0	-2	-7	-15	-50		
		Taludes	0	-2	-25	-50	-60		

Fonte: baseado em Nogoseke (2009)

**Tabela 12.** Critérios utilizados para a descrição das condições das discontinuidades do maciço rochoso.

Parâmetro	Faixa de valores				
<b>Persistência da descontinuidade</b>	< 1 m	1 a 3 m	3 a 10 m	10 a 20 m	> 20 m
Peso relativo	6	4	2	1	0
<b>Abertura</b>	Nenhuma	< 0,1 mm	0,1 a 1 mm	1 a 5 mm	> 5 mm
Peso relativo	6	5	4	1	0
<b>Rugosidade</b>	Muito rugosa	Rugosa	Levemente rugosa	Lisa	Espelho de falha
Peso relativo	6	5	3	1	0
<b>Preenchimento</b>	Preenchimento duro			Preenchimento mole	
	Nenhum	< 5 mm	> 5 mm	< 5 mm	> 5 mm
Peso relativo	6	4	2	2	0
<b>Alteração</b>	Nenhuma	Leve	Moderada	Alta	Decomposta
Peso relativo	6	5	3	1	0

Fonte: baseado em Nogoseke (2009)

**Tabela 13.** Influência da orientação das discontinuidades em relação à estabilidade das fundações de barragens segundo Bieniawski e Orr (1976).

Mergulho entre 0° e 10°	Mergulho entre 10° e 30°		Mergulho entre 30° e 60°	Mergulho entre 60° e 90°
	Montante	Jusante		
Muito favorável	Desfavorável	Moderado	Favorável	Muito desfavorável

Fonte: baseado em Nogoseke (2009)

**Tabela 14.** Classes de maciço rochosos em função do valor do índice RMR.

Somatório dos pesos (Índice RMR)	81-100	61-80	41-60	21-40	<20
<b>Classes</b>	I	II	III	IV	V
<b>Qualidade do maciço</b>	Muito bom	Bom	Razoável	Fraco	Muito fraco
<b>Coesão do maciço (kPa)</b>	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
<b>Ângulo de atrito do maciço</b>	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

Fonte: baseado em Christofolleti (2014)

## 2.4. Ensaio de perda d'água sob pressão (EPA)

### 2.4.1. Introdução

O ensaio de perda d'água sob pressão (EPA), também conhecido na língua inglesa como *Lugeon test* ou *Packer test*, foi desenvolvido pelo geólogo francês Maurice Lugeon em 1933 e corresponde à um ensaio geotécnico *in situ* (método de prospecção semidireto) destinado ao

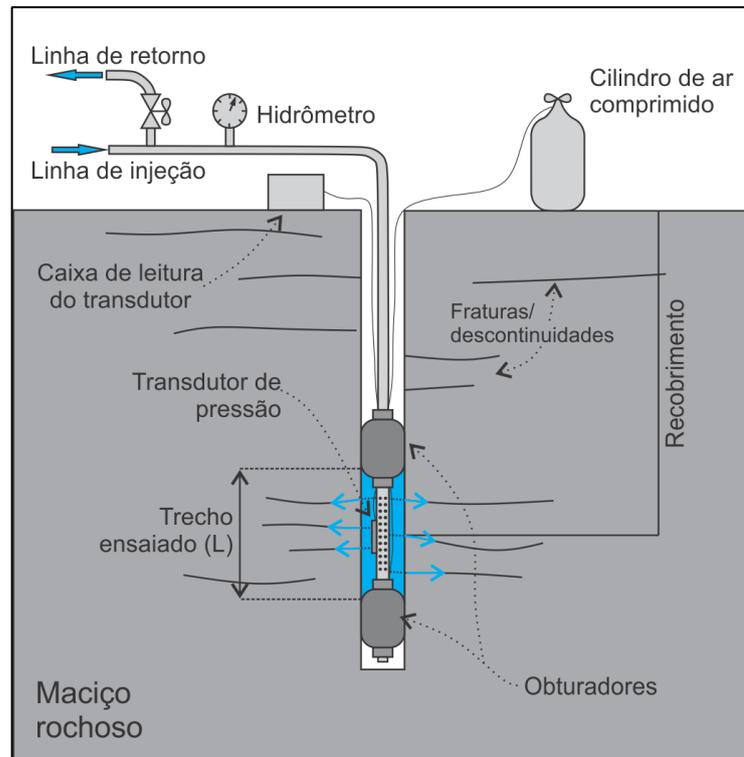
estudo da condutividade hidráulica dos maciços rochosos. Segundo Oliveira, Silva e Júnior (1975) este ensaio consiste na injeção d'água, de acordo com diversos estágios/níveis de pressão, em um trecho de um furo de sondagem, isolado por meio de obturadores (**Figura 4**).

O principal objetivo deste ensaio é a análise do comportamento hidráulico do maciço através da simulação das condições de percolação que lhe serão impostas pela obra a ser projetada. A partir de seus resultados é, então, realizada a caracterização hidrogeotécnica do maciço rochoso (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975; AMARO, 2015). Além disto, o ensaio de perda d'água pode ser utilizado como indicativo das condições de fraturamento do maciço rochoso, visto que a percolação d'água nestes meios ocorre majoritariamente através de suas descontinuidades. A relação entre os resultados dos ensaios de perda d'água e as condições das fraturas é apresentada adiante no **tópico 2.4.5**.

Em função de seus resultados este ensaio é utilizado ainda como indicativo da necessidade ou não do emprego de tratamentos por injeções à fundação ensaiada (QUIÑONES-ROZO, 2010). Segundo Amaro (2015), verificada a necessidade de tratamento por injeção de caldas à base de cimento ou caldas químicas, com vistas à consolidação ou à impermeabilização do maciço rochoso, o ensaio de perda d'água fornece importantes subsídios ao plano de injeções, dentre eles destacam-se:

- Estimativas dos volumes de caldas necessários à injeção.
- Definição da profundidade de alcance do tratamento.
- Avaliação da eficiência do tratamento por injeção.

**Figura 4.** Disposição dos equipamentos envolvidos na realização do ensaio de perda d'água sob pressão (EPA).



Fonte: modificado de Bento (2014)

#### 2.4.2. Definição dos parâmetros do ensaio

De acordo com Amaro (2015) os diversos níveis de pressão sob os quais o ensaio de perda d'água é realizado estão dispostos de acordo com duas sequências, sendo a primeira crescente e a segunda decrescente, formando um ciclo de pressões, o chamado '*pressure loop*'. Na prática, a grande maioria dos ensaios de perda d'água é realizada segundo um ciclo de cinco etapas de injeção, de acordo com três níveis de pressão, assumindo a distribuição apresentada na **Tabela 15**. Entretanto, quanto maior o número de etapas de pressão, o que configura um ensaio de múltiplos estágios, maior o grau de detalhamento do comportamento do maciço (IYOMASA *et al.*, 1999). Segundo Lima (1979) a definição dos níveis de pressão utilizados neste ensaio é função do litotipo, grau de fraturamento, grau de alteração e pressão d'água que a rocha vai trabalhar durante a operação do empreendimento (coluna d'água).

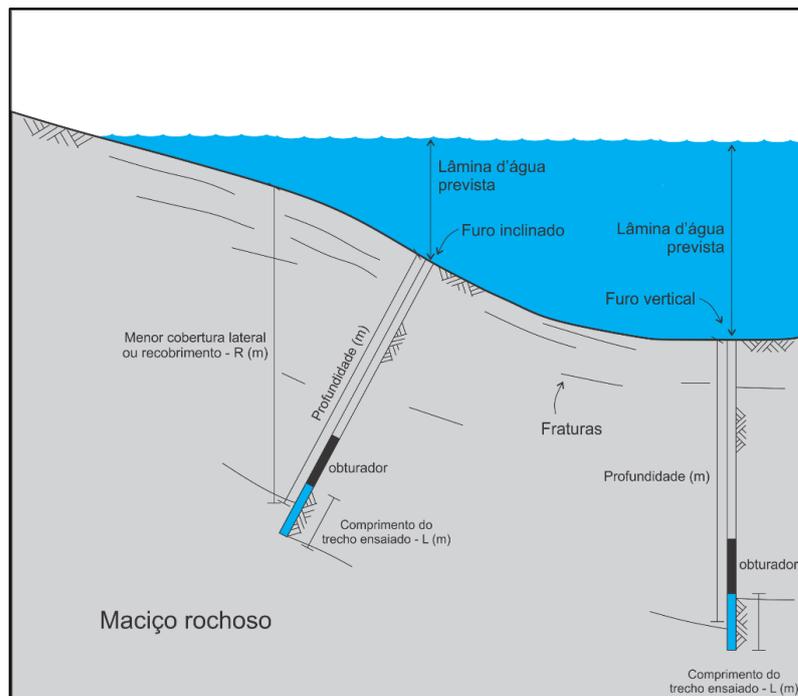
Quiñones-Rozo (2010) indica que o computo das pressões de injeção pode ser feito com referência à pressão de injeção máxima ( $P_{máx}$ ). Seu valor é definido de forma que não exceda a tensão vertical estimada para a profundidade do trecho ensaiado, evitando assim que ocorra o

fraturamento hidráulico do maciço rochoso e o consequente aumento de sua condutividade. A pressão máxima pode ser calculada através da **Eq. 4**.

$$P_{m\acute{a}x} = D \times 22,6 \text{ kPa/m} \quad (\text{Eq. 4})$$

O parâmetro  $D$  na equação acima corresponde, para furos verticais em locais planos, à profundidade do trecho ensaiado e para furos inclinados em encostas, como nas ombreiras das barragens, à menor cobertura lateral ou simplesmente recobrimento (QUIÑONES-ROZO, 2010; AMARO, 2015). Para sua definição é utilizado como referência o ponto médio do trecho ensaiado (**Figura 5**). Os critérios adotados para o cálculo das demais pressões de injeção estão revelados na **Tabela 15**.

**Figura 5.** Representação do parâmetro  $D$ , utilizado no cálculo da pressão máxima de injeção, para furos verticais e inclinados.



**Fonte:** baseado em Amaro (2015)

**Tabela 15.** Critérios utilizados para o cálculo dos valores de pressão de injeção em um ensaio de perda d'água de cinco etapas.

Estágio	Descrição	Pressão utilizada
1°	Menor	$0,50 \times P_{m\acute{a}x}$
2°	Média	$0,75 \times P_{m\acute{a}x}$
3°	Máxima	$P_{m\acute{a}x}$
4°	Média	$0,75 \times P_{m\acute{a}x}$
5°	Menor	$0,50 \times P_{m\acute{a}x}$

**Fonte:** baseado em Quiñones-Rozo (2010)

Os critérios para a definição dos níveis de pressão apresentados acima representam a metodologia mais adotada no exterior, especialmente nos países europeus. No Brasil, a ABGE, através do trabalho de Iyomasa *et al.* (1999), indica que a definição dos níveis de pressão deve seguir as seguintes orientações:

- Pressão máxima: 0,25 kgf/cm<sup>2</sup> (0,025 MPa) por metro de profundidade, na vertical, com referência à metade do trecho ensaiado. Se a rocha for muito friável ou alterada, recomenda-se 0,15 kgf/cm<sup>2</sup>/m (0,015 MPa/m).
- Pressão intermediária: metade da pressão máxima.
- Pressão mínima: igual à pressão exercida por uma coluna d'água interna à tubulação do obturador, de aproximadamente 1 m de altura acima da boca do furo.

A utilização de um gradiente de pressão de 0,25 kgf/cm<sup>2</sup>/m (0,025 MPa/m) se baseia na densidade média dos maciços rochosos ensaiados (2,7 t/m<sup>3</sup>) e visa evitar o fraturamento hidráulico dos mesmos (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975). Na prática, entretanto, a definição dos níveis de pressão pelas companhias de sondagem brasileiras é realizada adicionando-se a este critério o efeito da carga hidráulica imposta pela lâmina d'água prevista para o reservatório (**Figura 5**).

#### 2.4.3. Execução

A apresentação da metodologia de execução deste ensaio foge ao escopo deste trabalho. As diretrizes para sua execução, definidas pela ABGE, podem ser encontradas nos trabalhos de Oliveira, Silva e Júnior (1975) e Iyomasa *et al.* (1999).

#### 2.4.4. Cálculo da condutividade hidráulica (K)

Para cada etapa de injeção são registrados, a cada minuto, os valores de pressão (P) e absorção (Q), sendo estas informações utilizadas em um momento posterior para o cálculo da condutividade hidráulica média de cada estágio (QUIÑONES-ROZO, 2010).

A condutividade hidráulica dos maciços rochosos é internacionalmente expressa em termos de unidades Lugeon (UL) que é definida como a condutividade necessária para a obtenção de uma vazão de 1 l/min por metro ensaiado sob uma pressão de injeção de 1 MPa. No exterior a UL tem sido amplamente utilizada como critério para a análise da estanqueidade das fundações de barragens, mas no Brasil não é comumente empregada. A expressão para o

cálculo da condutividade em UL, o denominado valor Lugeon, a partir dos valores de pressão e absorção, registrados durante a realização do ensaio de perda d'água, é dada pela **Eq. 5**. Em condições ideais, ou seja, em um meio homogêneo e isotrópico, 1 UL equivale a  $1,3 \times 10^{-5}$  cm/s (FELL *et al.*, 2005 *apud* QUIÑONES-ROZO, 2010). Entretanto, a relação entre estas duas unidades nem sempre é linear. Após o cálculo da condutividade para cada estágio, um valor representativo pode ser escolhido com base no *trend* dos valores observados, estando os critérios utilizados para a escolha deste valor apresentados no **tópico 2.4.5**.

$$K = \alpha \times \frac{Q}{L} \times \frac{P_0}{P} \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde,

$K$ : é a condutividade hidráulica [UL]

$Q$ : é a vazão [l/min]

$L$ : é o comprimento do trecho ensaiado [m]

$P_0$ : é a pressão de referência (=1MPa)

$P$ : é a pressão de injeção [MPa]

Na expressão acima  $\alpha$  é um fator adimensional utilizado para acomodar o emprego de diferentes sistemas de unidades. Para o SI, sistema no qual a UL é definida,  $\alpha = 1$ .

No Brasil, segundo as diretrizes da ABGE expostas por Oliveira, Silva e Júnior (1975), cada par de valores (absorção, pressão de injeção) pode fornecer o valor de um coeficiente representativo da condutividade hidráulica, também chamado de 'coeficiente equivalente de permeabilidade', se estes valores forem devidamente tratados. Estes pares de valores são utilizados para a construção da curva 'absorção vs carga efetiva' a partir da qual realiza-se a interpretação do comportamento do maciço no trecho ensaiado. Dada a dificuldade de acesso à referida documentação (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975), apresenta-se abaixo, como forma de difusão deste conhecimento, os passos em sequência para o cálculo da condutividade hidráulica segundo as diretrizes da ABGE, considerando as seguintes variáveis:

$N$ : é a profundidade do nível d'água [m]

$N'$ : é a altura do nível d'água se houver artesianismo/surgência [m]

$d$ : é o diâmetro do furo [m]

$C$ : é o comprimento da tubulação a jusante do manômetro [m]

$P_{ob}$ : é a profundidade do obturador [m]

$L$ : é o comprimento do trecho ensaiado [m]

$h$ : é a altura do manômetro [m]

$H$ : é a carga da coluna d'água [m]

$P_m$ : é a pressão manométrica [kgf/cm<sup>2</sup>]

$P_c$  é a perda de carga na canalização [kgf/cm<sup>2</sup>]

**i. Cálculo da carga efetiva ( $C_e$ )**

A carga efetiva é dada por:

$$C_e [\text{kgf/cm}^2] = \frac{H}{10} + P_m - P_c \quad \text{Eq. 6}$$

A carga da coluna d'água ( $H$ ) pode ser definida a partir das três situações abaixo:

- Se o trecho ensaiado está acima do nível d'água:

$$H[m] = h + P_{ob} + L/2 \quad \text{Eq. 7}$$

- Se o trecho ensaiado está abaixo do nível d'água:

$$H[m] = h + N \quad \text{Eq. 8}$$

- Se há artesianismo:

$$H[m] = -N' + h \quad \text{Eq. 9}$$

**ii. Cálculo da perda d'água específica ( $P_e$ )**

Sabendo que a vazão específica ( $Q_e$ ) é dada por:

$$Q_e [l/min/m] = \frac{Q}{L} \quad \text{Eq. 10}$$

Então a perda d'água específica ( $P_e$ ) é definida como:

$$P_e [l/min/m/kgf/cm^2] = \frac{Q_e}{C_e} \quad \text{Eq. 11}$$

**iii. Cálculo da condutividade hidráulica ( $K$ )**

O cálculo da condutividade hidráulica como segue foi sugerido por Babouchkine (1965) *apud* Oliveira, Silva e Júnior (1975), sendo a mesma obtida através da seguinte expressão:

$$K[m/s] = \frac{Q}{2\pi \times H \times L} \times C_f \quad \text{Eq. 12}$$

O coeficiente de forma ( $Cf$ ) na fórmula acima é adimensional, sendo dado por:

$$Cf = \ln \frac{0,66 L}{d/2} \quad \text{Eq. 13}$$

Onde,

$K$ : é a condutividade hidráulica [m/s]

$Q$ : é a vazão [m<sup>3</sup>/s]

$H$ : é a carga hidráulica do trecho ensaiado [m]

$L$ : é o comprimento do trecho ensaiado [m]

$d$ : é o diâmetro do furo [m]

Retomando o conceito de perda d'água específica ( $PE$ ), a condutividade hidráulica pode ser dada em  $cm/s$  por:

$$K[cm/s] = Pe \times \frac{1,66 \times 10^{-4}}{2\pi} \times Cf \quad \text{Eq. 14}$$

Fazendo:

$$F = \frac{1,66 \times 10^{-4}}{2\pi} \times Cf \quad \text{Eq. 15}$$

Tem-se que:

$$K[cm/s] = PE \times F \quad \text{Eq. 16}$$

O cálculo da condutividade hidráulica apresentado na **Eq. 16** só é válido quando são observados fluxos laminares sem alteração, o que é não é comum nos maciços rochosos. Quando este comportamento não é observado, através da análise das curvas 'absorção vs carga efetiva' (**Quadro 8**), recomenda-se para este cálculo a utilização do par de valores (absorção, pressão de injeção) relativos ao primeiro estágio de injeção (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975).

#### 2.4.5. Interpretação

Atualmente no exterior a maior parte das interpretações associadas aos resultados do ensaio de perda d'água está fundamentada em Houlby (1976). A abordagem deste autor para a escolha do valor representativo da condutividade hidráulica do trecho ensaiado se baseia no padrão apresentado pelos valores Lugeon, calculados para cada estágio de pressão e dispostos na forma de gráficos. Houlby (*op cit.*) classificou os comportamentos típicos observados na prática do ensaio de perda d'água em cinco diferentes grupos que segundo ele deveriam ser

utilizados para a escolha dos valores representativos de condutividade hidráulica. Quiñones-Rozo (2010) também descreve estes comportamentos típicos, como segue abaixo:

i. Fluxo laminar

Neste comportamento a condutividade hidráulica do maciço rochoso independe da pressão de injeção d'água empregada (**Quadro 3**). É típico de maciços rochosos que apresentam baixos valores de condutividade, ou seja, quando as velocidades de percolação são pequenas (<4 UL). Nesta situação as vazões variam linearmente com as pressões de injeção (ROCHA, 2013 *apud* AMARO, 2015).

A observação deste comportamento implica que o escoamento se deu em um dos seguintes cenários: através de fraturas limpas de pequena abertura, através de fraturas preenchidas com detritos granulares, ou ainda, através da matriz rochosa (ROCHA, 2013 *apud* AMARO, 2015).

**Quadro 3.** Características de um fluxo laminar no ensaio de perda d'água.

Comportamento	Estágios de pressão	Valores Lugeon	Descrição	Valor representativo da condutividade
Laminar			Valores de condutividade aproximadamente iguais e independentes das pressões de injeção	Média das condutividades de cada estágio

Fonte: modificado de Quiñones-Rozo (2010)

ii. Fluxo turbulento

Neste comportamento a condutividade hidráulica do maciço rochoso diminui à medida que a pressão de injeção d'água aumenta (**Quadro 4**). Este comportamento é típico de maciços rochosos que exibem juntas parcialmente abertas e moderadamente persistentes (AMARO, 2015). Além disto, também pode estar relacionado com a maior rugosidade das paredes das fraturas que impedem o desenvolvimento de um fluxo laminar.

**Quadro 4.** Características de um fluxo turbulento no ensaio de perda d'água.

Comportamento	Estágios de pressão	Valores Lugeon	Descrição	Valor representativo da condutividade
Fluxo turbulento			Valores de condutividade diminuem com o aumento das pressões. O menor valor de permeabilidade é observado no estágio de maior pressão de injeção.	A condutividade correspondente ao estágio de maior pressão (3º estágio)

Fonte: modificado de Quiñones-Rozo (2010)

### iii. Expansão

Este comportamento se caracteriza quando valores próximos de condutividade hidráulica são observados no primeiro e segundo estágio de injeção (pressão de injeção mínima e média), em oposição a um valor de condutividade muito maior, observado no terceiro estágio de injeção (pressão de injeção máxima) (**Quadro 5**). Em alguns casos este comportamento pode ser observado já durante pressões medianas devido ao fato da pressão de injeção ser superior à tensão principal mínima do maciço rochoso, causando uma dilatação temporária das fissuras do maciço rochoso (“*hydro-jacking*”) e, por consequência, aumentando sua condutividade hidráulica.

**Quadro 5.** Características do comportamento ‘expansivo’ no ensaio de perda d'água.

Comportamento	Estágios de pressão	Valores Lugeon	Descrição	Valor representativo da condutividade
Expansão			Os valores de condutividade variam proporcionalmente com variações das pressões. O maior valor de condutividade é observado no estágio de maior pressão de injeção	A menor condutividade registrada, correspondente ao estágio de menor pressão (1º estágio) ou ao estágio de média pressão (2º estágio).

Fonte: modificado de Quiñones-Rozo (2010)

### iv. Lavagem

Neste comportamento os valores de condutividade, durante o desenrolar do ensaio, aumentam independentemente do aumento da pressão de injeção (**Quadro 6**). Em geral, este aumento é reflexo da lavagem ou dissolução do preenchimento das juntas, podendo ainda estar relacionado a movimentos permanentes da rocha ensaiada que causam um dano permanente e irreparável à formação.

**Quadro 6.** Características do comportamento ‘lavagem’ no ensaio de perda d’água.

Comportamento	Estágios de pressão	Valores Lugeon	Descrição	Valor representativo da condutividade
Lavagem			Os valores de condutividade aumentam à medida que o teste avança. Os preenchimentos das descontinuidades são progressivamente lavados pela água.	A maior condutividade registrada (5º estágio)

Fonte: modificado de Quiñones-Rozo (2010)

#### v. Preenchimento

Neste comportamento os valores de condutividade diminuem com o prosseguimento do ensaio, independentemente de mudanças na pressão de injeção (**Quadro 7**). Isto pode indicar três situações:

- O preenchimento progressivo de descontinuidades isoladas, não persistentes.
- A ocorrência de expansão mineral no interior das descontinuidades.
- O carreamento de partículas finas para o interior das descontinuidades, criando uma barreira ao fluxo d’água.

**Quadro 7.** Características do comportamento ‘preenchimento de vazios’ no ensaio de perda d’água.

Comportamento	Estágios de pressão	Valores Lugeon	Descrição	Valor representativo da condutividade
Preenchimento de vazios			Os valores de condutividade diminuem à medida que o teste avança. Ou as descontinuidades não persistentes são progressivamente preenchidas ou ocorre expansão mineral no interior das fissuras.	A última condutividade registrada (5º estágio)

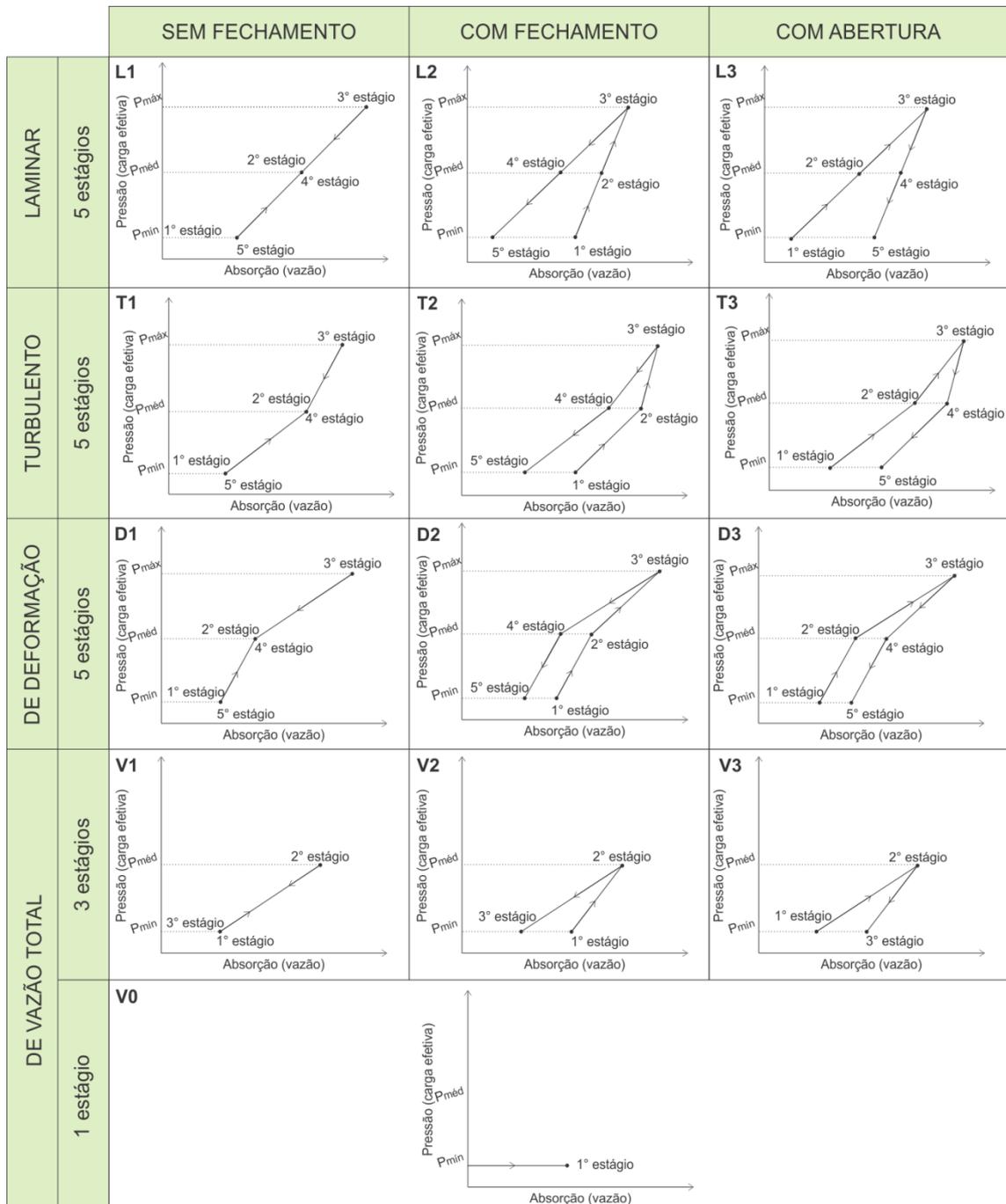
Fonte: modificado de Quiñones-Rozo (2010)

A comparação entre os volumes d’água absorvidos pelo maciço para um mesmo valor de pressão de injeção na fase ascendente e na fase descendente irá permitir a verificação da ocorrência de lavagem ou preenchimento das fraturas.

No Brasil, Oliveira, Silva e Júnior (1975) apresentam uma abordagem referida pelos próprios autores como simplista, revelando quatro grupos de comportamento observados nas curvas ‘absorção vs carga efetiva’, sendo eles: laminar, turbulento, ‘de deformação’, ‘de vazão

total'. Estes, por sua vez, comportam ainda três subdivisões: 'sem fechamento' (ou 'sem alteração'), 'com fechamento' e 'com abertura' (**Quadro 8**).

**Quadro 8.** Comportamentos observados nos ensaios de perda d'água segundo boletim da ABGE.



Fonte: modificado de Oliveira, Silva e Júnior (1975)

Quanto às condições das discontinuidades do maciço, Quiñones-Rozo (2010) fornece uma indicação a partir de faixas de valores de condutividade hidráulica, expressos em unidades Lugeon ou em cm/s, como exposto na **Tabela 16**.

**Tabela 16.** Relação entre os valores de condutividade do maciço rochoso e as condições das descontinuidades do mesmo.

Condutividade hidráulica (UL)	Condutividade hidráulica (cm/s)	Classificação da condutividade	Condições das descontinuidades do maciço rochoso	Precisão relatada (UL)
<1	$<1 \times 10^{-5}$	Muito baixa	Muito apertadas	<1
1-5	$1 \times 10^{-5}$ a $6 \times 10^{-5}$	Baixa	Apertadas	$\pm 0$
5-15	$6 \times 10^{-5}$ a $2 \times 10^{-4}$	Moderada	Poucas parcialmente abertas	$\pm 1$
15-50	$2 \times 10^{-4}$ a $6 \times 10^{-4}$	Média	Algumas abertas	$\pm 5$
50-100	$6 \times 10^{-4}$ a $1 \times 10^{-3}$	Alta	Muitas abertas	$\pm 10$
>100	$>1 \times 10^{-3}$	Muito Alta	Abertas e próximas ou vazios	>100

Fonte: modificado de Quiñones-Rozo (2010)

A ABGE (1983) classifica a condutividade hidráulica dos maciços rochosos em cinco categorias ou classes, de acordo com a **Tabela 17**.

**Tabela 17.** Classes de condutividade hidráulica de acordo com os valores de perda d'água específica (Pe).

Classe de condutividade hidráulica	Denominação	Perda d'água específica (l/min.m.kgf/cm <sup>2</sup> )
H1	Muito baixa	$<0,1$
H2	Baixa	$0,1 \leq e < 0,5$
H3	Média	$0,5 \leq e < 5,0$
H4	Alta	$5,0 \leq e < 25,0$
H5	Muito alta	$\geq 25,0$

Fonte: ABGE (1983)

## 2.5. Condutividade hidráulica (K) dos maciços rochosos

Os processos de infiltração e percolação d'água nos maciços rochosos ocorrem de modo distinto daquele observado nos solos, classificados como meios porosos. Na vasta maioria dos casos, a permeabilidade e a condutividade hidráulica associadas à matriz das rochas são desprezíveis e o movimento das águas nestes meios se dá através de suas descontinuidades (juntas, foliações, falhas etc.). No contexto hidrogeotécnico, os maciços rochosos são classificados em sua maioria como meios heterogêneos e anisotrópicos, sendo denominados genericamente como 'meios fissurais'. Neste caso, a condutividade hidráulica é fortemente

relacionada com as características das descontinuidades do maciço, como: número de famílias, abertura, frequência, rugosidade, interligação, orientação espacial e tipo de preenchimento. Recebe especial destaque a influência da abertura das descontinuidades sobre a condutividade (NAPPI *et al.*, 2005; HAMM *et al.*, 2007).

Ganha representatividade, portanto, no contexto da caracterização hidrogeotécnica dos maciços rochosos, sempre que possível, a ampla caracterização de seus sistemas de descontinuidades. Este tipo de informação pode promover um melhor entendimento dos resultados dos ensaios de perda d'água e auxiliar na quantificação do fluxo que percolará através das rochas (NAPPI *et al.*, 2005; HAMM *et al.*, 2007).

De modo geral a literatura revela que, devido ao efeito das tensões litostáticas (efeito da sobrecarga), os valores de condutividade hidráulica dos maciços rochosos diminuem com o aumento da profundidade, ajustando-se satisfatoriamente à uma curva exponencial negativa (LEE e FARMER, 1993 *apud* HAMM *et al.*, 2007). Neste caso, é levada em consideração a tendência de diminuição do número das descontinuidades do maciço com o aumento da profundidade. Segundo Amaro (2015) a condutividade tem uma variação do tipo logarítmico.

Para a aferição da condutividade dos maciços rochosos, possuem maior confiabilidade os ensaios geotécnicos *in situ*, a exemplo do ensaio de perda d'água, analisado neste trabalho. Esta constatação está assentada na verificação de que mudanças no campo de tensões podem implicar em variações significativas na permeabilidade e na condutividade do maciço, o que demonstra uma correlação entre estas informações.

#### 2.5.1. Relação entre a condutividade hidráulica (K) e RQD

Jiang *et al.* (2009) sugerem que, como a condutividade hidráulica e os parâmetros mecânicos dos maciços rochosos estão associados com as características de suas descontinuidades, ambas as informações estão relacionadas. Esta observação faz crer que é possível estimar as propriedades mecânicas dos maciços rochosos a partir de suas propriedades hidráulicas e vice-versa. Desta forma, algumas tentativas de correlações foram realizadas anteriormente através da utilização de dados de diversas localidades, incluindo obras de barramentos, na tentativa de se obter uma estimativa da condutividade hidráulica através dos valores de RQD. Os principais benefícios do entendimento desta relação seriam: a estimativa dos valores de condutividade hidráulica, sem a necessidade da realização dos ensaios de perda

d'água, gerando economia; e a averiguação dos resultados dos ensaios já realizados, como forma de fiscalização e controle de qualidade das investigações.

No sentido de enriquecer a literatura com novos dados, este trabalho analisará a correlação entre as informações de RQD e condutividade hidráulica obtidas durante o projeto básico da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos.

## 2.6. Critérios utilizados para a definição da alternativa tecnológica

Abaixo estão comentados os três mais importantes fatores que influenciam na definição da alternativa tecnológica mais apropriada à um projeto de barragem, identificados no trabalho de Souza (2013) e que também podem ser encontrados em outros textos.

### I. Geologia do eixo barrado

Corresponde à principal condicionante de um projeto de barragem. Segundo Marques Filho e Geraldo (1998) as barragens de concreto devem ser fundadas preferivelmente em rocha de boa qualidade (resistentes) enquanto que as barragens de terra são adequadas para qualquer tipo de fundação, pois podem sofrer maiores deformações (mais significativas nos maciços terrosos). A observação da prática da Engenharia de Barragens brasileira revela a frequente adoção de barragens de terra em trechos das fundações com elevada espessura de solo. A **Tabela 18**, baseada no trabalho de Marques Filho e Geraldo (*op cit.*) e Souza (2013), pode funcionar como um guia para a determinação da alternativa tecnológica mais adequada aos materiais de fundação, sendo aplicada ao estudo de caso (**seção 5.5**).

### II. Topografia do eixo

Com relação a este aspecto influenciam a forma, se em 'V' ou em 'U', e o tamanho do vale. Os vales podem ser fechados (incisos), abertos ou intermediários de acordo com a relação entre o comprimento da crista do vale e sua altura. Para vales fechados com rochas de boa qualidade indica-se a construção de barragens de concreto em arco (abóbada). Para vales abertos com significativa espessura de solo, como ocorre na maior parte dos casos no Brasil, indica-se a construção de barragens de terra (MARQUES FILHO e GERALDO, 1998).

### III. Disponibilidade de materiais naturais de construção

Este aspecto é fundamental para a viabilidade de qualquer alternativa tecnológica concebida, visto que devem haver jazidas de materiais com características geotécnicas apropriadas, em volumes suficientes e à uma distância viável economicamente (SOUZA, 2013).

**Tabela 18.** Tipos de barragens de concreto adequados de acordo com as características de resistência e deformabilidade dos maciços rochosos de fundação segundo Marques Filho e Geraldo (1998).

Classe da rocha	Simbologia	Rocha	Resistência à compressão (MPa)	Módulo de deformabilidade (GPa)	Tipos adequados
Muito resistente	R1	Abrange litologias muito mais resistentes que o concreto. Rochas ígneas: granitos, diabásios, basaltos maciços, andesitos. Rochas metamórficas: gnaisses, migmatitos, quartzitos; metaconglomerados, metarenitos ou metagrauvas maciços. Rochas sedimentares: calcários.	>120	>50	Qualquer tipo de barragem de concreto.
Resistente	R2	Abrange litologias mais resistentes que o concreto. Rochas ígneas: basaltos vesiculares. Rochas de médio a baixo grau de metamorfismo, pouco xistosas: quartzo-anfibólio xistos. Rochas sedimentares não argilosas, bem cimentadas ou com baixo grau metamórfico: arenitos, grauvas e siltitos.	120-60	50 a 20	Qualquer tipo de barragem de concreto exceto barragens de concreto em arco (abóbada)
Pouco resistente	R3	Abrange rochas pouco resistentes, mas que possuem resistência comparável ou superior à resistência do concreto. Rochas vulcanoclásticas: tufos soldados, brechas basálticas. Rochas metamórficas xistosas ou micáceas: micaxistos, filitos quartzosos. Rochas sedimentares com elevado grau de cimentação: folhelhos silticos compactos e arenitos medianamente resistentes.	60-30	20 a 5	Qualquer tipo de barragem de concreto exceto barragens de concreto em arco (abóbada) ou em contra-fortes
Branda	R4	Abrange rochas em geral menos resistentes que o concreto. Rochas sedimentares medianamente cimentadas ou constituídas de minerais brandos: folhelhos argilosos, arenitos brandos, filitos grafitosos, talcoxistos, etc.	30 a 10	5 a 1	
Muito branda	R5	Abrange rochas sedimentares pouco a medianamente litificadas (friáveis) ou de cimentação argilosa: argilitos, siltitos brandos	<10	<1	Barragens de concreto gravidade de pequena altura

Fonte: baseado em Souza (2013)

### 3. CONTEXTUALIZAÇÃO GEOLÓGICA

Neste capítulo é procedida uma contextualização a respeito da geologia regional e local às quais o empreendimento está inserido. Para tanto, são apresentados de maneira sucinta o contexto geotectônico e as unidades litoestratigráficas mapeadas em escala regional e local por trabalhos anteriores. Estas informações serviram de base para a individualização dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos.

#### 3.1. Geologia regional

##### 3.1.1. Domínio Pernambuco-Alagoas

O sítio de implantação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos está inserido no Domínio Pernambuco-Alagoas no contexto do Domínio Meridional da Província Borborema, encontrando-se ao sul do Lineamento Pernambuco (BRITO NEVES, SANTOS e VAN SCHMUS, 2000). Com orientação leste-oeste, o Domínio Pernambuco-Alagoas corresponde a uma grande uma faixa limitada ao norte pelo Lineamento Pernambuco e ao sul por zonas de cisalhamentos compressionais/transpressionais que a separam do Domínio Canindé e Domínio Rio Coruripe (MEDEIROS, 2000; MENDES e BRITO, 2016). Santos (1995), Van Schmus *et al.* (1995), Medeiros e Santos (1998), Medeiros (2000) e Silva Filho, Guimarães e Van Schmus (2002) definem o Domínio Pernambuco-Alagoas como resultado de uma complexa colagem de unidades litoestratigráficas de idades diversas, separando-o em dois complexos: Complexo Belém do São Francisco e Complexo Cabrobó. As rochas destes complexos se encontram deformadas, metamorfizadas e afetadas por intenso magmatismo.

##### 3.1.1.1. Complexo Belém do São Francisco (PP2bf)

O Complexo Belém do São Francisco foi definido por Santos (1995) como sendo composto por ortognaisses migmatíticos e migmatitos com facies *schlieren*, nebulítica e *raft*. Sua associação típica é dada por metaleucogranitos róseos e migmatitos que incorporam restos de ortognaisses tonalíticos a granodioríticos e supracrustais do Complexo Cabrobó (SANTOS, 1999). Santos (1995) indica que, apesar de uma idade modelo de 1,33 Ga ter sido obtida pelo método Sm/Nd, a maior parte deste complexo tem origem mesoproterozóica. Este complexo possui foliação difusa ou milonítica de baixo ângulo e ganha destaque no mapa geológico, em escala regional, da área de influência política do município de Palmares-PE por ser uma das unidades litoestratigráficas de maior abrangência nas proximidades do local de implantação da barragem (**Figura 6**).

### 3.1.1.2. Complexo Cabrobó (MP3ca2 e MP3ca4)

Segundo Santos (1999) o Complexo Cabrobó é remanescente de um amplo processo de anatexia parcial que afetou o Domínio Pernambuco-Alagoas, ocorrendo intercalado tectonicamente com o Complexo Belém do São Francisco. De acordo com este autor ambas as unidades constituem a raiz de um complexo de *thrusts* empilhados e o limite entre as mesmas é de difícil determinação. Este complexo é composto por rochas de natureza metavulcano-sedimentar, representadas por biotita gnaisses e (muscovita)-biotita xistos que apresentam recorrentes intercalações com rochas metamáficas, rochas calcissilicáticas, calcários cristalinos e quartzitos. Além destas, uma sequência essencialmente metassedimentar é reconhecida em seu interior, revelada por metarcóseos com muscovita e metagrauvas turbidíticas (SANTOS, 1995; GOMES, 2001). Suas rochas foram metamorfizadas na fácies anfibolito alto, permitindo o estabelecimento de condições de pressão e temperatura necessárias para que processos de migmatização tenham ocorrido de maneira localizada. Guimarães *et al.* (2007) descreveram a sequência MP3ca2 como composta por granada-biotita-gnaisses e a sequência MP3ca4 como constituída por quartzitos com intercalações feldspáticas.

### 3.1.1.3. Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa (MN $\gamma$ 2al)

Segundo Medeiros (2000) e Mendes e Brito (2016) esta suíte engloba leucogranitóides peraluminosos foliados, meso a neoproterozoicos, posicionados no final do evento Cariris Velhos, e que possuem como característica marcante a ocorrência associada de duas micas (muscovita e biotita) e/ou granada.

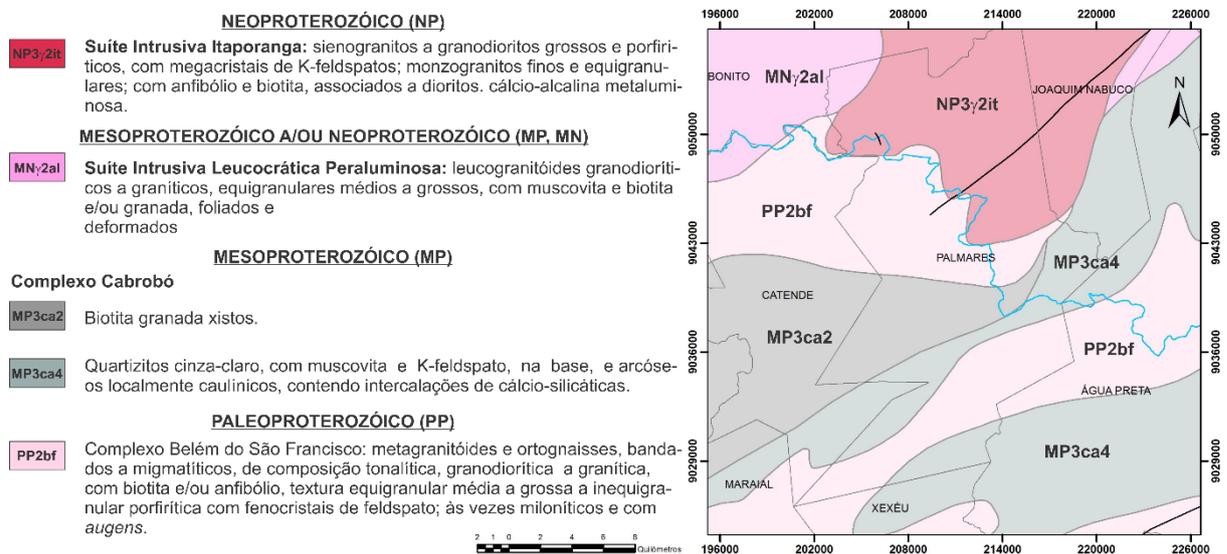
### 3.1.1.4. Suíte Itaporanga (NP3 $\gamma$ 2it)

Segundo Guimarães *et al.* (2007) esta suíte está representada por granitóides neoproterozoicos, sin a tardi-tectônicos à orogênese brasileira; revelada por meio de granodioritos e sienogranitos porfiríticos, com fenocristais de k-feldspato ou plagioclásio, e por dioritos de textura equigranular. A mineralogia destes tipos litológicos é descrita por estes autores como sendo composta por: microclina, quartzo, biotita, titanita, plagioclásio, epidoto, apatita, zircão e minerais opacos. Gomes (2001) assinala que esta suíte é composta por biotita-anfibólio granitóides grossos a porfiríticos com enclaves dioríticos e fácies sieníticas e Mendes e Brito (2016) salientam a possibilidade da existência de estruturas de fluxo na mesma.

### 3.1.1.5. Suíte Intrusiva Conceição (NP3γ2c)

Esta nomenclatura foi proposta inicialmente por Almeida, Leonardos Júnior e Valença (1967) com relação à associação magmática calcialcalina normal com epidoto primário, relacionada ao plutonismo sin a tardi-tectônico à orogênese brasileira que afetou a Faixa Piancó Alto Brígida, Domínio Transversal da Província Borborema. A referida nomenclatura foi posteriormente estendida por diversos autores aos demais domínios da Província Borborema, não havendo uniformidade neste processo. Segundo Santos, Ferreira e Silva Júnior (2002) trata-se de uma suíte composta por tonalitos a granodioritos de granulação fina a média e, em fases menores, dioritos e gabros. Apesar de não mapeada na escala regional, Guimarães *et al.* (2007) atestam sua ocorrência na folha Garanhuns, articulada ao oeste da área estudada, sob a forma de *stocks* de composição granodiorítica a tonalítica ou *sills* e diques dioríticos; equigranulares, com anfibólio, biotita e enclaves máficos. Esta suíte pode ocorrer ainda na forma de corpos isolados ou associada à Suíte Itaporanga e apresentar contatos bruscos ou migmatíticos com as rochas encaixantes, sendo identificados em algumas ocasiões *schlieren* biotíticos, relativos a fantasmas das encaixantes. Guimarães e Silva Filho indicam a ocorrência desta suíte nas proximidades do eixo barrado na folha Palmares, ainda não publicada/disponível *online*.

**Figura 6.** Mapa geológico do município de Palmares com a localização do eixo barrado.



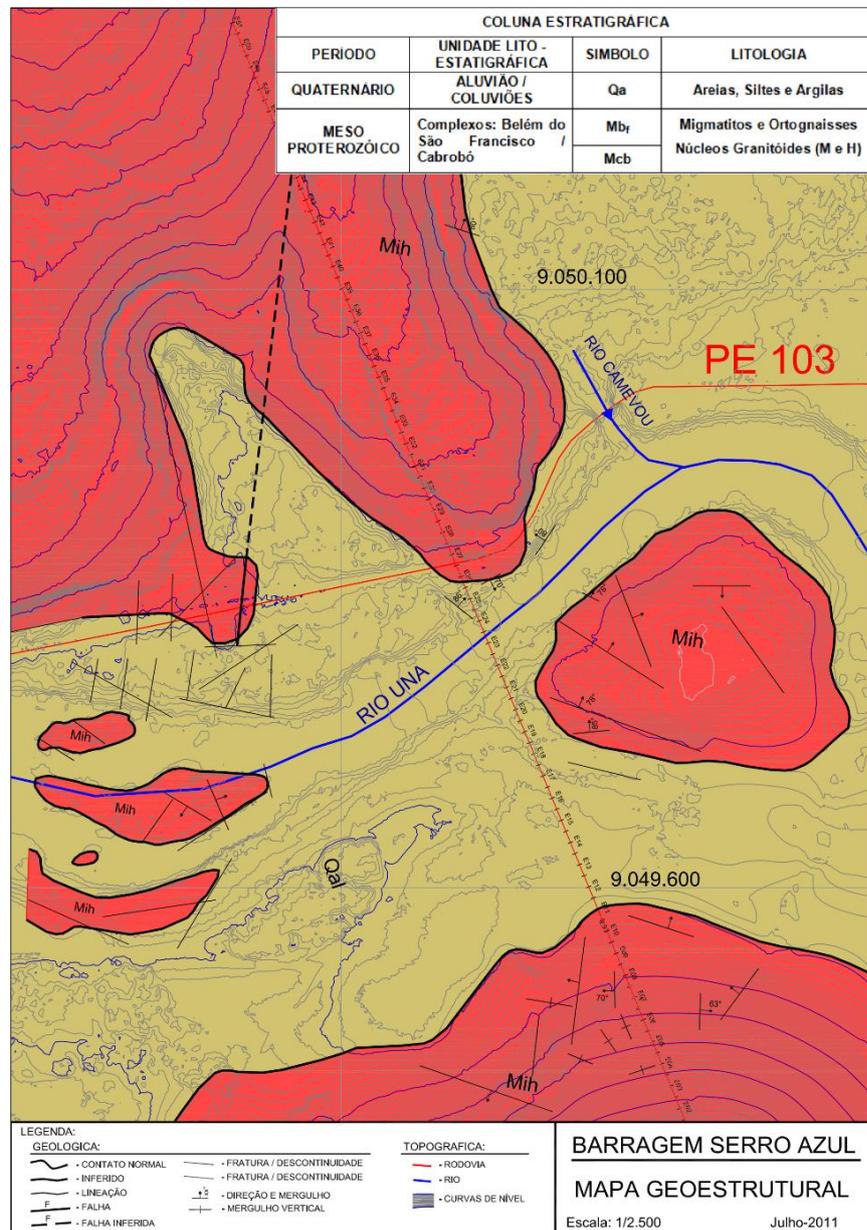
**Fonte:** baseado em Geobank (2017), Guimarães *et al.* (2007) e Mendes e Brito (2016)

## 3.2. Geologia local

Dentre os serviços contratados pela SRHE para a elaboração do projeto da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos estava incluso o mapa geológico em escala

local do sítio de implantação da obra (**Figura 7**). Pode-se observar, através de sua análise, que as unidades geológicas relacionadas ao embasamento cristalino são atribuídas aos complexos Belém do São Francisco e Cabrobó de maneira indiscriminada, não havendo distinção entre os mesmos. As unidades descritas são: migmatitos, ortognaisses e ‘núcleos granitóides’. Destaca-se ainda a extensiva ocorrência de depósitos quaternários, representados pelos depósitos flúvio-aluvionares. No estudo de caso, é realizada a discriminação das unidades geológicas do embasamento que compõem as fundações da barragem, sendo estas precedidas do termo ‘maciço’, amplamente utilizado no campo da Geologia Aplicada/Geologia de Engenharia.

**Figura 7.** Mapa geológico do local de implantação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos.



Fonte: TECHNE (2011)

#### 4. CARACTERIZAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

A Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos, anteriormente denominada Barragem Serro Azul, teve seu nome alterado através da Lei nº 15.615/2016, promulgada na Assembleia Legislativa de Pernambuco. Sua construção se iniciou em janeiro de 2012, mas devido a atrasos sua operação teve início apenas no primeiro semestre de 2017. Este empreendimento está localizado na microrregião da Mata Meridional Pernambucana, mais especificamente no distrito de Serro Azul, situado a 18 km ao noroeste do município de Palmares. Este último, por sua vez, se encontra a uma distância aproximada de 118 km em relação à cidade do Recife (GOOGLE MAPS, 2016).

A barragem em questão se trata de uma solução tecnológica mista (**Figura 8**), composta por uma barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR) do tipo concreto-gravidade (maciço de concreto), desde a margem direita do rio Una ao fundo do vale ou, mais especificamente, desde a estaca 0+0,65 m à estaca 19+10,00 m (planta S0840E01-1-G11-DEX-0002-1); acoplada à uma barragem de terra (maciço de terra/aterro compactado). Esta última, também denominada pelos engenheiros envolvidos de ‘abraço’, substitui parte da ombreira esquerda por razões que serão discutidas no estudo de caso.

**Figura 8.** Vista da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos a partir de sua ombreira direita durante o projeto executivo.

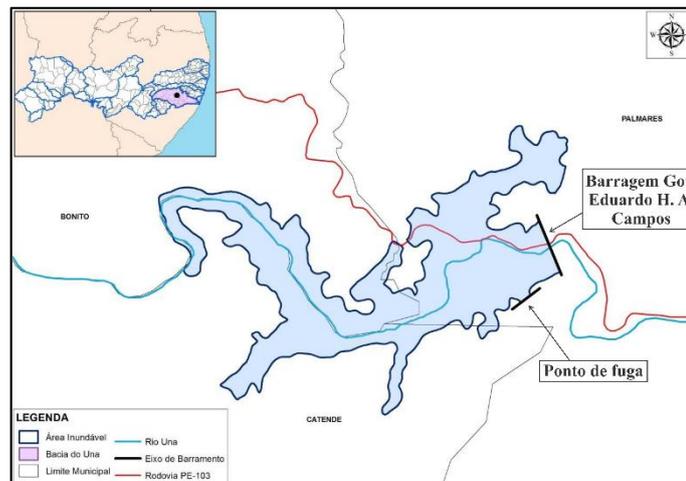


Fonte: SRHE (2011)

Segundo a SRHE (2011) a capacidade de acumulação máxima do reservatório formado pela barragem será de 303 milhões de m<sup>3</sup>, inundando uma área correspondente a 907 ha (**Figura**

9). A finalidade desta obra é garantir a segurança contra enchentes à uma área de 2.060,23 km<sup>2</sup> da Bacia Hidrográfica do Rio Una, totalizando 30,58% de sua área total. Esta região corresponde ao médio e baixo curso do rio, onde estão inseridos 28 municípios. Além disto, está prevista utilização da água armazenada para o abastecimento público e para outros usos. O investimento envolvido em toda a operação para a construção da barragem, oriundo tanto da esfera federal quanto da esfera estadual, é da ordem de 500 milhões de reais (SDEC, 2015).

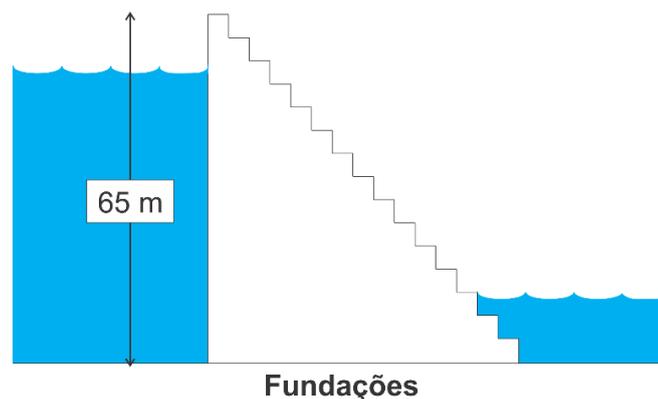
**Figura 9.** Localização dos eixos da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos e barragem auxiliar (ponto de fuga) além da extensão da área de inundação máxima.



Fonte: SRHE (2011)

Esta barragem, segundo o critério da ICOLD/CBDB, pode ser considerada como uma barragem de grande porte, visto que possui altura superior a 15 metros (**Figura 10**). Não obstante sua altura, também possui capacidade de armazenamento superior a três milhões de metros cúbicos de água. O referido critério adota, para a determinação da altura da barragem, a diferença de elevação entre a crista da barragem (coroamento) e o ponto mais rebaixado de suas fundações.

**Figura 10.** Altura do maciço de CCR da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos.



Fonte: o autor (2017)

## 5. ESTUDO DE CASO: BARRAGEM GOVERNADOR EDUARDO HENRIQUE ACCIOLY CAMPOS

Neste capítulo são realizadas, em um primeiro momento, as caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica e a classificação geomecânica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Paralelamente as estas etapas, em função das propriedades identificadas, discute-se qualitativamente e quantitativamente a compatibilidade dos mesmos como fundações ao arranjo de obras proposto. Logo em seguida, averigua-se a correlação estatística entre os valores de RQD e de condutividade hidráulica e, por último, identifica-se as principais condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas das fundações, discute-se suas influências e realiza-se uma breve análise da investigação geológica procedida para a elaboração do projeto básico do empreendimento.

### 5.1. Caracterização geológico-geotécnica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos

A discussão a seguir é baseada em informações oriundas de pesquisa de campo e estudo petrográfico, além da análise de imagens de satélites, relatórios técnicos (elaborados pelas empresas GEOTECH, TECHNE e SPEC entre os anos de 2011 e 2012); fichas de sondagens e registro fotográfico relativos ao contexto do projeto básico da barragem. As sondagens cujos dados são analisados e discutidos neste texto são em número de vinte e duas (**Figura 11**), estando suas informações de coordenadas geográficas, litologia e espessura de solo apresentadas no **Anexo A**. A utilização de informações relativas apenas ao projeto básico da barragem para o estudo dos maciços rochosos de fundação se deu devido a questões de cronograma e ao fato da fundação da barragem de concreto CCR, principal alvo desta dissertação, não ter sido alterada em nenhum aspecto.

Os resultados das análises estão apresentados de acordo com as diferentes litologias reconhecidas (maciços) ao longo das fundações. A abordagem destas unidades geológicas é tal que as variações de suas características são demonstradas com relação aos distintos trechos do eixo barrado, a saber: ombreira direita, fundo do vale e ombreira esquerda. A correspondência entre os trechos do eixo barrado, aqui propostos, com as estacas de referência e os furos de sondagens do projeto básico utilizados nesta pesquisa está apresentada na **Tabela 19**.

Durante a análise dos dados foram individualizados os seguintes maciços rochosos: (1) maciço granítico e (2) maciço gnáissico-migmatítico. Além destas unidades geológicas, são

apresentadas, sempre que julgadas relevantes, as características dos diferentes tipos de solos que compõem o perfil geológico do eixo barrado, sendo eles: solo de alteração e solo residual, compondo o manto de intemperismo, e aluvião, representando os solos transportados (GEOTECH, 2011; TECHNE, 2011; SPEC, 2012).



**Figura 11.** Localização das sondagens analisadas com relação ao eixo definitivo da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Notar pequena rotação ( $10^\circ$ ) do abraço de terra no sentido de montante.

Fonte: baseado em Google Earth (2016)

**Tabela 19.** Correspondência entre os trechos propostos para as fundações e as estacas e furos de sondagens realizados no projeto básico da barragem.

Trecho das fundações	Intervalo de estacas correspondente	Furos de sondagens (projeto básico)
Ombreira direita	0-12	SMB-32, SMB-48
Fundo do vale	13-27	SMB-3, SMB-4, SMB-43, SMB-31, SMB-36, SMB-47, SMB-42, SMB-46, SMB-35 e SMB-33
Ombreira esquerda	28-58	SMB-1, SMB-2, SMB-20, SMB-30, SMB-41, SMB-40, SMB-29, SMB-28, SMB-37 e SMB-34

Fonte: o autor (2017)

#### 5.1.1. Maciço granítico

##### 5.1.1.1. Características geológico-geotécnicas gerais

O maciço granítico corresponde à principal rocha de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Está associada à Suíte Intrusiva Conceição e aflora desde a ombreira direita até a região do fundo do vale, apresentando uma relação de intrusão com o maciço gnáissico-migmatítico (discutido adiante). Além disto, na região da ombreira esquerda da barragem ocorrem grandes matacões relacionados a este maciço, cuja origem será explicada a seguir através da proposição de um modelo geológico. No geral, este maciço se revela pouco alterado (grau A2) a são (grau A1), coerente (grau C1), muito resistente (grau R1) e pouco fraturado. As exceções desta última característica são as fraturas ou juntas de alívio de tensões observadas em relativa abundância em seus níveis mais superficiais (**Figura 12**). Sob o ponto de vista litológico, é classificado como um meio homogêneo, mas sob o ponto de vista da distribuição de suas propriedades geotécnicas é classificado como um meio anisotrópico e heterogêneo.

As fraturas superficiais são decorrentes da descompressão natural do maciço granítico provocada por processos erosivos, encontrando-se fechadas a abertas (com abertura variando

de 1 a 5 mm, **Figura 13**), sub-horizontais (com ângulos de mergulho inferiores a  $10^\circ$  para montante ou jusante) e subparalelas, acompanhando de maneira aproximada a topografia do eixo barrado (TECHNE, 2011). A persistência destas discontinuidades é muito elevada ( $>20$  m) e suas superfícies apresentam baixa rugosidade, sendo classificadas à primeira vista como onduladas e lisas. Estas características reduzem a resistência ao cisalhamento da rocha e, por consequência, a estabilidade da barragem quanto ao rompimento por deslizamento, caso não tratadas adequadamente. Além destas características, é possível observar ainda a presença de veios de composição quartzo-feldspática neste maciço.

**Figura 12.** Grande concentração e persistência das fraturas de alívio na porção mais superficial do maciço granítico na região da ombreira direita, observada durante as escavações para a construção do canal de desvio.



**Fonte:** acervo pessoal do Prof. Dr. Almany Costa Santos (2011)

**Figura 13.** Detalhe das fraturas de alívio na região da ombreira direita observadas durante a etapa de campo, revelando que estas se encontram fechadas a abertas (1-5 mm de abertura).

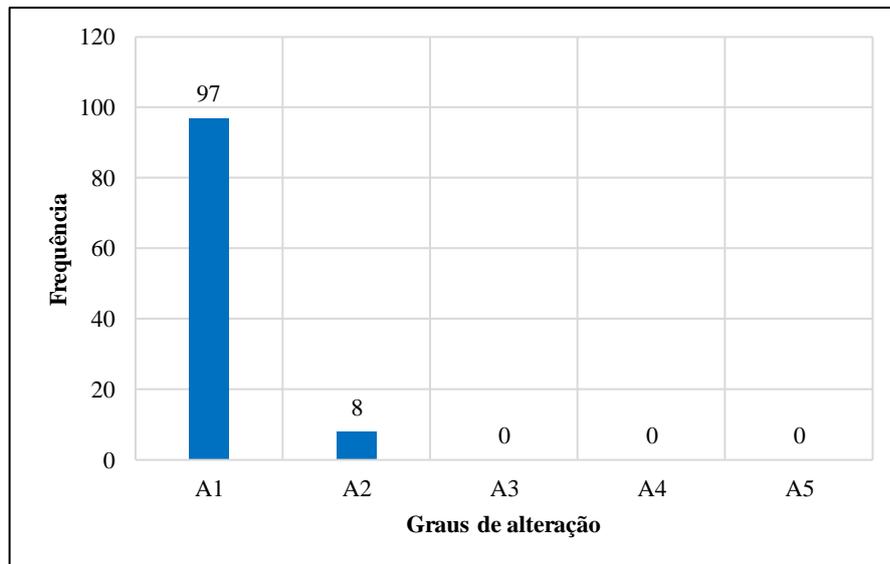


**Fonte:** acervo pessoal (2017)

Dada as características anteriormente descritas (estado de alteração, fraturamento etc.) e à baixa condutividade em profundidade, revelada pelos ensaios de perda d'água (discutidos na **seção 5.2**), é razoável atribuir a este maciço, no geral, uma considerável resistência/baixa suscetibilidade aos processos de alteração (TECHNE, 2011). Esta característica se reflete no desenvolvimento de um manto de intemperismo associado pouco expressivo, composto por solo de alteração e solo residual, que possui espessura máxima no topo da ombreira direita de aproximadamente treze metros (ver perfil geológico-geotécnico – **Anexo B**). A distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração do maciço granítico, definidos nas regiões da ombreira direita e fundo do vale, que correspondem à região de domínio deste maciço, está revelada no **Gráfico 1**. Nele é possível identificar ótimas condições de preservação deste maciço, sendo indicada em aproximadamente 92% dos casos (97 casos de um total de 105) a

existência de rocha sã, inalterada (grau de alteração A1). As informações discutidas neste trabalho revelarão que as melhores condições geológico-geotécnicas do eixo barrado são observadas na região da ombreira direita.

**Gráfico 1.** Distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração do maciço granítico definidos nas regiões da ombreira direita e fundo do vale.



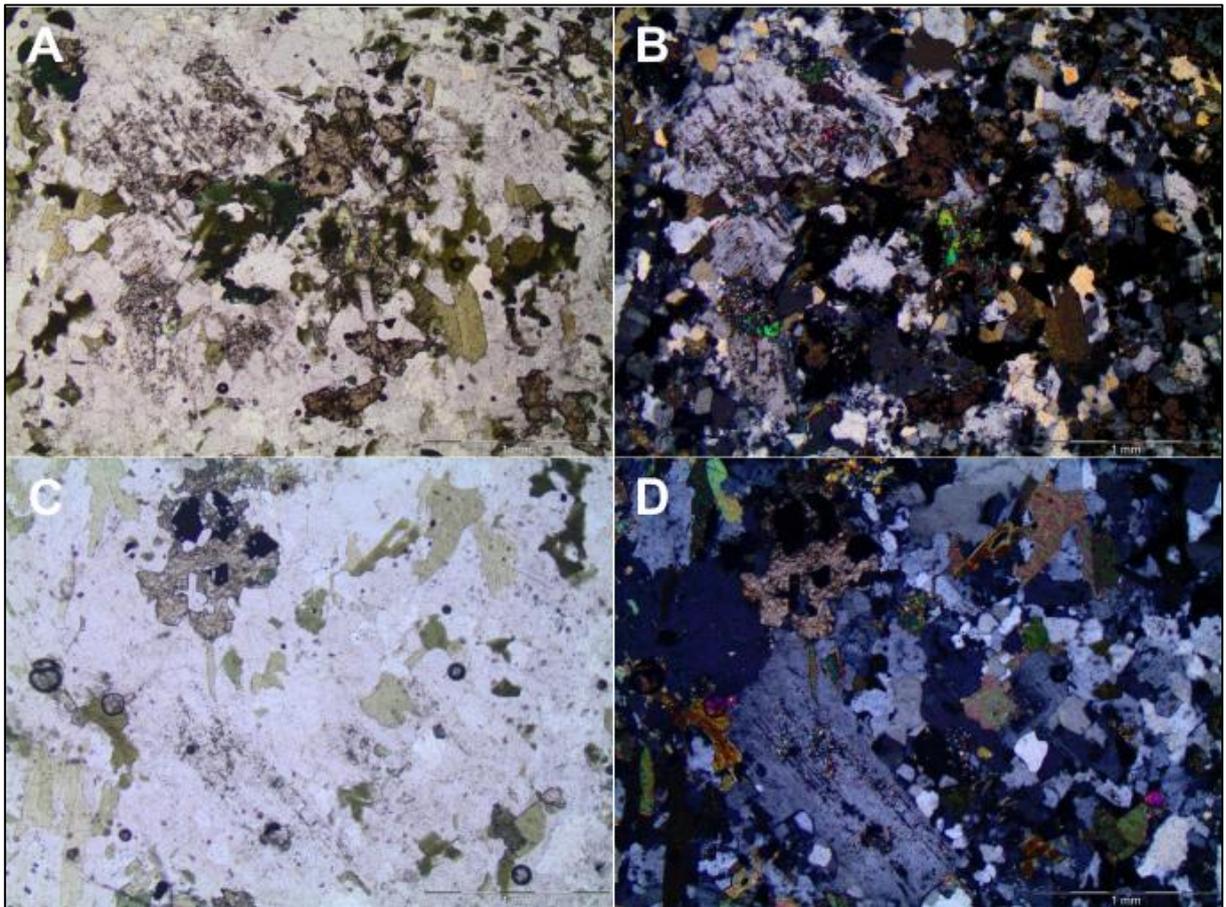
Fonte: o autor (2017)

#### 5.1.1.2. Estudo petrográfico

A análise petrográfica de amostra superficial do maciço granítico, coletada na região da ombreira direita, próxima ao pé de montante da barragem de CCR, revelou a seguinte mineralogia principal: quartzo (50%), plagioclásio (30%), biotita (15%), minerais do grupo do epidoto - epidoto e allanita - (2%) e hornblenda (2%) (**Figura 14**). Além destes, observou-se ainda, como minerais traço (em concentrações inferiores a 1%): microclina, minerais opacos e titanita. As porcentagens apresentadas são estimativas da composição global da rocha, visto que foram observadas variações composicionais durante o estudo petrográfico deste tipo litológico. Estas espécies minerais ocorrem na forma de grãos anédricos com contatos irregulares, atribuindo à amostra analisada textura xenomórfica e inequigranular. As lamelas de biotita por vezes apresentam incipiente orientação, podendo estar relacionadas à uma sutil foliação magmática. Não foi observado nenhum indício de orientação metamórfica. Desta forma, nesta análise, o maciço granítico está representado por uma rocha ígnea plutônica, classificada, de acordo com o diagrama QAPF de Streckeisen (1967), como um granitóide rico em quartzo. Destacou-se, com relação aos processos de alteração, a observação de sinais de alteração relativos aos processos de sericitização, saussoritização e argilitização. Estas feições são

atribuídas nesta pesquisa à maior exposição da amostra investigada aos processos intempéricos, visto que os testemunhos de sondagens revelaram a existência de excelentes condições de preservação deste maciço em profundidade (**Gráfico 1**).

**Figura 14.** Seção delgada de amostra relativa ao maciço granítico. A (N//) e B (NX) revelam a ocorrência de quartzo, plagioclásio (com indícios de argilitização), hornblenda, biotita e minerais do grupo do epidoto. C (N//) e D (NX) revelam a existência de mineralogia idêntica à anterior com a adição de grão de titanita.



**Fonte:** o autor (2017)

#### 5.1.1.3. Características geológico-geotécnicas anômalas (zonas de fraqueza)

Apesar das boas condições geológico-geotécnicas observadas na região de domínio do maciço granítico, é possível identificar como características anômalas, indicativas de zonas desfavoráveis à implantação de um barramento, maiores concentrações de juntas de alívio na região do fundo do vale. Estas concentrações de fraturas estão posicionadas nos níveis mais superficiais do maciço e se refletem na ocorrência de graus de fraturamento mais elevados (F3, F4 e F5) e em reduções nas taxas de recuperação (até 25%) e valores de RQD (até 0%). Dada a maior percolação d'água na região do fundo do vale, promovida pelo curso do rio Una, estes intervalos

apresentam, concomitantemente, maior estado de alteração (A2) quando comparados aos outros intervalos interceptados pelas sondagens. Desta forma, em condições adversas de fraturamento e percolação d'água, o maciço granítico apresenta-se pouco mais suscetível aos processos de alteração. Nestes casos, o maior estágio de alteração do maciço também pode ser atribuído ao seu conteúdo em minerais ferromagnesianos (biotita, anfibólios etc.). De modo geral, observa-se uma tendência da diminuição da qualidade do maciço granítico, partindo-se da ombreira direita no sentido à ombreira esquerda que pode ser generalizada para as fundações em sua totalidade. A existência de variações na distribuição destas e de outras características analisadas neste trabalho conferem ao maciço anisotropia e heterogeneidade.

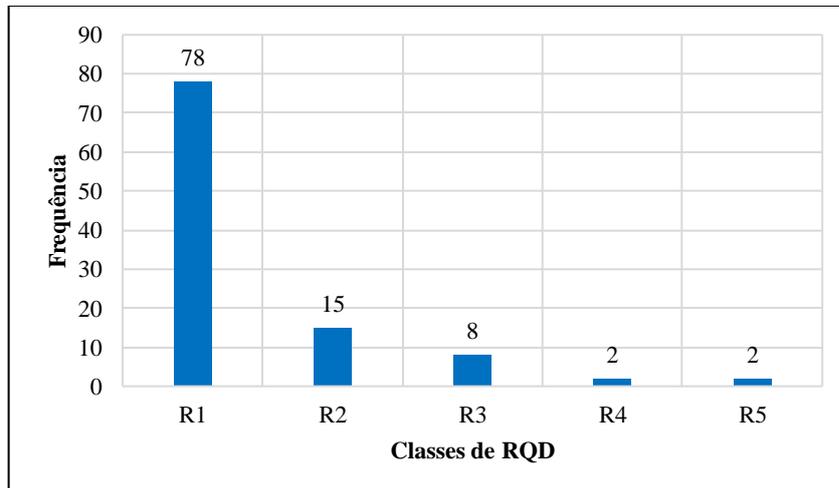
#### 5.1.1.4. Comportamento e modelagem dos valores de RQD

Quanto à qualidade do maciço granítico, expressa em termos do parâmetro geotécnico RQD, o **Gráfico 2** demonstra que a grande maioria das classificações deste maciço se enquadra nas classes R1 e R2, totalizando aproximadamente 89% das determinações (93 casos de um total de 105). Desta maneira, o maciço granítico possui qualidade que varia, em sua maioria, de boa a excelente (**Figura 15** e **Figura 16**). Neste contexto, a **Tabela 20** que apresenta a distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade, levando em consideração todas as determinações para o maciço granítico em sua região de domínio, revela que as classes de qualidade inferior (R3 e R4) estão restritas às suas porções mais superficiais, mais especificamente aos seus nove primeiros metros. Este intervalo é aqui interpretado como de maior influência das fraturas de alívio e associado à existência de zonas geotécnicas anômalas. Além disto, nesta mesma representação é possível identificar-se ainda a clara tendência da melhora da qualidade deste maciço em profundidade, indicada pelo aumento dos valores de RQD, o qual sugere a diminuição de seus graus de fraturamento e de alteração e o aumento de sua resistência em profundidades mais elevadas.

As distribuições das frequências relativas das classes de RQD em profundidade, obtidas separadamente para o maciço granítico nas regiões da ombreira direita e fundo do vale, estão apresentadas, respectivamente, na **Tabela 21** e na **Tabela 22**. Notadamente, a ocorrência das classes de qualidade inferior referida anteriormente está correlacionada aos graus de fraturamento e de alteração mais elevados observados no fundo do vale e indica que este trecho corresponde à uma região de maior concentração de tensões residuais (GEOTECH, 2011; **Tabela 22**). Por outro lado, comparativamente, pode-se perceber que a ombreira direita possui as melhores condições geotécnicas da região de domínio deste maciço.

É importante ressaltar que os dados de RQD aqui apresentados foram recalculados para que as classes de qualidade se tornassem compatíveis com os intervalos de profundidade tomados como referência (0,00-3,00; 3,00-6,00; ... ; 21,00-25,00), não apenas nesta análise, mas também em outras análises realizadas ao longo desta pesquisa, como na caracterização hidrogeotécnica. Este procedimento, detalhado na **seção 5.4**, promoveu a redução na quantidade de classes consideradas quando comparada com o **Gráfico 2**, discutido anteriormente. Entretanto, a apresentação da variação dos dados de RQD desta maneira é útil pois permitiu a análise da tendência geral do maciço com relação a este parâmetro e sua correlação com a condutividade hidráulica (**seção 5.4**). Neste sentido, as zonas geotécnicas anômalas, já indicadas no **tópico 5.1.1.3**, devem ser alvo de cuidados adicionais (escavações, injeções etc.).

**Gráfico 2.** Distribuição das frequências absolutas das classes de RQD definidas para o maciço granítico em sua região de domínio (ombreira direita e fundo do vale).



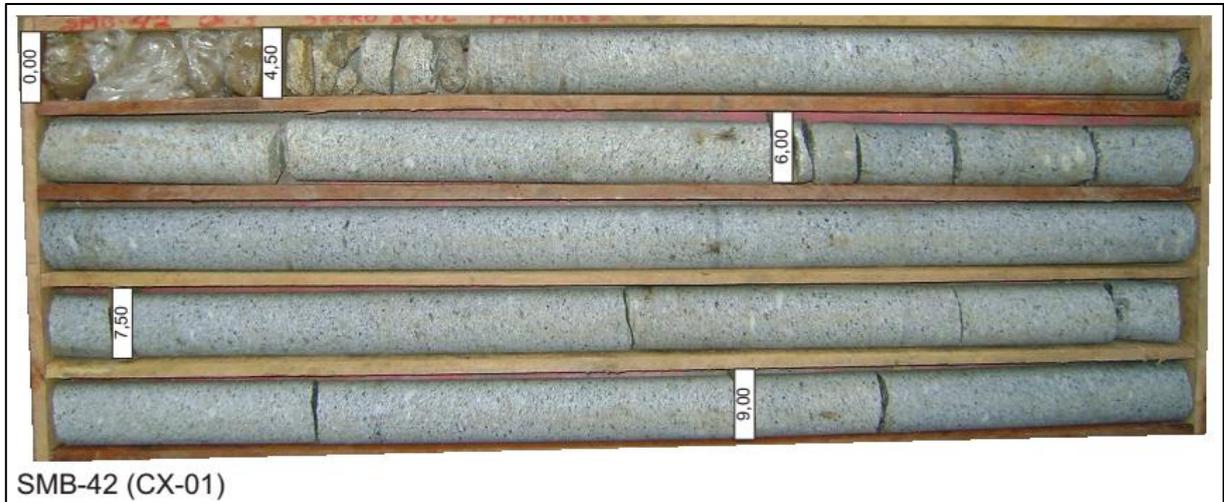
Fonte: o autor (2017)

**Figura 15.** Testemunho da sondagem SMB-48 (caixa 1) relativa à ocorrência do maciço granítico com excelente qualidade na região da ombreira direita da barragem.



Fonte: STS (2011)

**Figura 16.** Testemunho da sondagem SMB-42 (caixa 1) relativa à ocorrência do maciço granítico com qualidade de boa a excelente na região do fundo do vale. Entretanto, com nível superficial de concentração de diaclases (grau de fraturamento F3).



Fonte: STS (2011)

**Tabela 20.** Matriz de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade para o maciço granítico ao longo de sua região de domínio.

		Profundidade/Recobrimento (D)							
		0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-25 m
Classe (RQD)	R1 (91%-100%)	22%	90%	75%	75%	88%	100%	67%	100%
	R2 (76%-90%)	44%	0%	13%	25%	13%	0%	33%	0%
	R3 (51%-75%)	11%	10%	13%	0%	0%	0%	0%	0%
	R4 (26%-50%)	22%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	R5 (0%-25%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total de classes associadas:		9	10	8	8	8	3	3	2

Fonte: o autor (2017)

**Tabela 21.** Matriz de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade para o maciço granítico ao longo da ombreira direita.

		Profundidade/Recobrimento (D)							
		0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-25 m
Classe (RQD)	R1 (91%-100%)	50%	100%	100%	100%	100%	-	-	-
	R2 (76%-90%)	50%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	R3 (51%-75%)	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	R4 (26%-50%)	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	R5 (0%-25%)	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
Total de classes associadas:		2	2	1	1	1	0	0	0

Fonte: o autor (2017)

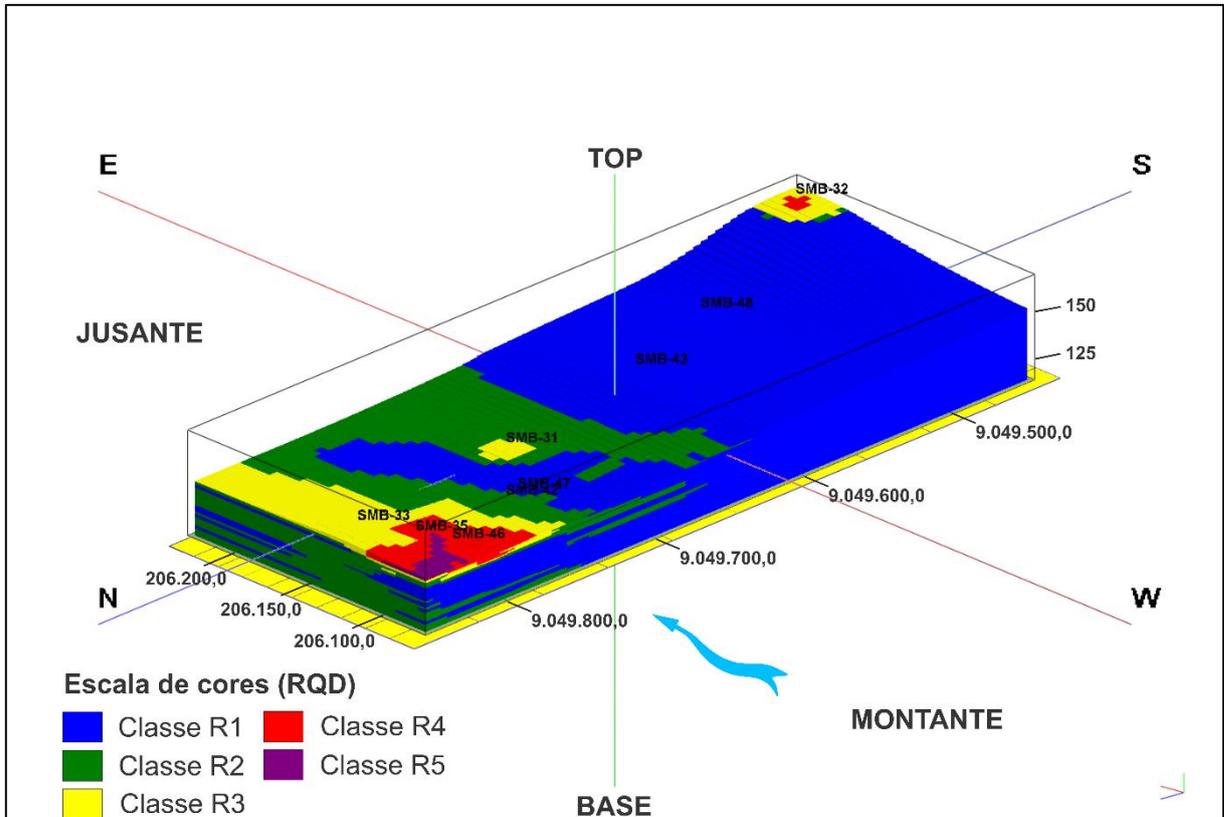
**Tabela 22.** Matriz de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade para o maciço granítico ao longo do fundo do vale.

		Profundidade/Recobrimento (D)							
		0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-25 m
Classe (RQD)	R1 (91%-100%)	14%	88%	71%	71%	86%	100%	67%	100%
	R2 (76%-90%)	43%	0%	14%	29%	14%	0%	33%	0%
	R3 (51%-75%)	14%	13%	14%	0%	0%	0%	0%	0%
	R4 (26%-50%)	29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	R5 (0%-25%)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total de classes associadas:		7	8	7	7	7	3	3	2

Fonte: o autor (2017)

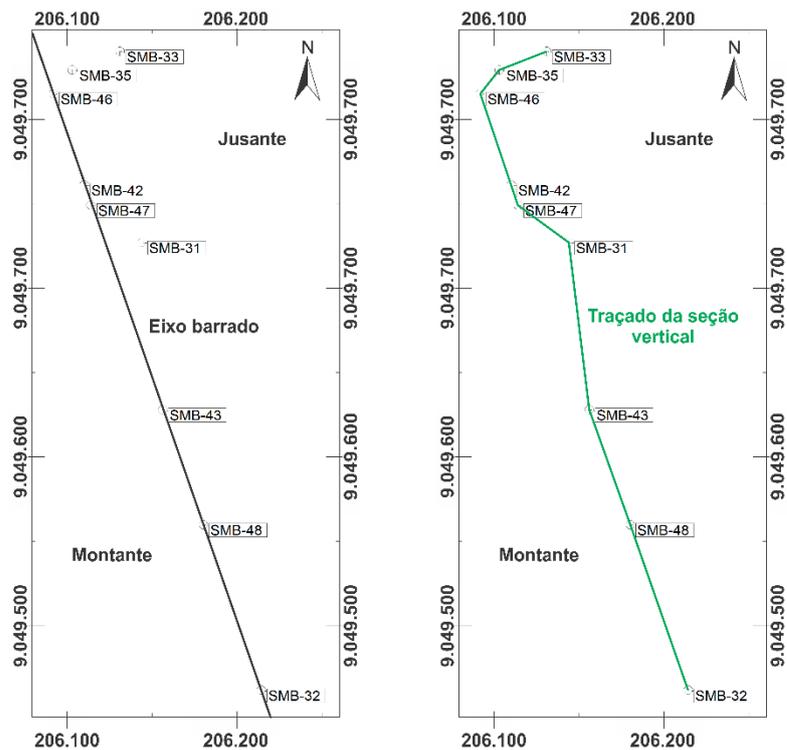
Com o objetivo de melhor ilustrar a variação da qualidade do maciço granítico e indicar de maneira mais precisa a forma e a localização de suas zonas geotécnicas anômalas, foi elaborada uma seção vertical que demonstra a distribuição das classes de RQD em perfil ao longo de sua região de domínio (**Figura 19**). Esta seção foi extraída de um modelo tridimensional de blocos ou *voxels* com tamanho de bloco de 5 m x 5 m x 0,1 m (**Figura 17**) e gerado a partir da aplicação do método de interpolação ‘inverso da distância ao quadrado’, que corresponde a um dos métodos mais utilizados na geoestatística, aos dados disponíveis. Nesta técnica, cada valor é estimado com base na média ponderada de todos os valores amostrais próximos ao ponto considerado, em direções específicas. Os valores amostrais são ponderados com relação à distância (ao ponto considerado) elevada à segunda potência, de forma que os valores mais distantes terão menor influência no cálculo. O método de interpolação ‘inverso da distância ao quadrado’ é interessante pois promove a suavização do *grid* gerado e não extrapola os valores mínimo e máximo dos dados amostrais. Além disto é indicado para meios anisotrópicos e heterogêneos, como no caso deste maciço. Em sua aplicação foi utilizado o *software RockWorks 17* (versão *free*), sendo removidas as espessuras de solo acima do topo rochoso nas sondagens consideradas. A localização das sondagens utilizadas neste processo com relação ao eixo barrado e o traçado da seção vertical estão ilustrados na **Figura 18** e se aplicam a todos os modelos e seções apresentados neste trabalho. O modelo e a seção gerados confirmaram a concentração superficial dos valores mais reduzidos de RQD na região do fundo do vale, indicando a existência de zonas geotécnicas anômalas associadas às classes R3, R4 e R5 especificamente nas proximidades da calha do rio Una. Ademais, expuseram a necessidade de tratamento deste trecho para o adequado assentamento de uma barragem, seja de concreto ou de terra, no local, com vistas de reduzir os riscos do empreendimento quanto aos problemas de estanqueidade (elevadas subpressões) e de deformabilidade (formação de trincas e rompimento da barragem).

**Figura 17.** Modelo tridimensional de blocos (*voxels*) da variação das classes de maciço rochoso de acordo com o parâmetro RQD na região de domínio do maciço granítico.



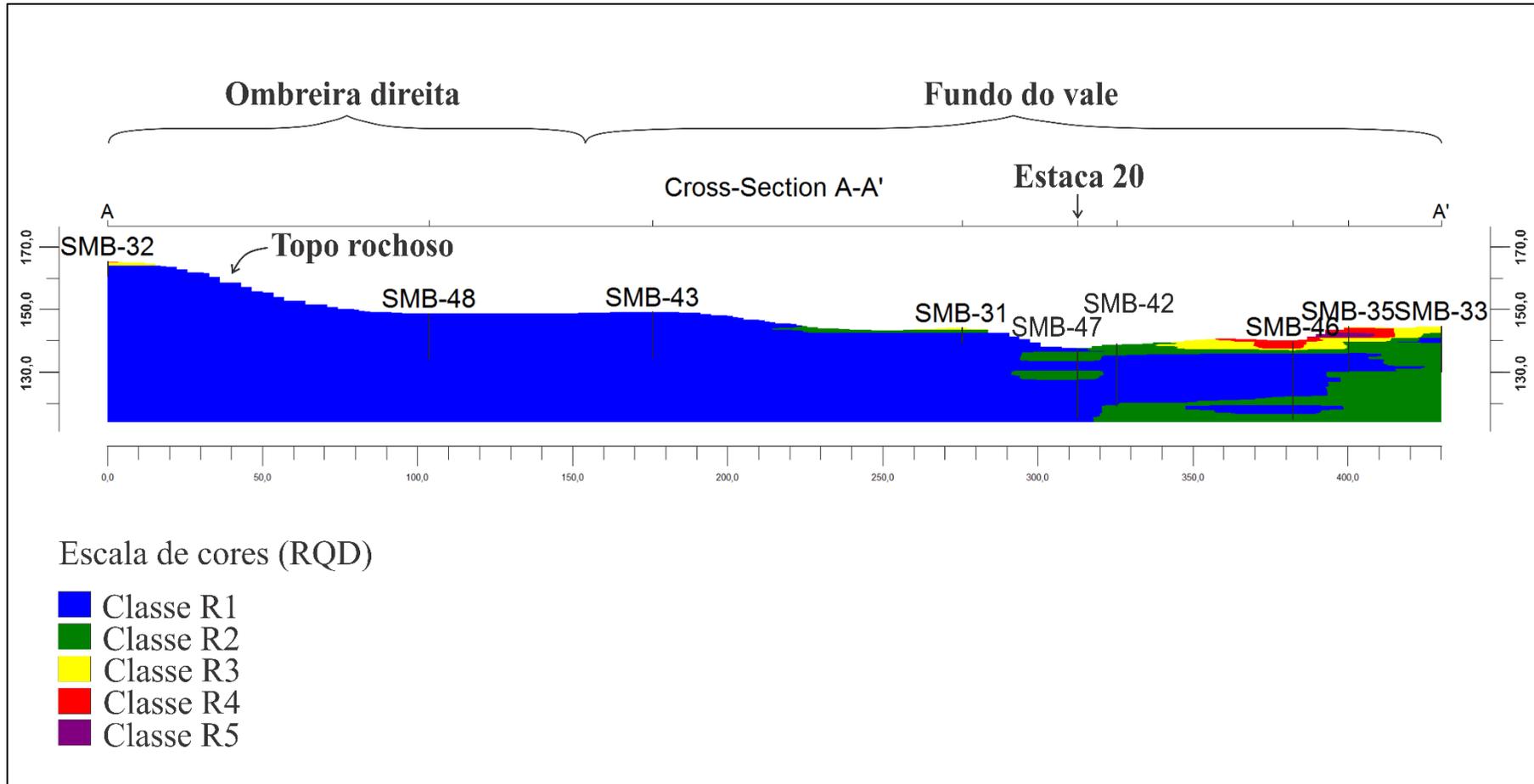
Fonte: o autor (2017)

**Figura 18.** Localização das sondagens utilizadas nos processos de modelagens tridimensionais com relação ao eixo barrado e traçado de referência das seções verticais.



Fonte: o autor (2017)

**Figura 19.** Variação das classes de maciço rochoso ao longo da ombreira direita e fundo do vale estimada a partir da interpolação dos vabres de RQD através do método ‘inverso da distância ao quadrado’.



Fonte: o autor (2017)

#### 5.1.1.5. Ocorrência de rocha granítica na ombreira esquerda

Com relação aos matacões de rocha granítica observados na ombreira esquerda, estes ocorrem imersos em espesso manto de intemperismo, composto por solo de alteração e solo residual (GEOTECH, 2011; ver perfil geológico-geotécnico – **Anexo B**). As características destes blocos de rocha são aqui brevemente discutidas, pois revelam uma importante relação de campo: a ocorrência de injeções graníticas na rocha encaixante. Estas injeções são identificadas nos testemunhos de sondagens através da ocorrência de intercalações entre rochas graníticas, mais resistentes ao intemperismo, e rochas gnáissicas-migmatíticas, mais suscetíveis aos processos de alteração. O furo de sondagem SMB-29 ilustra bem esta situação, no qual o trecho de 15,15-16,65 m é relacionado com a rocha encaixante, alterada e fraturada segundo sua foliação gnáissica, e o intervalo 16,65-20,15 m é relacionado com uma injeção granítica, melhor preservada (**Figura 20**).

**Figura 20.** Testemunho da sondagem SMB-29 relativa à intercalação de rocha gnáissica (trecho 15,15-16,65 m) e rocha granítica (trecho 16,65-20,15 m), representando uma injeção granítica na rocha encaixante na região da ombreira esquerda.

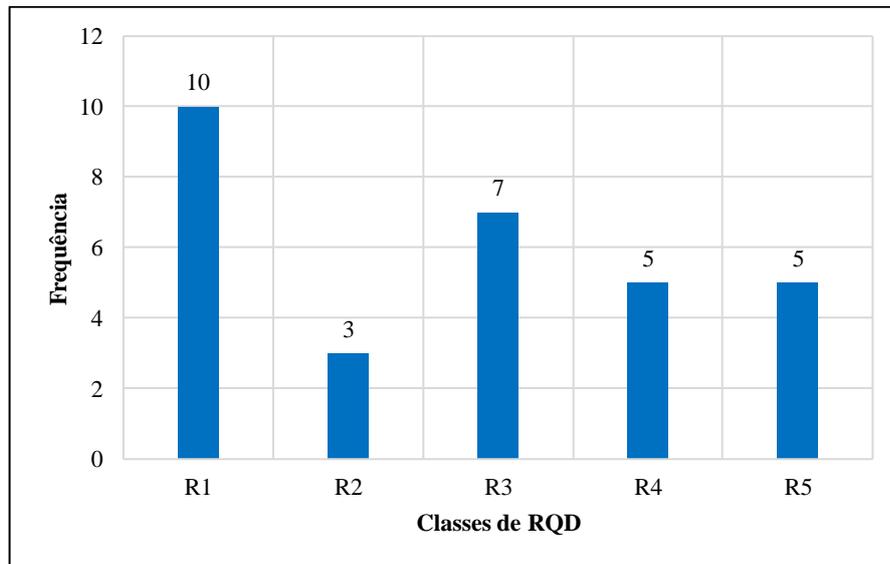


Fonte: STS (2011)

O **Gráfico 3** apresenta a distribuição das frequências absolutas das classes de RQD obtidas para as injeções de rocha granítica observadas na ombreira esquerda. Nele é possível observar uma maior frequência das classes de menor qualidade (R3, R4 e R5) com relação à análise realizada na ombreira direita e fundo do vale. Esta distribuição é aqui relacionada ao desenvolvimento de um manto de intemperismo mais espesso na ombreira esquerda, pois revela a existência de uma maior quantidade de caminhos de percolação (fraturas) na rocha, o que possibilitou a intensificação dos processos de alteração nesta região. Entretanto, atribui-se neste

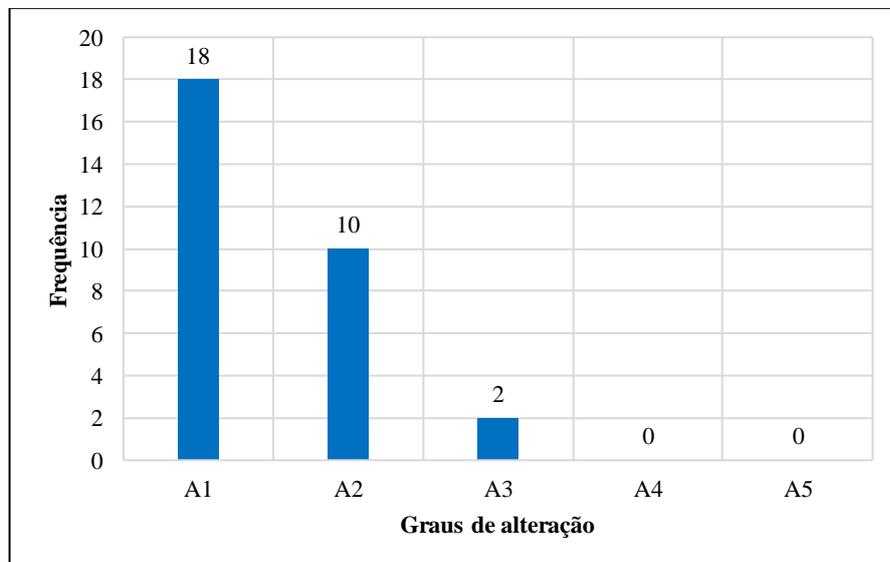
trabalho que o manto de intemperismo observado na ombreira esquerda é, em sua maioria, oriundo da degradação da rocha encaixante, o maciço gnáissico-migmatítico. O **Gráfico 4** que apresenta a distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração definidos para as injeções graníticas reforça a sugestão da maior resistência deste litotipo com relação aos processos de alteração, mesmo que localizado em um trecho de maior intensidade dos mesmos, como também sugere a **Figura 21**.

**Gráfico 3.** Distribuição das frequências absolutas das classes de RQD das injeções graníticas na região da ombreira esquerda.



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 4.** Distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração das injeções graníticas na região da ombreira esquerda.



Fonte: o autor (2017)

**Figura 21.** Matacão de rocha granítica, referente à uma injeção granítica, em meio ao espesso manto de intemperismo observado na margem esquerda do rio Una apresentando-se ainda em boas condições de preservação.

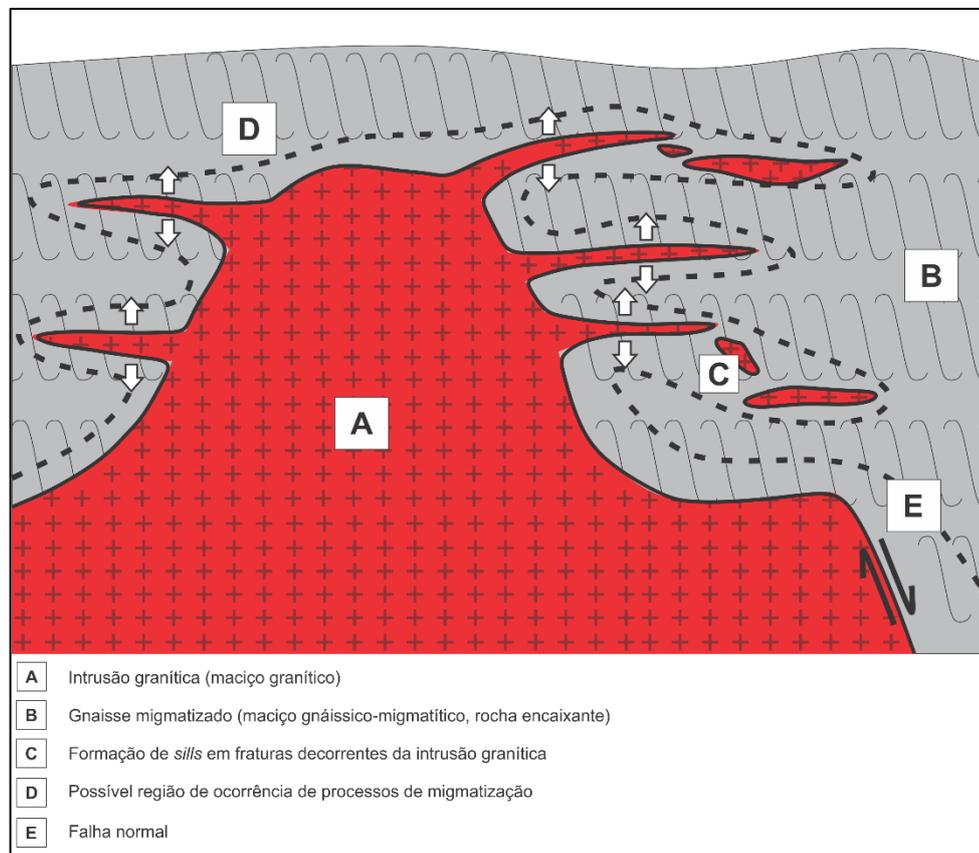


**Fonte:** acervo pessoal do Prof. Dr. Almany Costa Santos (2011)

#### 5.1.1.6. Modelo geológico proposto

Revistas as condições geológicas (regionais e locais), realizada a visita de campo e analisadas as sondagens, propõe-se, então, um modelo geológico com vistas à explicação das relações de campo discutidas anteriormente para este maciço (**Figura 22**). Nele é possível observar que a intrusão do corpo granítico (maciço granítico) promoveu a ocorrência de injeções graníticas verticais e horizontais na rocha encaixante, previamente foliada. Neste modelo, a foliação é ilustrativa, visto que não foi possível o acesso a afloramentos ou medições anteriores, sendo sua existência, entretanto, identificada nos testemunhos de sondagens. Sua direção, muito provavelmente, deve seguir o *trend* NE-SW das estruturas geológicas regionais. Posteriormente à intrusão, a atuação do intemperismo (físico e químico) sobre estas unidades promoveu a formação de espessa camada de solos na região da ombreira esquerda, onde dominava o maciço gnáissico-migmatítico, e a individualização dos blocos de rocha granítica (matacões). Além disto, processos de migmatização, induzidos por metamorfismo de contato, também foram provocados pela intrusão granítica.

**Figura 22.** Modelo geológico idealizado para explicar a ocorrência de grandes matacões de rocha granítica no domínio do maciço gnáissico-migmatítico. A foliação gnáissica é ilustrativa.

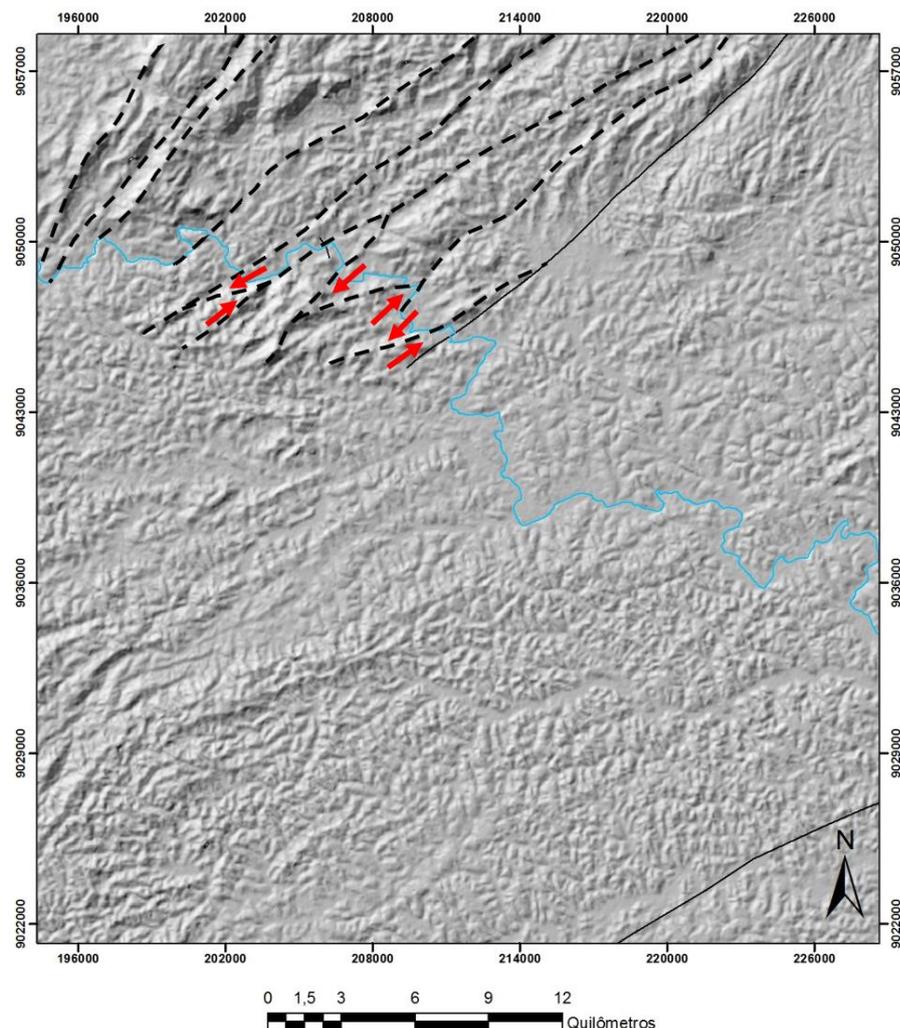


Fonte: o autor (2017)

#### 5.1.1.7. Definição do contato entre o maciço granítico com o maciço gnáissico-migmatítico

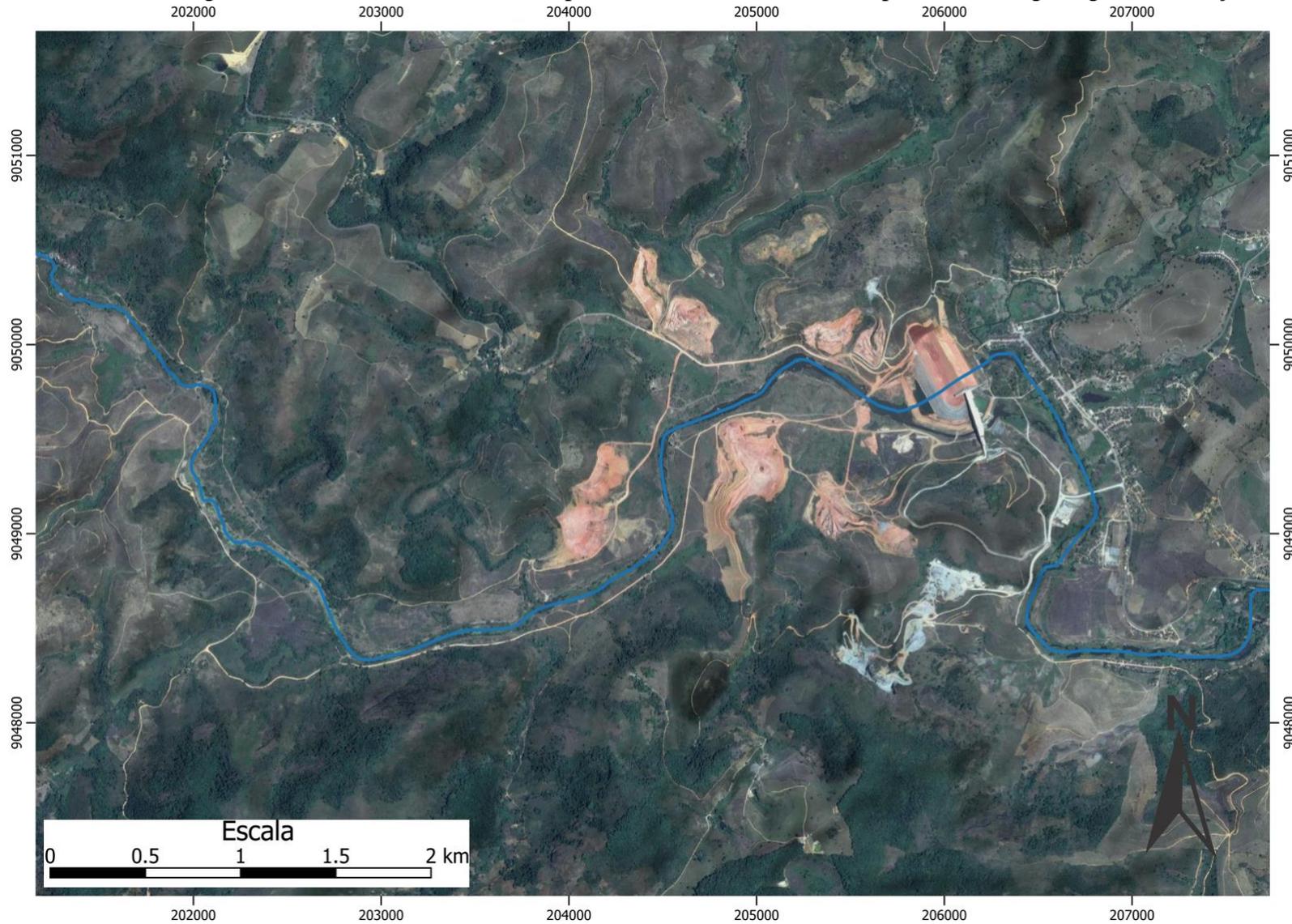
Por último, o contato entre o maciço granítico e o maciço gnáissico-migmatítico é aqui inferido pela análise da geometria apresentada pelo curso do rio Una nas proximidades do eixo barrado (**Figura 24**). Sua observação revela concordância com os principais lineamentos geológicos interpretados em Modelo Digital de Elevação (MDE) da região (**Figura 23**). Estas estruturas correspondem a zonas de cisalhamento subsidiárias ao Lineamento Pernambuco (localizado mais ao norte da imagem); possuem direção NE-SW, cinemática sinistral e indicam a provável existência no local de uma falha (TECHNE, 2011), resultante da intrusão do corpo magmático de maiores dimensões e que marca o contato entre os dois maciços de fundação (**Figura 22**).

**Figura 23.** Modelo Digital de Elevação (MDE) demonstrando as principais estruturas regionais nas proximidades do eixo barrado e seu controle sobre a geometria do curso do Rio Una.



Fonte: baseado em INPE (2017) e Geobank (2017)

**Figura 24.** Controle da geometria do curso do rio Una nas proximidades do eixo barrado por estruturas geológicas de direção NE-SW.



Fonte: baseado em Google Earth (2017)

### 5.1.2. Maciço gnáissico-migmatítico

O maciço gnáissico-migmatítico está associado ao Complexo Belém do São Francisco e ocupa as regiões do fundo do vale e ombreira esquerda, ocorrendo em subsuperfície (TECHNE, 2011). Além disto, representa o embasamento cristalino em um ponto de fuga na margem direita do reservatório formado, onde foi construída uma barragem auxiliar de terra (**Figura 9**).

Este maciço possui seu topo inferido, pois está recoberto por espesso manto de intemperismo, composto por solo de alteração e solo residual, além de solo aluvionar, o que dificultou sua investigação (SPEC, 2012). A elevada espessura do manto de intemperismo pôde ser confirmada por sondagens relativas ao projeto executivo da obra que, mesmo não utilizadas neste estudo de caso, orientaram algumas modificações interpretativas quanto ao perfil geológico-geotécnico final do eixo barrado, disponibilizado pela SRHE (**Anexo B**). O furo SR-113 é o principal exemplo destas sondagens, o qual perfurou cinquenta e dois metros em solo e, ainda assim, não alcançou o topo rochoso. Os seguintes aspectos fundamentam a existência do maciço gnáissico-migmatítico em profundidade na região da ombreira esquerda: (1) a identificação de seu solo de alteração no sopé da ombreira esquerda (**Figura 25**); (2) a ampla ocorrência de gnaisses do Complexo Belém do São Francisco nas adjacências do local de implantação da obra, verificada tanto na visita de campo como no mapa geológico regional disponível na literatura (**Figura 6**); e (3) a identificação de intervalos gnáissico-migmatíticos nos furos de sondagens executados no fundo do vale e na ombreira esquerda.

A análise dos furos de sondagens que interceptaram os intervalos relacionados a este maciço revelou a existência de foliações gnáissicas horizontais (**Figura 26**) e inclinadas (**Figura 27**) e fraturas que se dispõem de maneira preferencial segundo estas tramas planares. A relação litoestratigráfica revelada pelas sondagens SMB-34 e SMB-37 reitera a proposição anterior da ocorrência de injeções graníticas intercaladas com rochas de natureza gnáissica na região da ombreira esquerda. A ocorrência de processos de migmatização na rocha encaixante, induzidos pela intrusão do maciço granítico, é evidenciada na sondagem SMB-3 na qual se observa, após 16,65 metros de solo, a segregação entre bandas máficas (melanossomas) e félsicas (leucossomas). Neste mesmo furo, parte da foliação gnáissica preexistente pode ser observada no trecho 19,65-21,65 m (**Figura 28**). Além disto, a sondagem SMB-3 foi utilizada como um dos indicadores do contato deste maciço com o maciço granítico.

**Figura 25.** Solo de alteração do maciço gnáissico-migmatítico no sopé da ombreira esquerda.



**Fonte:** acervo pessoal do Prof. Dr. Almany Costa Santos (2011)

**Figura 26.** Testemunho da sondagem SMB-37 relativa à ocorrência do maciço gnáissico-migmatítico na região da ombreira esquerda.



SMB-37

**Fonte:** STS (2011)

**Figura 27.** Testemunho da sondagem SMB-34 relativa à ocorrência do maciço gnáissico-migmatítico na região da ombreira esquerda. Notar ocorrência de rocha granítica não deformada (injeção) no trecho final da sondagem.



Fonte: STS (2011)

**Figura 28.** Testemunho da sondagem SMB-3 relativa à ocorrência de rocha migmatizada nas proximidades do sopé da ombreira esquerda.



Fonte: STS (2011)

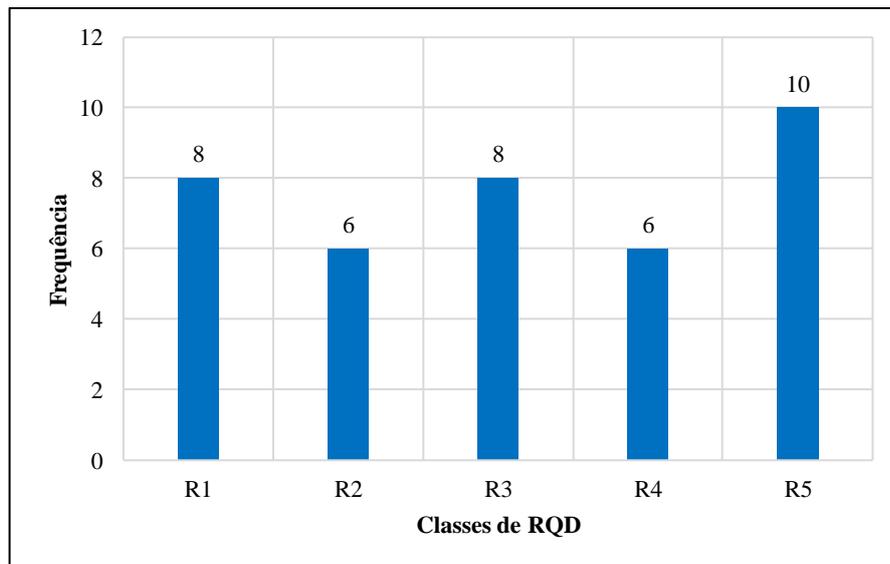
A ocorrência de capa de alteração significativamente mais espessa na ombreira esquerda está associada à maior suscetibilidade do maciço gnáissico-migmatítico aos processos de alteração e à preponderância do intemperismo químico na microrregião da Mata Meridional Pernambucana (GEOTECH, 2011). No perfil do manto de intemperismo observa-se, solo residual, de natureza siltica-argilosa e coloração amarelada a avermelhada, bem menos expres-

sivo que o solo de alteração, de natureza siltica-arenosa e coloração acinzentada, aflorando apenas de maneira isolada (TECHNE, 2011; ver perfil geológico-geotécnico – **Anexo B**).

Os poucos dados geotécnicos a respeito deste maciço revelam uma menor qualidade em termos do parâmetro RQD, dada a maior frequência relativa das classes de menor qualidade (R3, R4 e R5) que juntas perfazem aproximadamente 63% dos resultados (**Gráfico 5**). Esta distribuição é reflexo do maior grau de fraturamento e de alteração deste maciço. Como pode ser observado no **Gráfico 6**, cerca de 45% dos resultados são relativos a maiores graus de alteração (A3, A4 e A5), o que indica sua maior suscetibilidade aos processos de alteração.

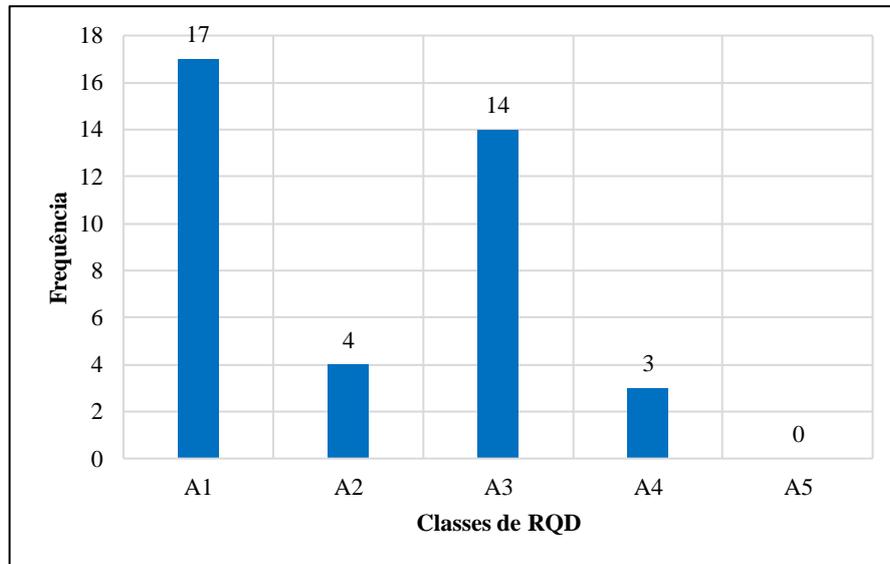
Verificada a carência de dados com relação a este maciço e sua forma de ocorrência (inferida em profundidade), não foi possível a realização de todas as análises procedidas para o maciço anterior.

**Gráfico 5.** Distribuição das frequências absolutas das classes de RQD obtidas para as rochas relacionadas ao maciço gnáissico-migmatítico.



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 6.** Distribuição das frequências absolutas dos graus de alteração definidos para as rochas relacionadas ao maciço gnáissico-migmatítico.



Fonte: o autor (2017)

## 5.2. Caracterização hidrogeotécnica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos

Nesta seção será realizada a caracterização hidrogeotécnica dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos através da análise dos resultados dos ensaios de perda d'água sob pressão. A análise procedida naturalmente enfatiza o maciço granítico, em função de dois aspectos: (1) a maior parte dos ensaios de perda d'água foi realizada nesta unidade geológica e (2) o topo do maciço gnáissico-migmatítico na ombreira esquerda é inferido, o que pode representar a realização de ensaios em blocos soltos de rocha em meio ao espesso manto de intemperismo. A separação da caracterização hidrogeotécnica da caracterização geológico-geotécnica ocorreu devido a elevada importância da primeira em projetos de barragens, em especial no que concerne à definição das necessidades de tratamentos das fundações por injeções (*grouting*) ou pela execução de furos e/ou galerias de drenagem.

Durante a análise dos dados dos ensaios ficou constatada a necessidade da utilização de mais de uma metodologia para a interpretação dos resultados, dada a observação de curvas 'absorção vs carga efetiva' atípicas que inspiraram dúvidas quanto à interpretação do comportamento apresentado pelo maciço. Neste sentido, foram então elaborados gráficos dos 'valores Lugeon' para cada estágio de injeção os quais foram posteriormente confrontados com os gráficos 'absorção vs carga efetiva', visando um melhor entendimento da resposta do maciço frente à percolação d'água. Este procedimento possibilitou o reconhecimento em diversos

ensaios da ocorrência associada dos comportamentos típicos propostos por Oliveira, Silva e Júnior (1975) e por Houlsby (1976), além da verificação da correspondência entre eles. A análise dos ensaios de perda d'água através da ótica destas duas metodologias enriqueceu a interpretação dos resultados e ampliou o conhecimento a respeito dos maciços de fundação. Cada comportamento ou associação identificada sobre a ótica de ambas metodologias serão descritas a seguir, de forma a orientar a verificação dos gráficos no **Apêndice A**.

As informações apresentadas nesta seção são resultado da análise de oitenta e três ensaios de perda d'água realizados no eixo barrado e em suas proximidades no âmbito do projeto básico do empreendimento. Destes ensaios, seis são relativos à ombreira direita, quarenta e nove ao fundo do vale e vinte e oito à ombreira esquerda. No processo de análise dos dados foram desconsiderados os denominados ensaios de verificação que correspondem àqueles ensaios realizados em trechos de maior comprimento, englobando porções do maciço já investigadas. Quanto aos ensaios realizados em mais de um tipo litológico optou-se, constatada a impossibilidade da individualização dos resultados, pela atribuição da condutividade calculada ao trecho de rocha de menor qualidade (mais fraturado/conduativo). Esta condição foi observada apenas em ensaios realizados na ombreira esquerda, onde os resultados destes ensaios são menos relevantes, em função da alternativa tecnológica adotada para o trecho (barragem de terra).

#### 5.2.1. Comportamentos típicos e associações identificadas

A seguir são descritas as características dos comportamentos e associações identificadas em curvas 'absorção vs carga efetiva' atípicas, não apresentadas no trabalho de Oliveira, Silva e Júnior (1975). Esta descrição poderá auxiliar trabalhos futuros que venham a confrontar situação semelhante. Todos os gráficos utilizados são relativos ao estudo de caso, tornando este procedimento parte integrante do mesmo. Em todas as situações, adotou-se como valor representativo da condutividade hidráulica, seu máximo valor, por aqui adotar-se uma postura conservadora, de forma a simular as condições mais desfavoráveis o possível com relação à operação do empreendimento.

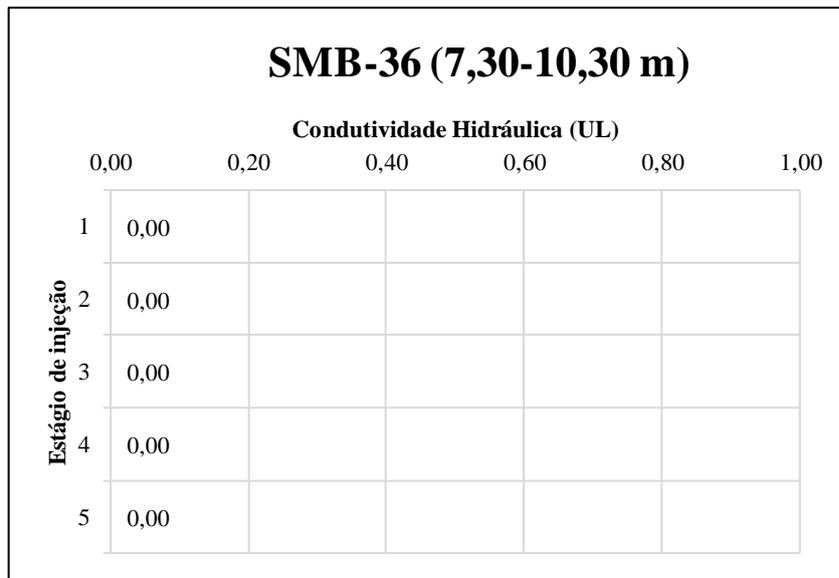
##### 5.2.1.1. Comportamentos típicos

###### a) Impermeável

Neste comportamento a rocha se apresentou impermeável independente da pressão de injeção, não havendo absorção (vazão) em nenhum dos cinco estágios. O gráfico dos valores

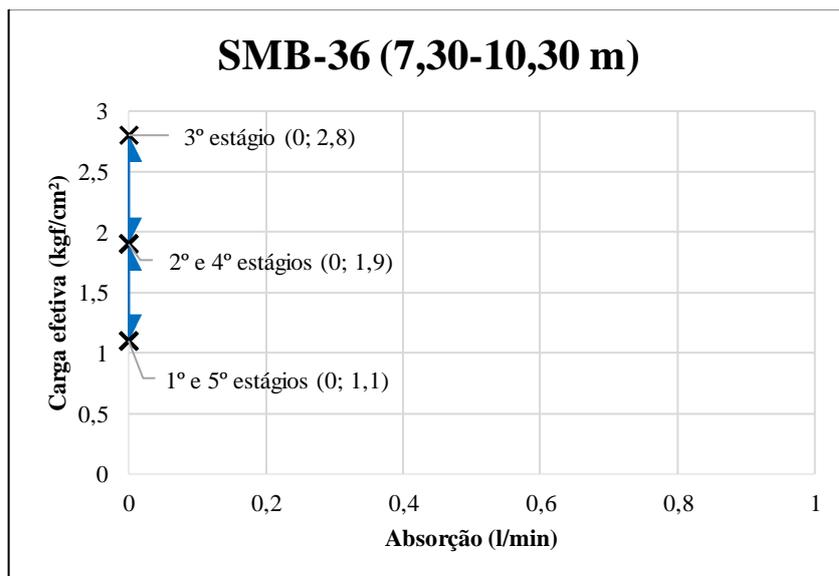
Lugeon apresentou padrão no qual são observados apenas valores nulos (**Gráfico 7**) e a curva ‘absorção vs carga efetiva’ apresentou-se na forma de uma reta que percorre apenas o eixo das ordenadas (**Gráfico 8**). A condutividade hidráulica da rocha é nula.

**Gráfico 7.** Valores Lugeon relativos ao comportamento impermeável observado no trecho 7,30-10,30 m no furo de sondagem SMB-36 (maciço granítico – fundo do vale).



**Fonte:** o autor (2017)

**Gráfico 8.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ referente ao comportamento impermeável observado no trecho 7,30-10,30 m no furo de sondagem SMB-36 (maciço granítico – fundo do vale).



**Fonte:** o autor (2017)

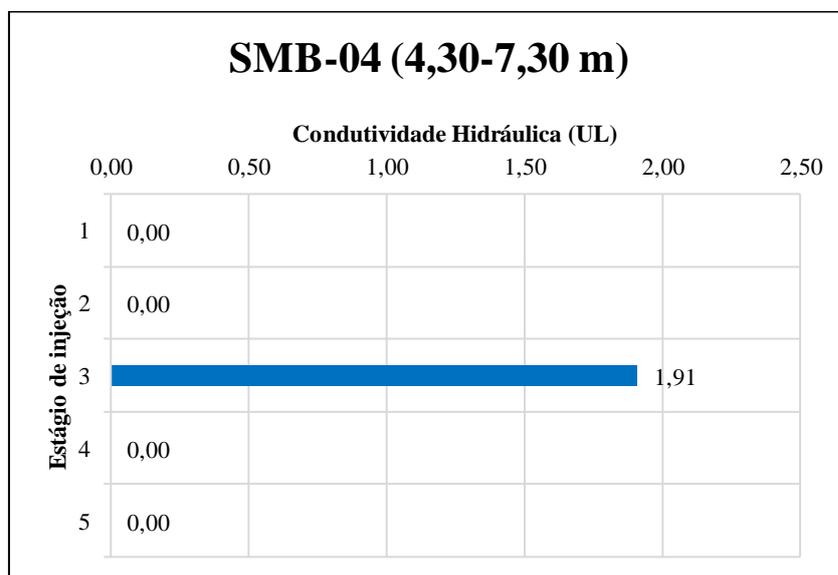
b) Vazão total (Oliveira, Silva e Júnior, 1975)

Neste comportamento não se observou estabilização das vazões, não sendo possível a determinação do valor da condutividade hidráulica, seja este expresso em cm/s ou em unidades Lugeon. Consequentemente, também não foi possível a confecção dos gráficos dos valores Lugeon e ‘absorção vs carga efetiva’. A ocorrência deste comportamento pode estar relacionada com a fuga d’água durante a realização do ensaio, representando um erro em sua execução, ou com a existência de uma rocha muito permeável que apresenta fissuras abertas, persistentes e conectadas. Neste estudo de caso, a ocorrência do comportamento vazão total foi atribuída à segunda hipótese, sendo a condutividade hidráulica do maciço classificada como pertencente à classe H5 (condutividade hidráulica muito alta).

c) De deformação (da fissura) sem alteração (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo (Houlsby, 1976)

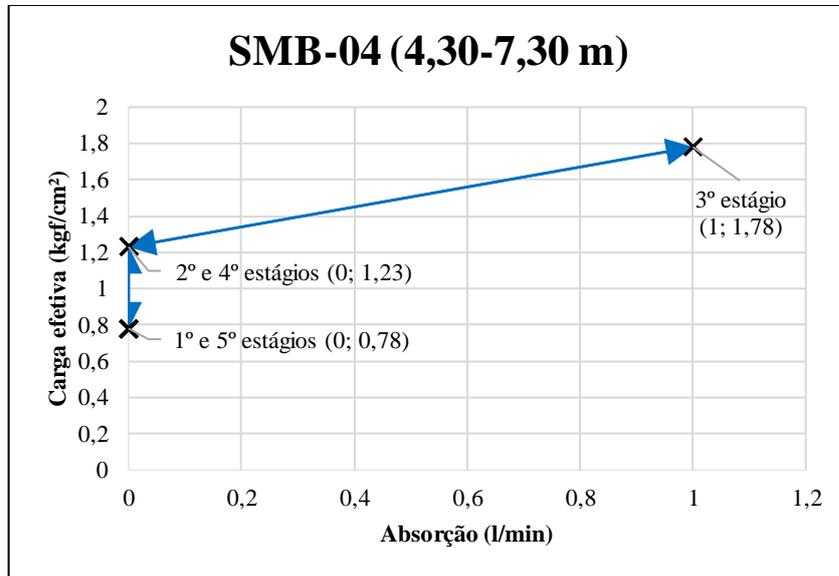
Neste comportamento a rocha se apresentou impermeável no 1º e 5º estágios de injeção, as condutividades hidráulicas, expressas em cm/s ou em unidades Lugeon, do 3º e 4º estágios foram iguais, podendo ser nulas; e a condutividade hidráulica relativa ao 3º estágio foi máxima (**Gráfico 9** e **Gráfico 10**). Além das curvas ‘absorção vs carga efetiva’ atípicas, também foram obtidas as curvas típicas deste comportamento apresentadas por Oliveira, Silva e Júnior (*op. cit.*).

**Gráfico 9.** Valores Lugeon relativos ao comportamento de deformação (da fissura) sem alteração ou expansivo observado no trecho 4,30-7,30 m no furo de sondagem SMB-04 (gnaisse migmatizado – fundo do vale).



**Fonte:** o autor (2017)

**Gráfico 10.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente ao comportamento de deformação (da fissura) sem alteração ou expansivo observado no trecho 4,30-7,30 m no furo de sondagem SMB-04 (gnaisse migmatizado – fundo do vale).

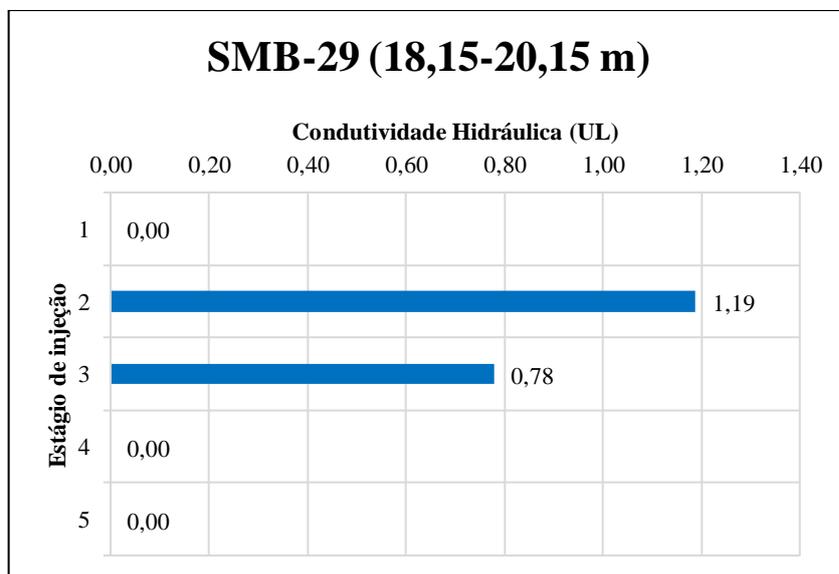


Fonte: o autor (2017)

- d) De deformação (da fissura) com fechamento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo com Preenchimento (Houlsby, 1976)

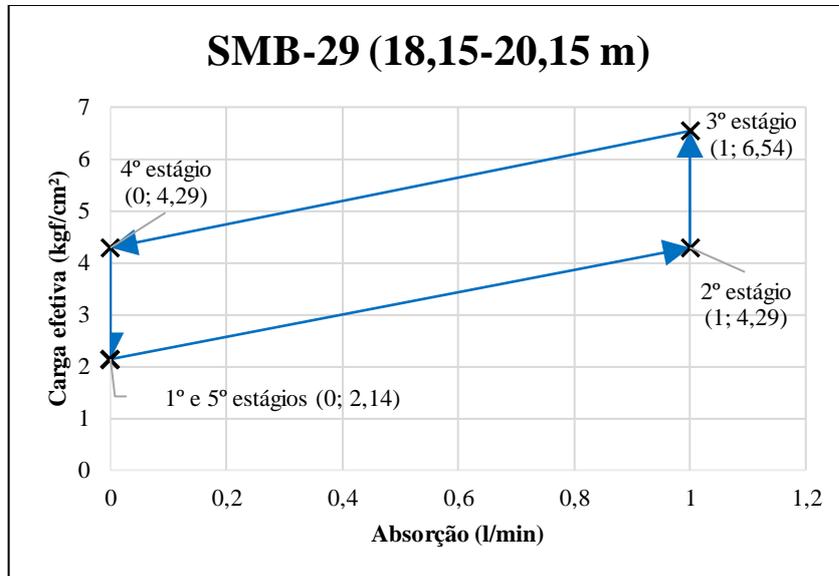
Neste comportamento a rocha se apresentou impermeável no 1º e 5º estágios de injeção e as condutividades hidráulicas, expressas em cm/s ou em unidades Lugeon, decresceram do 2º ao 4º estágio (**Gráfico 11** e **Gráfico 12**).

**Gráfico 11.** Valores Lugeon relativos ao comportamento de deformação (da fissura) com fechamento ou expansivo com preenchimento observado no trecho 18,15-20,15 m no furo de sondagem SMB-29 (injeção granítica - ombreira esquerda).



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 12.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente ao comportamento de deformação (da fissura) com fechamento ou expansivo com preenchimento observado no trecho 18,15-20,15 m no furo de sondagem SMB-29 (injeção granítica - ombreira esquerda).

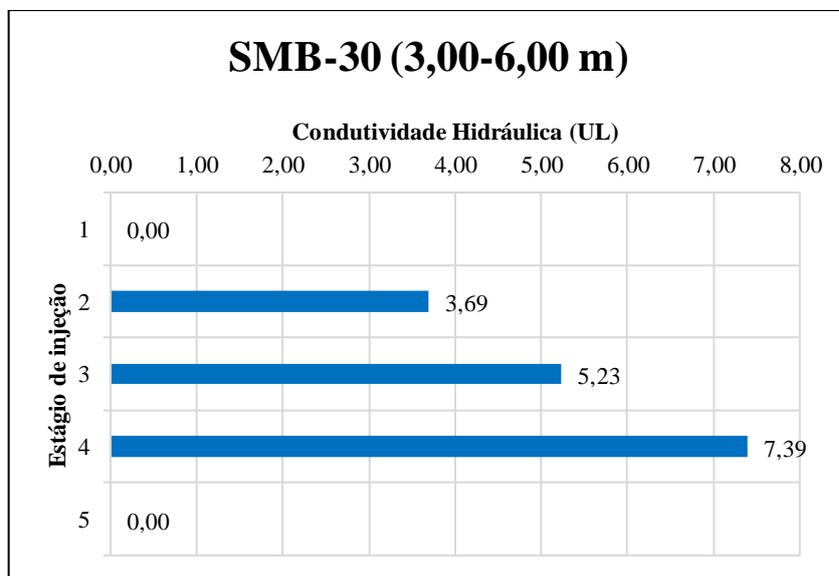


Fonte: o autor (2017)

- e) De deformação (da fissura) com abertura (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo com Lavagem (Houlsby, 1976)

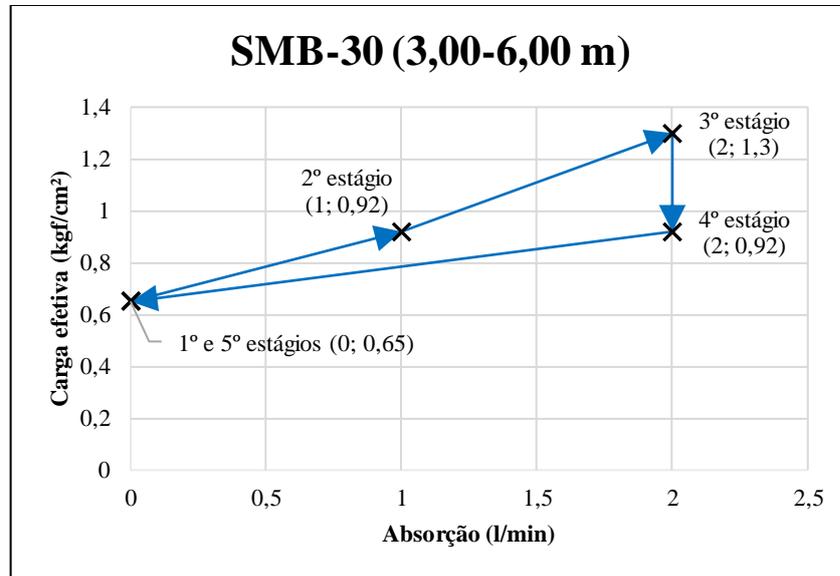
Neste comportamento a rocha se apresentou impermeável no 1º e 5º estágios de injeção e as condutividades hidráulicas, expressas em cm/s ou em unidades Lugeon, aumentaram do 2º ao 4º estágio (**Gráfico 13 e Gráfico 14**).

**Gráfico 13.** Valores Lugeon relativos ao comportamento de deformação (da fissura) com abertura ou expansivo com lavagem observado no trecho 3,00-6,00 m no furo de sondagem SMB-30 (gnaisse migmatizado - ombreira esquerda).



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 14.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente ao comportamento de deformação (da fissura) com abertura ou expansivo com lavagem observado no trecho 3,00-6,00 m no furo de sondagem SMB-30 (gnaisse migmatizado - ombreira esquerda).



Fonte: o autor (2017)

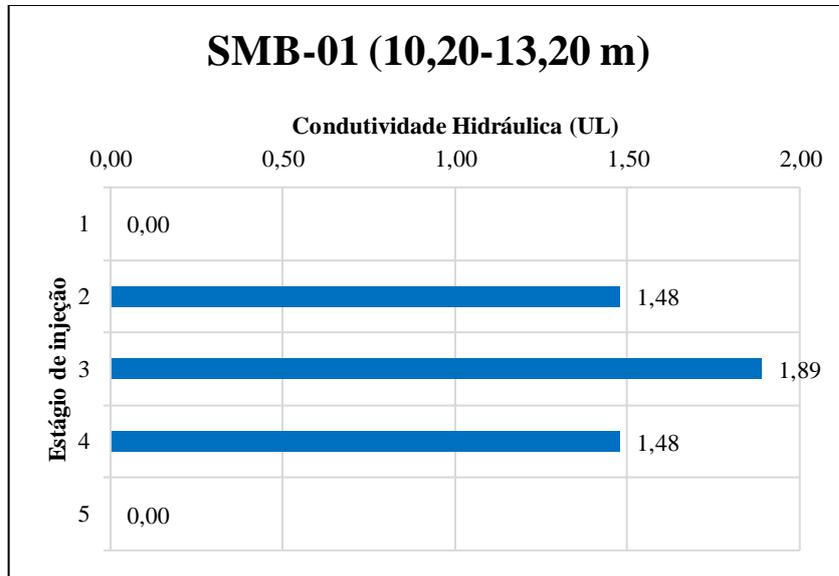
#### 5.2.1.2. Associações de comportamentos típicos

Neste estudo de caso foram observadas as seguintes associações de comportamentos típicos:

- De deformação (da fissura) sem alteração com Fluxo Laminar (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Laminar (Houlsby, 1976)

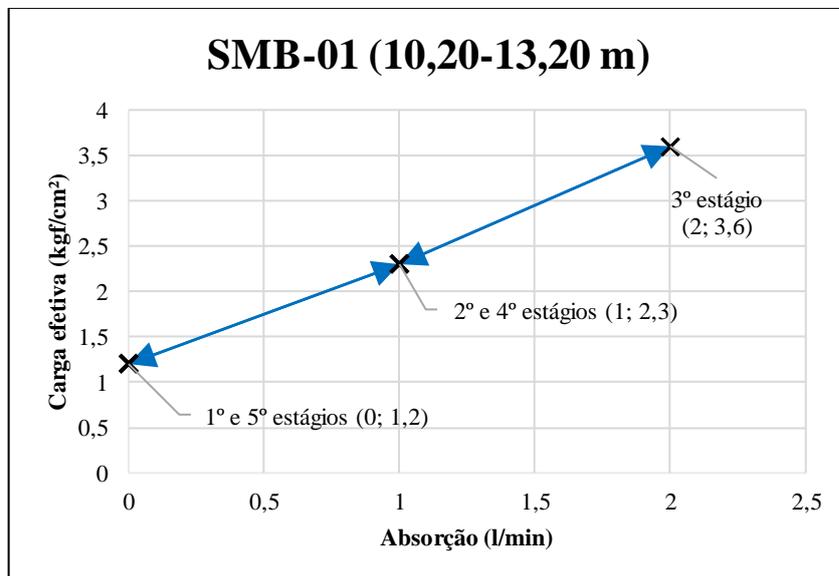
Nesta associação a rocha se apresentou impermeável no 1º e 5º estágios de injeção e as condutividades hidráulicas, expressas em cm/s ou em unidades Lugeon, do 2º ao 4º estágio não diferiram de maneira significativa (**Gráfico 15**). Além disto, a curva ‘absorção vs carga efetiva’ revelou-se ser composta por dois segmentos de reta de inclinações bastante próximas, o que indica a variação linear das vazões com o aumento da pressão (**Gráfico 16**).

**Gráfico 15.** Valores Lugeon relativos à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo laminar ou expansivo e laminar observada no trecho 10,20-13,20 m no furo de sondagem SMB-01 (injeção granítica - ombreira esquerda).



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 16.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo laminar ou expansivo e laminar observada no trecho 10,20-13,20 m no furo de sondagem SMB-01 (injeção granítica - ombreira esquerda).



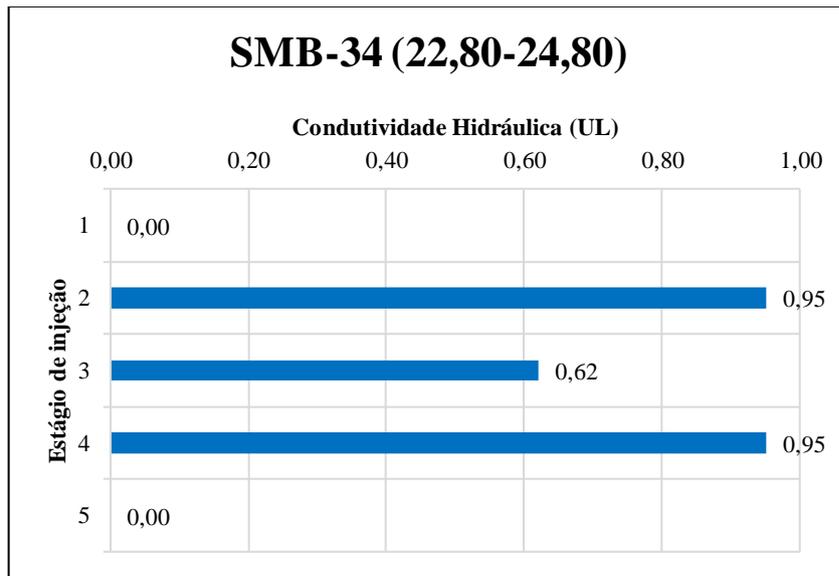
Fonte: o autor (2017)

- b) De deformação (da fissura) sem alteração com Fluxo Turbulento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Turbulento (Houlsby, 1976)

Nesta associação a rocha se apresentou impermeável no 1º e 5º estágios de injeção e as condutividades hidráulicas, expressas em cm/s ou em unidades Lugeon, do 2º e 4º estágio foram

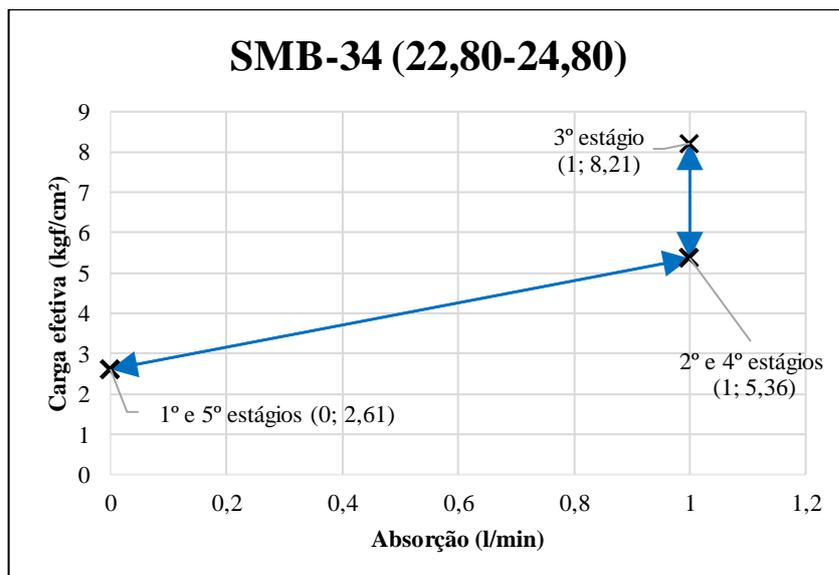
iguais. Em adição, observou-se uma condutividade hidráulica, relativa ao estágio de máxima pressão de injeção (3º estágio), inferior aos estágios de pressão de injeção intermediária (Gráfico 17 e Gráfico 18).

**Gráfico 17.** Valores Lugeon relativos à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo turbulento ou expansivo e turbulento observada no trecho 22,80-24,80 m no furo de sondagem SMB-34 (injeção granítica - ombreira esquerda).



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 18.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente à associação de comportamentos de deformação (da fissura) sem alteração com fluxo turbulento ou expansivo e turbulento observada no trecho 22,80-24,80 m no furo de sondagem SMB-34 (injeção granítica - ombreira esquerda).

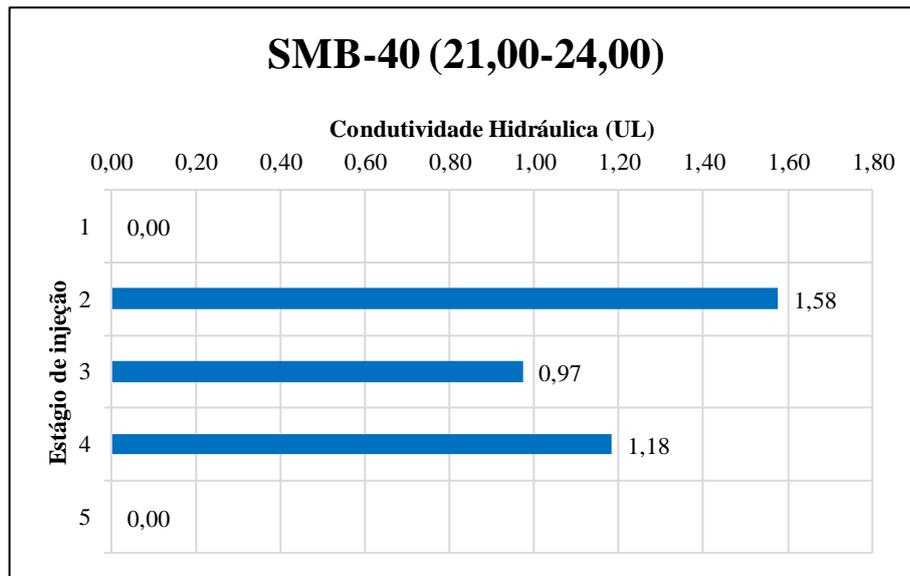


Fonte: o autor (2017)

- c) De deformação (da fissura) com fechamento e Fluxo Turbulento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Turbulento com Preenchimento (Houlsby, 1976)

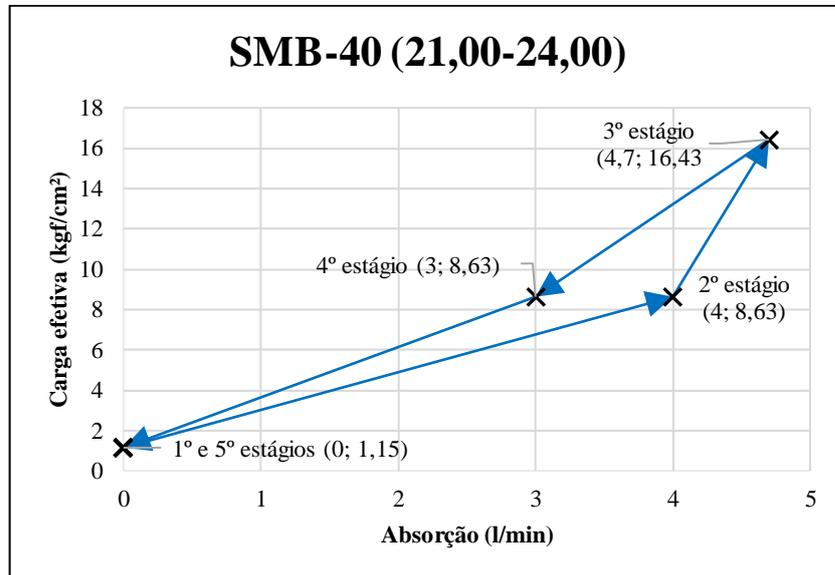
Nesta associação observou-se que, no 1º e 5º estágios, a rocha se comportou como um meio impermeável, não havendo absorção. Ao ocorrer o incremento de pressão do 1º estágio (pressão de injeção mínima) para o 2º estágio (pressão de injeção intermediária), as descontinuidades da rocha foram deformadas (dilatadas) e, em consequência, o maciço passou a apresentar condutividade hidráulica não nula. No estágio de máxima pressão de injeção (3º estágio) observou-se uma condutividade hidráulica, expressa em cm/s ou em unidades Lugeon, inferior àquelas observadas nos 2º e 4º estágios. Além disto, o 4º estágio apresentou condutividade inferior ao 2º estágio, refletindo o preenchimento das fissuras (**Gráfico 19** e **Gráfico 20**).

**Gráfico 19.** Valores Lugeon relativos à associação de comportamentos de deformação (da fissura) com fechamento e fluxo turbulento ou expansivo e turbulento com preenchimento observada no trecho 21,00-24,00 m no furo de sondagem SMB-40 (injeção granítica - ombreira esquerda).



**Fonte:** o autor (2017)

**Gráfico 20.** Curva ‘absorção vs carga efetiva’ atípica referente à associação de comportamentos de deformação (da fissura) com fechamento e fluxo turbulento ou expansivo e turbulento com preenchimento observada no trecho 21,00-24,00 m no furo de sondagem SMB-40 (injeção granítica - ombreira esquerda).



Fonte: o autor (2017)

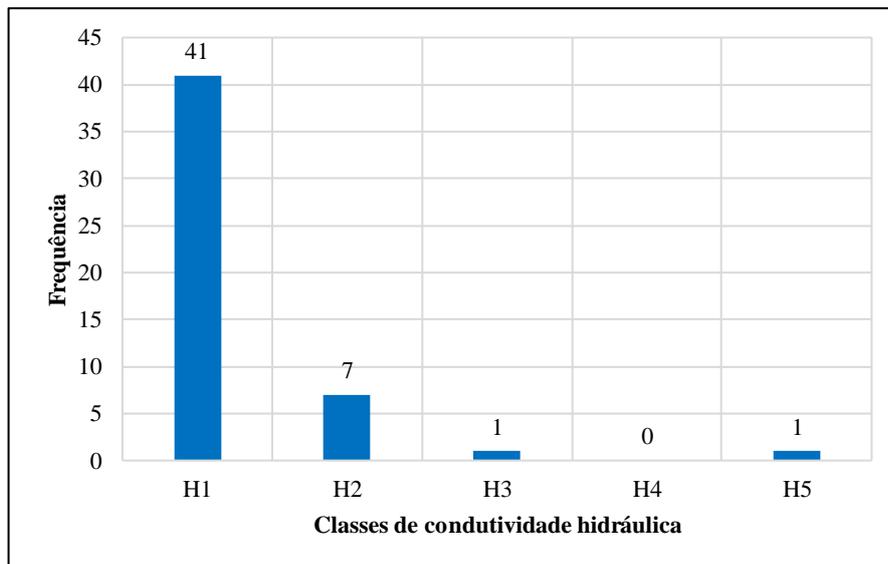
## 5.2.2. Maciço granítico

### 5.2.2.1. Características hidrogeotécnicas gerais

O maciço granítico apresentou em aproximadamente 96% dos ensaios analisados (48 ensaios de um total de 50), condutividades hidráulicas condizentes com as classes H1 (condutividade hidráulica muito baixa) ou H2 (condutividade hidráulica baixa). Esta observação revela que, no geral, este maciço possui boas características de estanqueidade, com condutividades hidráulicas que variam da ordem de  $10^{-5}$  a  $10^{-6}$  cm/s, distribuídas ao longo da região de domínio deste maciço. As frequências absolutas das classes de condutividade hidráulica obtidas para este maciço estão apresentadas no **Gráfico 21**.

Ganha notoriedade, dentre os resultados que se enquadram na classe de condutividade hidráulica H1 (41 ensaios ao todo, **Gráfico 21**), a predominância de situações nas quais se obteve a impermeabilidade de fato do maciço rochoso ( $K=0$  cm/s ou 0 UL), ou seja, casos com absorções nulas ( $Q=0$  l/min). Estes resultados perfazem aproximadamente 54% do total de resultados obtidos para o maciço granítico (27 ensaios de um total de 50) ou ainda 66% dos resultados inseridos na classe de condutividade H1 (27 ensaios de um total de 41) e corroboram com a qualificação anterior deste maciço quanto à sua estanqueidade.

**Gráfico 21.** Distribuição das frequências absolutas das classes de condutividade hidráulica obtidas para o maciço granítico em sua região de domínio (projeto básico).



Fonte: o autor (2017)

As informações de condutividade obtidas para este maciço revelam que seu volume ensaiado é, em sua maioria, impermeável à percolação d'água, pois mesmo aqueles ensaios que não apresentaram absorções nulas, mas que se enquadram na classe H1 (82% de todos os resultados), são considerados pela literatura como praticamente impermeáveis à injeção de caldas de cimento ( $<1$  UL). A distribuição das frequências das classes de condutividade reforça esta indicação, visto que as classes de maior condutividade ocorrem em frequências menos significativas (**Gráfico 21**).

#### 5.2.2.2. Distribuição dos valores de condutividade hidráulica em profundidade

A distribuição dos valores de condutividade hidráulica do maciço granítico, em termos de unidades Lugeon, com relação à profundidade em sua região de domínio está revelada na **Tabela 23**. A utilização desta unidade como referência para a discussão a seguir se deu devido à maior praticidade em se classificar os valores de condutividade em faixas específicas. Caso julgue-se necessário, a conversão dos valores de condutividade hidráulica expressos em unidades Lugeon para a unidade cm/s pode ser realizada com base na correlação exposta no **Gráfico 22**. Esta correlação foi obtida a partir da análise de regressão linear entre os valores de condutividade calculados em ambas as unidades e possui elevado coeficiente de correlação ( $R=0,9989$ ). Entretanto, é aplicável apenas para o presente estudo de caso.

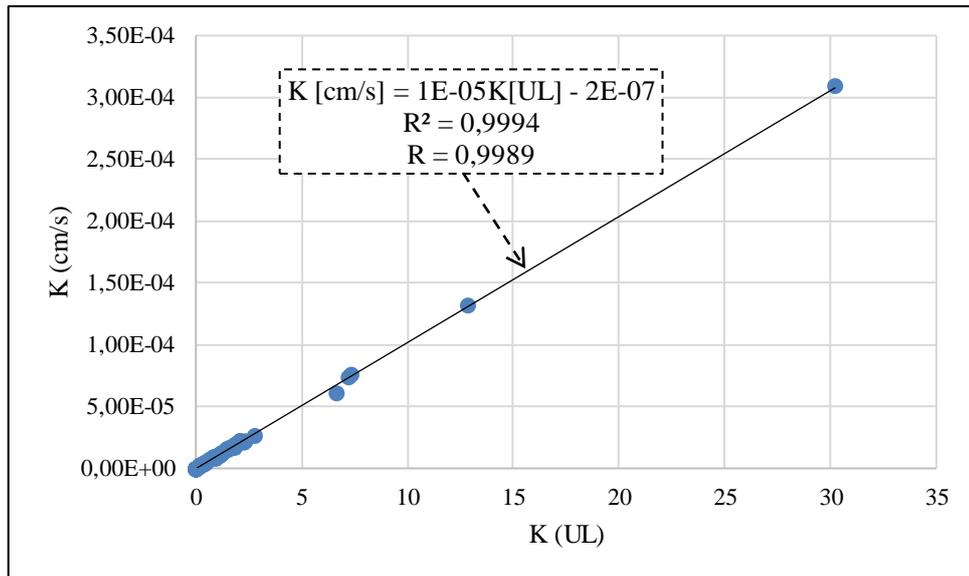
A análise da **Tabela 23** revela que os valores de condutividade do maciço granítico diminuem de modo geral com o aumento da profundidade. Como consequência, observa-se que os valores mais elevados ocorrem nos níveis mais superficiais deste maciço, notadamente seus seis primeiros metros. Neste intervalo (0,00-6,00 m), mais próximo à superfície, observa-se uma maior dispersão dos valores de condutividade hidráulica quando comparado com relação aos trechos mais profundos (**Tabela 23**). Após este intervalo, é possível identificar uma evidente tendência de diminuição na dispersão dos resultados, com valores de condutividade que não ultrapassam 3 UL ou aproximadamente  $2,98 \times 10^{-5}$  cm/s. Adicionalmente, em função da distribuição verificada e dos critérios defendidos por Nonveiller (2005) e pela ISRM (2015), obtidos em Amaro (2015) e discutidos no **tópico 2.1.1.1**, pode-se inferir uma profundidade mínima de tratamento das fundações, por injeções de caldas impermeabilizantes, equivalente a quinze metros no interior do maciço.

**Tabela 23.** Matriz de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade, obtidos para o maciço granítico em sua região de domínio.

		Profundidade/Recobrimento (D)							
		0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-25 m
Faixa de valores: K [UL]	0	63%	40%	63%	50%	50%	67%	67%	50%
	0-1	13%	30%	25%	25%	38%	33%	33%	50%
	1-2	0%	10%	0%	13%	0%	0%	0%	0%
	2-3	0%	10%	13%	13%	13%	0%	0%	0%
	3-4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	4-5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	5-6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	6-12,91	13%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Vazão total	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Total de ensaios:</i>		8	10	8	8	8	3	3	2

Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 22.** Correlação entre os valores de condutividade hidráulica calculados neste estudo de caso, expressos em unidades Lugeon e em cm/s.



Fonte: o autor (2017)

### 5.2.2.3. Características hidrogeotécnicas por trecho das fundações

#### 5.2.2.3.1. Ombreira direita

A análise individualizada da distribuição dos valores de condutividade hidráulica do maciço granítico com referência à ombreira direita revela que, apesar da pouca quantidade de ensaios realizados no âmbito do projeto básico (seis ensaios ao todo, realizados nas sondagens SMB-32 e SMB-48), este trecho guarda boas características de estanqueidade. Todos os resultados dos ensaios de perda d'água procedidos nesta região, até mesmo aqueles realizados nos trechos mais superficiais, indicaram a impermeabilidade de fato do maciço rochoso, sendo, portanto, enquadrados na classe de condutividade H1. Estas características evidenciam a existência das melhores condições de estanqueidade neste trecho das fundações as quais são apropriadas com a implantação de um projeto de barramento (**Tabela 24**). O posterior acesso aos ensaios de perda d'água executados neste trecho das fundações relativos ao projeto executivo do empreendimento, já nas fases finais desta pesquisa confirmam as afirmações aqui apresentadas.

**Tabela 24.** Matriz de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade, obtidos para o maciço granítico na região da ombreira direita.

		Profundidade/Recobrimento (D)							
		0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-25 m
Faixa de valores: K [UL]	0	100%	100%	100%	100%	100%	-	-	-
	0-1	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	1-2	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	2-3	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	3-4	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	4-5	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	5-6	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	6-12,91	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
	Vazão total	0%	0%	0%	0%	0%	-	-	-
<i>Total de ensaios:</i>		1	2	1	1	1	0	0	0

Fonte: o autor (2017)

#### 5.2.2.3.2. Fundo do vale (características anômalas)

O fundo do vale corresponde ao trecho das fundações melhor investigado, possuindo um total de quarenta e quatro ensaios realizados (**Tabela 25**). Nesta região, apesar das boas características discutidas anteriormente (**tópico 5.2.2.1**), o maciço granítico possui em seus níveis mais superficiais, mais especificamente em seus seis primeiros metros, condições de anômalas de estanqueidade, desfavoráveis à um projeto de barramento. Este intervalo se mostra compatível com àquele indicado como de maior influência das fraturas de alívio e associado às zonas geotécnicas anômalas, revelando ainda uma associação entre as zonas de anomalias geotécnicas e hidrogeotécnicas. Destaca-se, em três ensaios - o que perfaz um total de 6% dos ensaios analisados - a ocorrência de zonas específicas de maiores condutividades, compatíveis com as classes H2 (condutividade hidráulica baixa), H3 (condutividade hidráulica moderada) e H5 (condutividade hidráulica muito alta).

A classe H3 está associada à uma condutividade de  $1,32 \times 10^{-4}$  cm/s (12,91 UL) e foi obtida no ensaio realizado no trecho de 1,60-4,60 m do furo de sondagem SMB-35. Esta condutividade está relacionada à porção inferior do referido intervalo onde ocorre o grau de fraturamento F5 (**Figura 29**). Logo após, no trecho de 4,60-7,60 m deste mesmo furo, ocorre uma condutividade hidráulica que, apesar de ser condizente com a classe H2, também se mostra mais proeminente, sendo equivalente a  $7,4 \times 10^{-5}$  cm/s (7,23 UL). A classe H5 está associada à

obtenção de um comportamento ‘vazão total’ e foi alcançada no ensaio realizado no trecho de 5,00-8,00 m do furo de sondagem SMB-46 (**Figura 30**). Com relação às classes H3 e H5, em ambas as situações as condutividades são alusivas aos três primeiros metros do maciço granítico e estão relacionadas ao seu maior estado de fraturamento, o que sugere, novamente, uma concentração de esforços na região do fundo do vale.

A observação de classes de maior condutividade no fundo do vale revela a existência de condições localizadas de estanqueidade desfavoráveis à implantação de uma obra hidráulica e que demandam algum tipo de tratamento das fundações, como escavações e injeções. Estas condições inspiram cuidados especiais, pois este trecho estará sujeito às maiores cargas hidráulicas impostas pelo reservatório a ser formado. Após os níveis mais superficiais do maciço, os valores de condutividade exibem uma clara tendência de diminuição com o aumento da profundidade (**Tabela 25**).

**Tabela 25.** Matriz de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade, obtidos para o maciço granítico no fundo do vale.

		Profundidade/Recobrimento (D)							
		0-3 m	3-6 m	6-9 m	9-12 m	12-15 m	15-18 m	18-21 m	21-25 m
Faixa de valores: K [UL]	0	57%	25%	57%	43%	43%	67%	67%	50%
	0-1	14%	38%	29%	29%	43%	33%	33%	50%
	1-2	0%	13%	0%	14%	0%	0%	0%	0%
	2-3	0%	13%	14%	14%	14%	0%	0%	0%
	3-4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	4-5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	5-6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	6-12,91	14%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Vazão total	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
<i>Total de ensaios:</i>		7	8	7	7	7	3	3	2

**Fonte:** o autor (2017)

**Figura 29.** Testemunhos da sondagem SMB-35 na qual foi obtida uma condutividade de  $1,32 \times 10^{-4}$  cm/s ou 12,91 UL (classe H3) no trecho 1,60-4,60 m na região do fundo do vale.



Fonte: SRHE (2011)

**Figura 30.** Testemunhos da sondagem SMB-46 na qual foi obtido um comportamento de vazão total (classe H5) no trecho 5,00-8,00 m na região do fundo do vale.



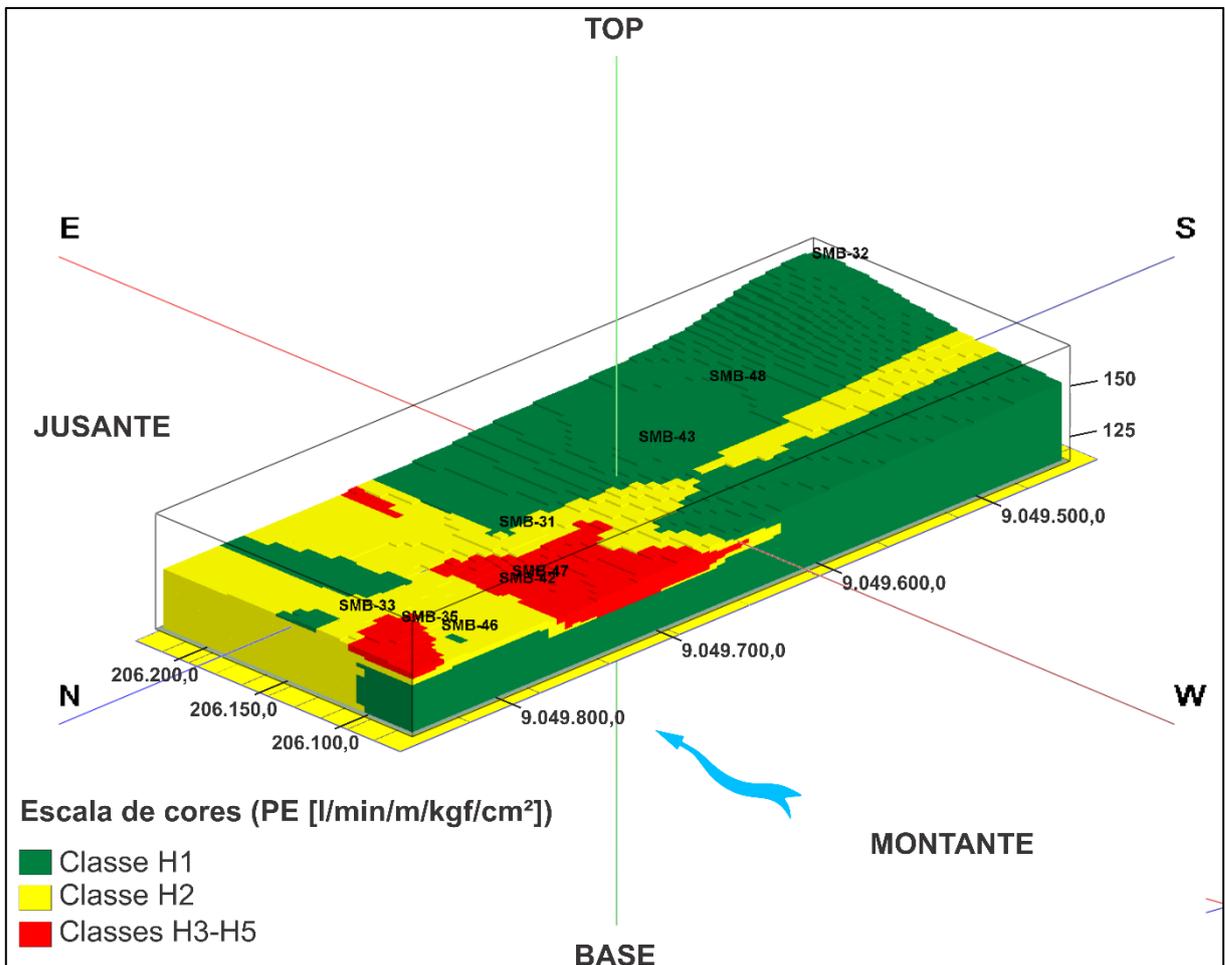
Fonte: SRHE (2011)

#### 5.2.2.4. Modelagem dos dados de condutividade hidráulica

Semelhantemente ao procedido com o parâmetro RQD, foi elaborada uma seção vertical que ilustra distribuição das classes de condutividade hidráulica ao longo da região de domínio do maciço granítico e indica de maneira mais precisa a forma e o posicionamento de suas zonas hidrogeotécnicas anômalas (**Figura 32**). Esta seção foi extraída a partir de um modelo tridimensional de blocos (*voxels*), como o exposto na **Figura 31**, construído a partir da interpolação dos valores de perda d'água específica. Para tanto, utilizou-se o mesmo método de interpolação empregado para a construção do modelo de variação do RQD. Dada a resolução dos dados, que

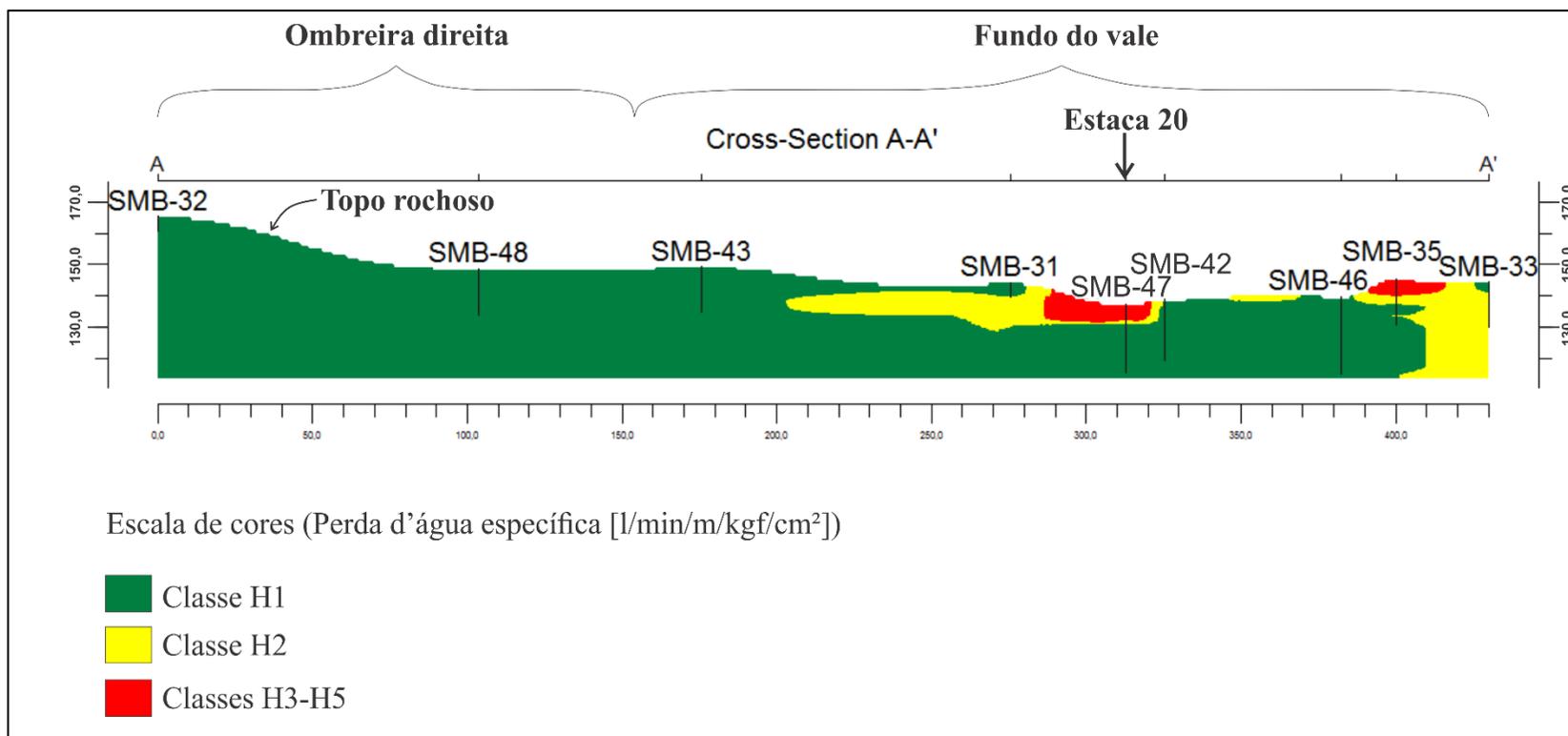
apresentam informações de perda d'água específica e condutividade a cada dois, três ou quatro metros dos furos de sondagem, verificou-se, durante a modelagem, que o tamanho de bloco mais apropriado à construção do modelo mais representativo das condições locais de condutividade é o de 5 m x 5 m x 1 m. Entretanto, dentre as seções verticais analisadas, a que apresentou melhor representatividade foi aquela extraída de um modelo com tamanho de bloco de 1 m x 1 m x 1 m (**Figura 32**). Tanto o modelo tridimensional quanto a seção gerada confirmam a predominância de condutividades hidráulicas muito baixas a baixas (classes H1 e H2) na região investigada. Por outro lado, as classes de condutividades hidráulicas médias a muito altas (H3, H4 e H5), associadas às zonas hidrogeotécnicas anômalas, ocorrem de maneira mais isolada nos trechos mais superficiais do maciço granítico, localizadas na região do fundo do vale próximas à calha do rio Una. Os resultados obtidos permitem a identificação no maciço de três compartimentos hidrogeotécnicos relacionados às classes H1, H2 e H3-H5. Desta forma, sob o ponto de vista hidrogeotécnico, este maciço é classificado como anisotrópico e heterogêneo.

**Figura 31.** Modelo tridimensional de blocos (*voxels*) da variação das classes de condutividade hidráulica na região de domínio do maciço granítico.



Fonte: o autor (2017)

**Figura 32.** Seção gerada a partir da interpolação dos valores de perda d'água específica obtidos a partir dos ensaios de perda d'água.



Fonte: o autor (2017)

#### 5.2.2.5. Características hidrogeotécnicas das injeções graníticas na ombreira esquerda

Os resultados dos quatorze ensaios de perda d'água realizados nas injeções graníticas na ombreira esquerda revelam a inexistência de ensaios nos quais se obteve a impermeabilidade de fato da rocha ensaiada ( $K=0$  cm/s ou 0 UL). Entretanto, mesmo localizadas numa região das fundações de maior estado de alteração e menor qualidade das rochas, de forma geral, os intervalos correlacionáveis ao maciço granítico exibiram boas condições de estanqueidade, com a predominância de valores na faixa 0-2 UL ( $0-1,99 \times 10^{-5}$  cm/s), condizentes com as características geológico-geotécnicas discutidas na **seção 5.1.1.5**. Todos os resultados se enquadraram nas classes de condutividade H1 (condutividade hidráulica muito baixa) ou H2 (condutividade hidráulica baixa). O valor médio de condutividade hidráulica calculado para as injeções foi de  $1,58 \times 10^{-5}$  cm/s, enquanto que os valores máximo e mínimo foram, respectivamente,  $2,60 \times 10^{-5}$  cm/s e  $3,90 \times 10^{-6}$  cm/s. Estas condições revelam que os matacões de rocha granítica, remanescentes dos processos de alteração na ombreira esquerda, ainda conservam as boas características de estanqueidade do maciço granítico.

#### 5.2.2.6. Comportamentos observados e condições das fraturas

As frequências relativas dos comportamentos identificados a partir da interpretação dos resultados dos ensaios de perda d'água realizados na região de domínio do maciço granítico estão apresentadas na **Tabela 26**. Na análise desta representação pode-se notar a elevada recorrência de resultados nos quais se obteve a impermeabilidade de fato deste maciço, correspondendo a 54% dos comportamentos observados (27 comportamentos de um total de 50), como já comentado no **tópico 5.2.2.1**. Dentre os comportamentos típicos identificados (ver **tópico 5.2.1.1**), ganham expressão: (1) o De deformação (da fissura) sem alteração (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo (Houlsby, 1976), perfazendo 20% dos resultados; e (2) o De deformação (da fissura) com fechamento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo com Preenchimento (Houlsby, 1976), totalizando 16% dos resultados. Estas informações significam que: (1) o maciço é impermeável à maior parte das cargas hidráulicas simuladas pelos ensaios de perda d'água e (2) que suas fraturas fechadas são deformadas (abertas) sem sofrerem alterações danosas à condutividade (lavagem ou dissolução), o que representa um ótimo indício da interação entre a água do reservatório formado e este maciço. Dentre as associações de comportamentos típicos identificadas (ver **tópico 5.2.1.2**), ganha evidência a De deformação (da fissura) sem alteração com Fluxo Turbulento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Turbulento (Houlsby, 1976), relativa a 6% dos resultados.

É notório que em 44% dos ensaios realizados neste maciço observou-se algum tipo de deformação de suas fissuras, sendo estas impermeáveis aos estágios de menor pressão de injeção (1° e 5° estágios). Esta estatística, adicionada à frequência de comportamentos impermeáveis, indica que, em 98% dos ensaios, as descontinuidades do maciço se encontraram fechadas em profundidade. Além disto, segundo os critérios apresentados por Quiñones-Rozo (2010) e expostos na **Tabela 16**, pode-se afirmar que a grande maioria dos resultados dos ensaios de perda d'água indicam que as descontinuidades do maciço se encontram muito apertadas ou apertadas em profundidade. Tal observação é coerente com o aumento da pressão litostática em profundidade.

**Tabela 26.** Frequências relativas dos comportamentos típicos e associações de comportamentos típicos observados na região de domínio do maciço granítico a partir dos ensaios de perda d'água.

		Porcentagem
Comportamentos típicos	Impermeável	54%
	De deformação (da fissura) sem alteração (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo (Houlsby, 1976)	20%
	De deformação (da fissura) com fechamento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo com Preenchimento (Houlsby, 1976)	16%
	De deformação (da fissura) com abertura (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo com Lavagem (Houlsby, 1976)	0%
	Vazão total	2%
Associações de comportamentos típicos	De deformação (da fissura) sem alteração com Fluxo Laminar (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Laminar (Houlsby, 1976)	2%
	De deformação (da fissura) sem alteração com Fluxo Turbulento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Turbulento (Houlsby, 1976)	6%
	De deformação (da fissura) com fechamento com Fluxo Turbulento (Oliveira, Silva e Júnior, 1975) ou Expansivo e Turbulento com Preenchimento (Houlsby, 1976)	0%

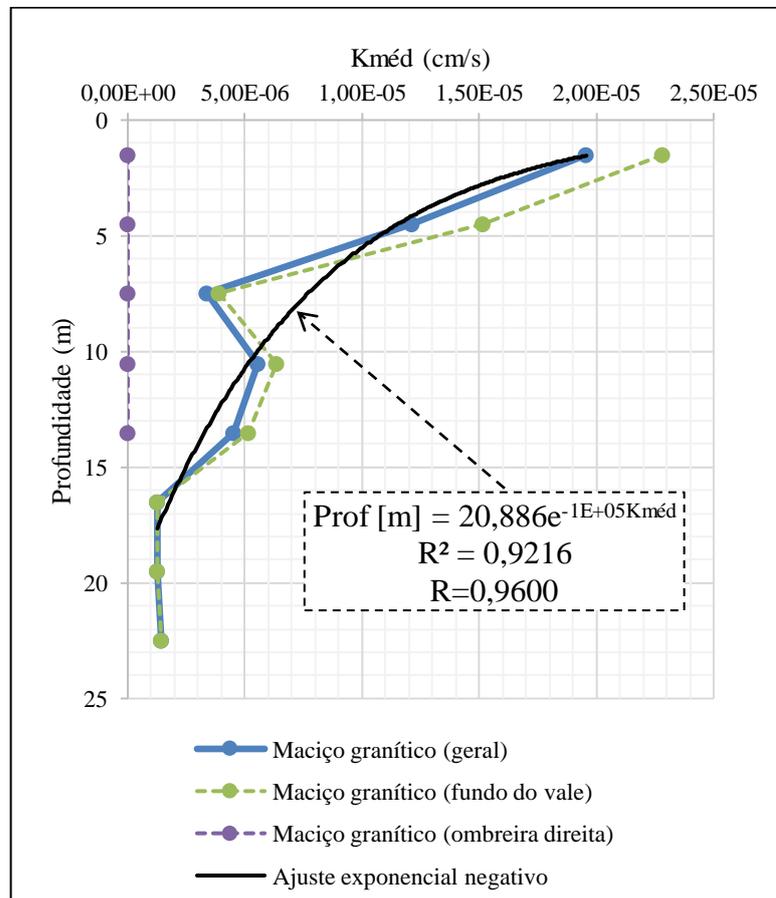
Fonte: o autor (2017)

#### 5.2.2.7. Estimativa dos valores médios de condutividade em profundidade

A variação dos valores médios de condutividade hidráulica estimados para cada nível de profundidade do maciço granítico está apresentada no **Gráfico 23**. Neste gráfico estão apontadas as curvas representativas da referida variação com relação ao maciço de uma forma geral no que diz respeito à sua região de domínio e de maneira discriminada para cada trecho abrangido por esta região (ombreira direita e fundo do vale). Obviamente, esta análise não faz sentido para as injeções graníticas existentes na ombreira esquerda. Os dados estão apresentados com referência ao ponto médio de cada trecho ensaiado (ex: condutividade do trecho de 0,00-3,00 m está referenciada com relação ao ponto 1,50 m).

A inspeção do gráfico apresentado demonstra uma relação coerente entre as duas variáveis analisadas, indicando que, de modo geral, um nível mais profundo no maciço está associado a um valor mais reduzido de condutividade hidráulica. A equação que relaciona estas duas informações através de um ajuste exponencial negativo está demonstrada no gráfico; sendo obtido, pela análise de regressão, um elevado coeficiente de correlação ( $R=0,96$ ). A relação observada entre as variáveis é concordante com o disposto na literatura (HAMM *et al.*, 2007), sendo interpretada como reflexo da redução das aberturas das fraturas em profundidade devido ao aumento da pressão litostática. Este cenário sugere que a influência das aberturas das fraturas neste maciço sobre a condutividade é mais acentuada que aquela exercida pela frequência das fraturas, pois condutividades hidráulicas moderadas podem ser observadas mesmo em trechos com elevada frequência de fraturas ou baixa porcentagem de RQD, revelando a existência de fraturas não condutivas. A análise do **Gráfico 23** reitera a ideia de que o maciço granítico possui suas melhores condições de estanqueidade na região da ombreira direita e indica a inexistência de zonas hidrogeotécnicas anômalas persistentes em profundidade, o que se mostra adequado com a segurança quanto aos problemas de estanqueidade para este tipo de empreendimento.

**Gráfico 23.** Variação da condutividade hidráulica média do maciço granítico com a profundidade em escala linear-linear.



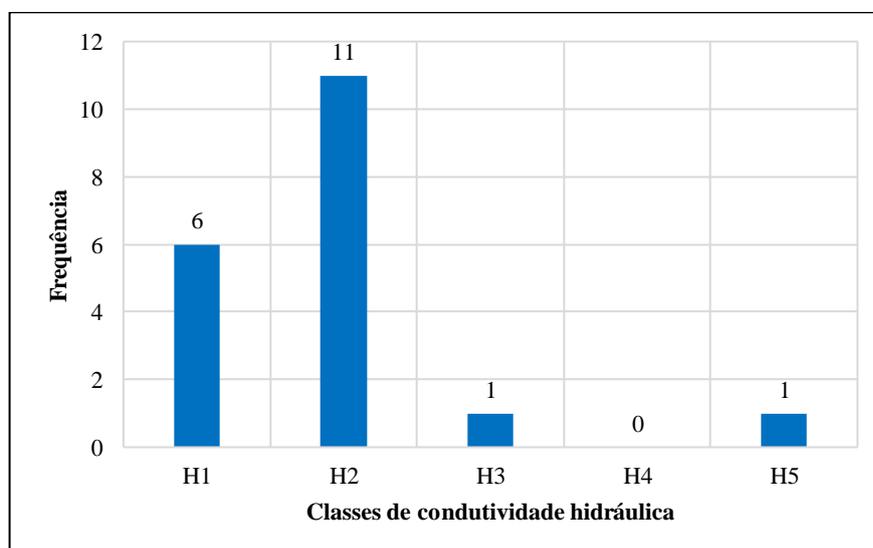
Fonte: o autor (2017)

### 5.2.3. Maciço gnáissico-migmatítico

Sobre as características hidrogeotécnicas do maciço gnáissico-migmatítico pouco pode-se discorrer a respeito, visto que, segundo interpretações deste trabalho, os ensaios de perda d'água disponíveis para análise foram procedidos em intervalos correlacionáveis ao mesmo. Desta forma, devido ao espesso manto de intemperismo que o recobre e à incerteza quanto ao seu relevo em subsuperfície, não se pode atestar que os resultados analisados guardam relação direta com este maciço propriamente dito. Neste sentido, grande parte das análises procedidas com relação ao maciço granítico dentro do contexto hidrogeotécnico, como o estudo da distribuição e da variação de seus valores de condutividade hidráulica com relação à profundidade, não puderam ser replicadas a este caso. Todavia, os ensaios aqui analisados e discutidos correspondem às únicas informações disponíveis para a realização desta investigação, sendo tratados como evidências indiretas das características hidrogeotécnicas do maciço gnáissico-migmatítico.

Os ensaios considerados foram conduzidos em nove furos de sondagem localizados nas regiões do fundo do vale (em número de cinco) e ombreira esquerda (em número de quatorze), sendo eles: SMB-3, SMB-4, SMB-28, SMB-29, SMB-30, SMB-34, SMB-37, SMB-41 e SMB-47. Como resultado, foram obtidas condutividades hidráulicas compatíveis com as classes H1 (condutividade hidráulica muito baixa), H2 (condutividade hidráulica baixa), H3 (condutividade hidráulica moderada) e H5 (condutividade hidráulica muito alta) cujas frequências absolutas estão apresentadas no **Gráfico 24**.

**Gráfico 24.** Distribuição das frequências absolutas das classes de condutividade hidráulica obtidas para os intervalos correlacionáveis ao maciço gnáissico-migmatítico (projeto básico).



Fonte: o autor (2017)

As informações disponíveis revelam que, no geral, as condutividades hidráulicas correlacionadas a este maciço são da ordem de  $10^{-5}$  cm/s ou inferiores. Os valores mínimo e máximo de condutividade na ombreira esquerda, que corresponde à região de domínio deste maciço, foram, respectivamente, 0 cm/s (0 UL) e  $7,56 \times 10^{-5}$  cm/s (7,39 UL). O primeiro valor foi obtido no trecho de 20,50-23,50 m do furo de sondagem SMB-41 e o segundo no trecho de 3,00-6,00 m do furo de sondagem SMB-30 (**Figura 33**). Destaca-se, ainda no furo de sondagem SMB-30, a ocorrência de condutividade hidráulica equivalente a  $6,11 \times 10^{-5}$  cm/s (6,65 UL) no trecho de 6,00-8,00 m. Neste furo, as condutividades de  $7,56 \times 10^{-5}$  cm/s e  $6,11 \times 10^{-5}$  cm/s estão associadas, respectivamente, aos graus de fraturamento F5 e F4. Entretanto, de modo geral, o valor de condutividade mais pronunciado corresponde a  $3,09 \times 10^{-4}$  cm/s (30,21 UL), sendo relativo ao trecho de 5,00-8,00 m do furo de sondagem SMB-47 localizado no fundo do vale.

**Figura 33.** Testemunhos da sondagem SMB-30 na qual foi obtido condutividades de  $7,46 \times 10^{-5}$  cm/s (7,39 UL) e  $6,03 \times 10^{-5}$  cm/s (6,65 UL), respectivamente, nos trechos de 3,00-6,00 m e 6,00-8,00 m.



Fonte: SRHE (2011)

### 5.3. Classificação geomecânica do maciço granítico de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos

Com base nas informações discutidas anteriormente classifica-se aqui o maciço granítico através da aplicação direta do sistema RMR nas sondagens realizadas em sua região de domínio. Os critérios empregados para a determinação das pontuações atribuídas a cada parâmetro considerado por este sistema estão discutidos abaixo. Os índices RMR foram calculados da maneira convencional com relação a cada manobra das sondagens consideradas. Para a melhor visualização dos resultados convencionou-se a escala de cores apresentada na

**Tabela 27.** A título de exemplo, as pontuações atribuídas às sondagens SMB-31 e SMB-32 estão apresentadas na **Tabela 28**. As classificações das demais sondagens podem ser conferidas no **Apêndice B**. Durante a classificação procedeu-se a completa integração das informações analisadas nas caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica. Por razões já discutidas (**tópicos 5.1.2 e 5.2.3**), não foi possível a classificação do maciço gnáissico-migmatítico.

**Tabela 27.** Escala de cores associada às classes de maciço rochoso do sistema RMR.

Classificação do maciço	Índice RMR	Cor
Muito bom	81-100	Blue
Bom	61-80	Green
Razoável	41-60	Yellow
Fraco	21-40	Red
Muito fraco	<20	Purple

Fonte: o autor (2017)

#### I. Resistência da rocha intacta

Durante a realização desta pesquisa não foi possível a execução do ensaio de compressão uniaxial ou do ensaio de compressão puntiforme (ensaio de carga puntual). Verificada esta limitação, estimou-se a resistência à compressão uniaxial da rocha intacta através dos critérios de análise expedita de campo (**Tabela 6**). Esta análise foi conduzida na região da ombreira direita, próximo ao pé de montante da barragem de CCR. Como resultado, a rocha se apresentou extremamente resistente ao impacto do martelo, refletindo em grande dificuldade para a produção de amostras. Desta forma, atribuiu-se ao maciço granítico são (grau de alteração A1) uma resistência à compressão uniaxial de 250 MPa. Fato este que promoveu pontuação máxima ao mesmo, equivalente a quinze pontos. Nos trechos nos quais este maciço apresentou grau de alteração A2 conferiu-se uma redução em sua resistência à compressão enquadrando-a na faixa 100-250 MPa, o que representa a degradação de suas propriedades mecânicas em função de sua alteração. Neste caso, atribuiu-se ao maciço uma pontuação de doze pontos. Nas regiões consideradas nesta classificação geomecânica não foram encontrados intervalos com grau de alteração superior a A2.

#### II. RQD

Foram considerados os valores de RQD definidos para cada manobra, sem qualquer tipo de alteração, pois este parâmetro foi determinado da maneira adequada, com relação a testemunhos de diâmetro NX, amostrados por meio de barrilete duplo móvel. Os valores de

RQD variaram desde valores inferiores a 25%, associados às porções do maciço de qualidade muito pobre (classe R5), conferindo ao mesmo pontuação mínima quanto a este parâmetro (cinco pontos); a valores inseridos na faixa 90-100%, associados às porções do maciço de qualidade boa a excelente (classes R2 e R1), atribuindo ao maciço pontuação máxima (vinte pontos).

### III. Espaçamento das fraturas

O espaçamento médio entre as fraturas de cada manobra foi definido com base na análise do registro fotográfico dos testemunhos de sondagem, sendo utilizadas para tanto as devidas transformações de escala. Os espaçamentos variaram desde espaçamentos inferiores a sessenta milímetros, atribuindo pontuação mínima ao maciço quanto a este critério (cinco pontos), a espaçamentos maiores que dois metros, conferindo pontuação máxima ao mesmo (vinte pontos). Este último, representativo das manobras com ausência de fraturas.

### IV. Condições das fraturas

Além dos critérios explicitados abaixo, a caracterização das condições das fraturas deste maciço foi orientada pelo docente responsável por esta pesquisa, que teve acesso direto aos testemunhos de sondagem.

#### i. Persistência

Em função da configuração geológica observada tanto na etapa de campo como no registro fotográfico das escavações das fundações da barragem, considerou-se como razoável a adoção de uma persistência muito alta (>20 m) para as fraturas interceptadas pelas sondagens aqui classificadas. Este pressuposto conferiu ao maciço pontuação nula quanto a esta característica.

#### ii. Abertura

A abertura das discontinuidades foi classificada com base nos resultados dos ensaios de perda d'água. Aqueles trechos ensaiados nos quais se obteve impermeabilidade de fato do maciço granítico ou um comportamento de deformação de suas fissuras tiveram suas fraturas classificadas como fechadas, conferindo seis pontos (máxima pontuação) ao maciço quanto a este critério. Nos casos em que se obteve um comportamento de 'vazão total' ou que não se dispunha de resultados de ensaios de perda d'água atribuiu-se uma abertura de 1-5 mm às fraturas, dada a identificação do predomínio de fraturas parcialmente abertas a abertas nas

porções superficiais (0,00-6,00 m) do maciço granítico, identificadas durante as caracterizações geológico-geotécnica e hidrogeotécnica. A adoção deste *range* de abertura conferiu ao maciço uma pontuação equivalente a um ponto quanto a este critério.

### iii. Rugosidade

A definição da rugosidade das paredes das discontinuidades foi realizada com base na análise da regularidade de suas superfícies. As classificações variaram desde superfícies rugosas, quando menos regulares, atribuindo pontuação equivalente a cinco pontos ao maciço; a superfícies lisas, quando mais regulares, conferindo pontuação equivalente a um ponto ao mesmo.

### iv. Preenchimento

Verificou-se a ausência de preenchimento das discontinuidades, sendo atribuída pontuação máxima ao maciço quanto a este parâmetro, equivalente a seis pontos.

### v. Alteração

As classificações das discontinuidades quanto a este parâmetro variaram desde a inexistência de alteração, atribuindo pontuação máxima ao maciço (seis pontos), à ocorrência de uma alteração moderada, revelada por pequenas modificações na coloração de suas paredes, conferindo três pontos ao mesmo.

## V. Água subterrânea

Foram considerados os níveis de água subterrânea informados nos boletins de sondagem. Aqueles trechos localizados acima do nível d'água foram classificados como secos, atribuindo pontuação máxima ao maciço, equivalente a quinze pontos. Aqueles trechos localizados abaixo do nível d'água foram classificados como umedecidos, pois em nenhum ensaio de perda d'água obteve-se vazão superior a 10 l/min, conferindo ao maciço dez pontos.

## VI. Orientação das discontinuidades

Como as discontinuidades do maciço encontram-se horizontalizadas, pode-se inferir que a influência do mergulho das discontinuidades na estabilidade das fundações, em função dos critérios apontados na **Tabela 13**, é muito favorável. Portanto, quanto a este critério, atribuiu-se pontuação nula ao maciço.

**Tabela 28.** Índices RMR atribuídos às manobras das sondagens SMB-31 e SMB-32.

Sondagem		SMB-31					SMB-32			
Trecho/Manobra		3,00-4,50	4,50-5,00	5,00-6,00	6,00-7,50	7,50-8,00	0,20-0,85	0,85-2,35	2,35-3,95	3,95-5,20
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	12	15	15	15
RQD		13	20	20	20	20	8	20	20	20
Espaçamento das fraturas		10	20	10	15	20	8	10	15	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	1	1	1	6
	Rugosidade	5	5	5	5	6	6	5	3	5
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	5	5	5	6	3	5	5	5
Água subterrânea		10	10	10	10	10	15	15	15	15
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		68	87	77	82	89	59	77	80	87

Fonte: o autor (2017)

Em aproximadamente 46% das situações (49 casos de um total de 106 manobras classificadas) o maciço granítico foi classificado como de boa qualidade, ocorrendo, em cinquenta e um casos, intervalos com maciço de qualidade muito boa, o que perfaz cerca de 48% dos resultados. Em contrapartida, em seis manobras, o maciço possui qualidade razoável, totalizando 6% das classificações.

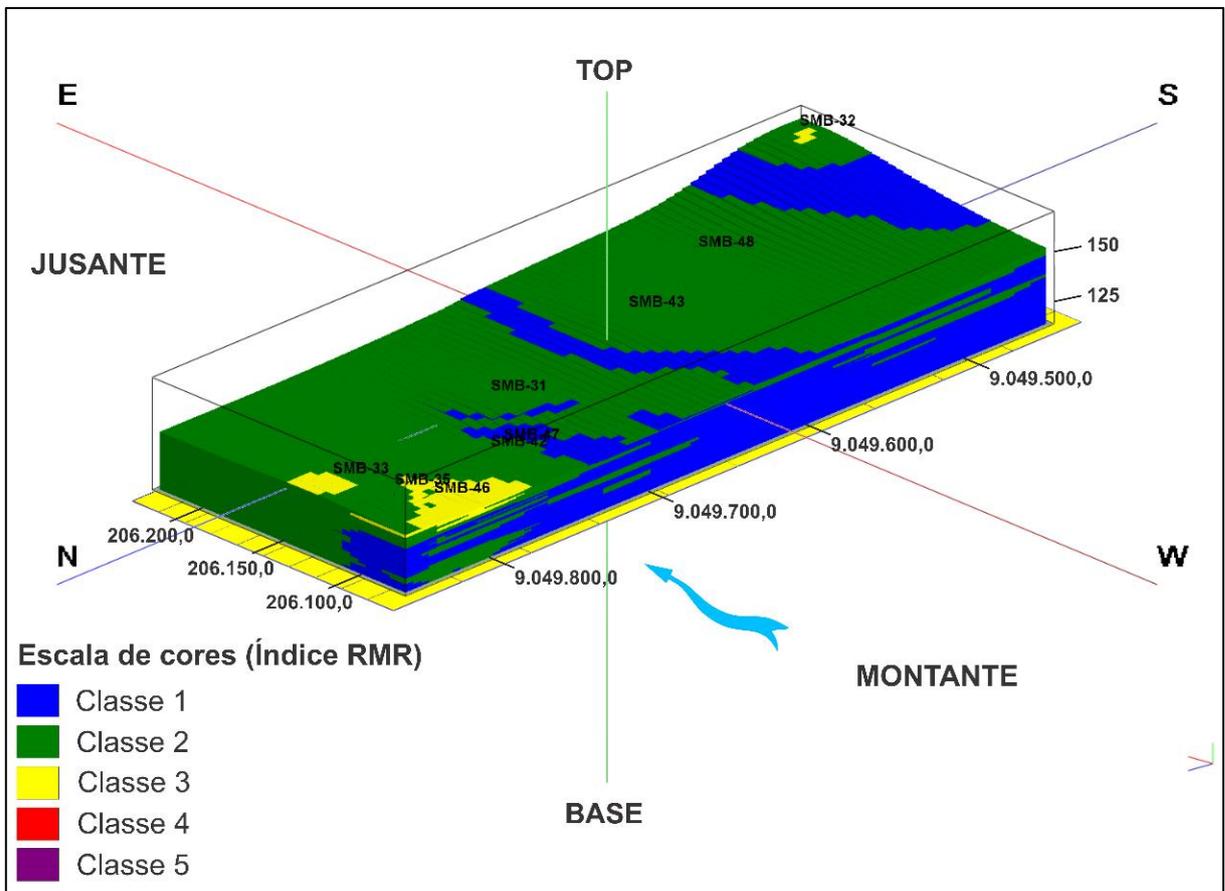
Em função das diretrizes apresentadas por Romana (2003a) com base no trabalho de Zeballos e Soriano (1993) e apresentadas na **Tabela 2**, pode-se concluir que todas as manobras classificadas indicaram a existência de condições geomecânicas apropriadas à um projeto de barramento em termos das solicitações de deformabilidade. Contudo, os trechos de qualidade razoável possuem índices RMR próximos ao limite inferior de segurança utilizado por este critério para a indicação da ocorrência de um funcionamento normal da barragem (RMR=50). Desta maneira, considera-se como prudente a classificação destas regiões como desfavoráveis ao suporte de estruturas de concreto, sendo estas associadas à existência de zonas geomecânicas anômalas. Para tanto, indica-se ainda o seu tratamento, seja por meio de injeções que visem a melhoria de suas propriedades mecânicas ou por sua remoção/escavação.

### 5.3.1. Modelagem dos índices RMR

Da mesma forma como realizado anteriormente com os parâmetros RQD e perda d'água específica, foi elaborada uma seção vertical que ilustra a distribuição das classes de maciço

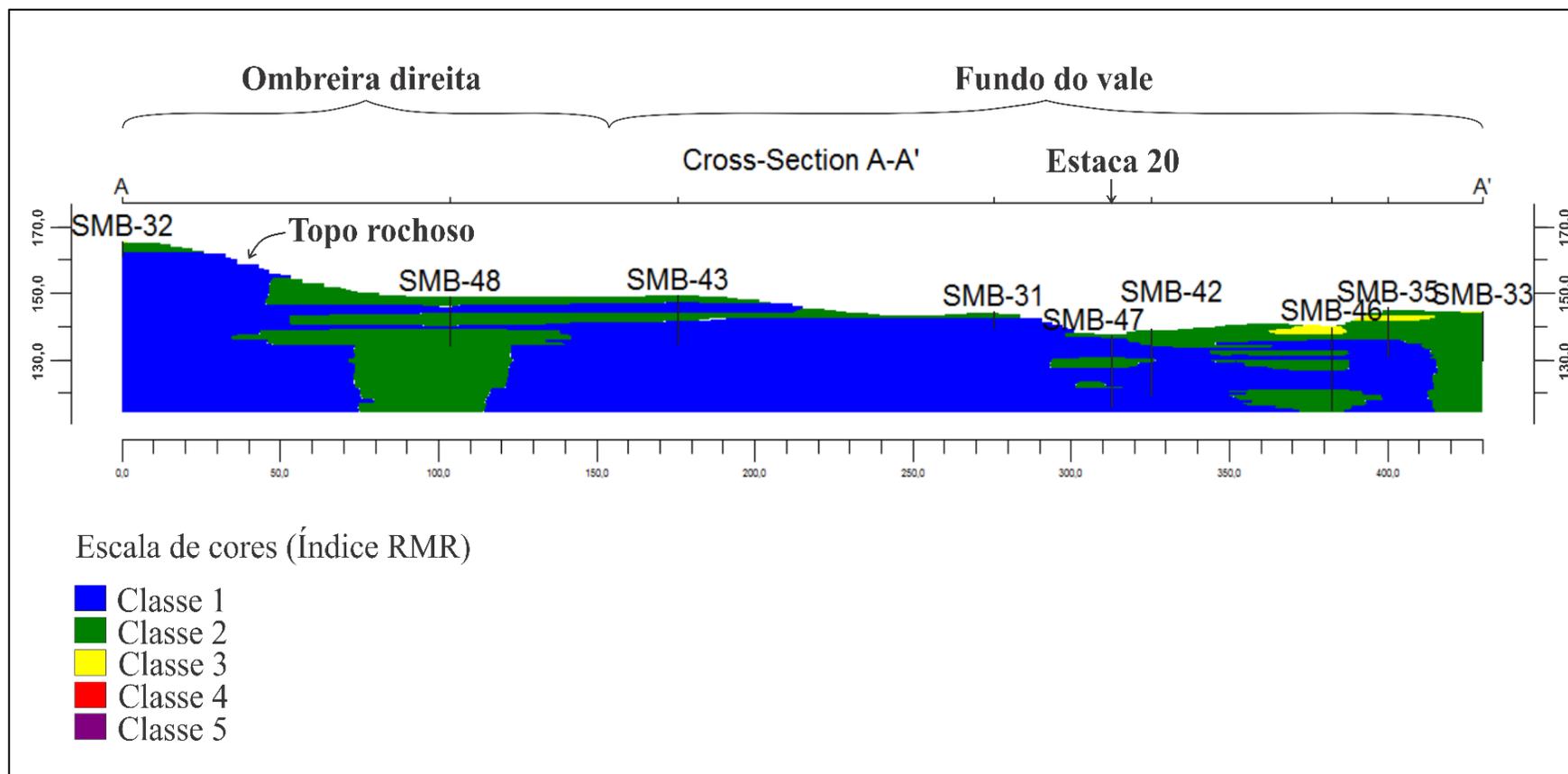
rochoso em função dos índices RMR e indica de maneira mais precisa a forma e o posicionamento das zonas geomecânicas anômalas (**Figura 35**). Esta seção foi extraída a partir de um modelo tridimensional de blocos (*voxels*), exposto na **Figura 34** e construído a partir da interpolação dos índices RMR calculados para cada manobra classificada. Este modelo é baseado no mesmo método de interpolação empregado para a construção dos modelos anteriores. Dada a resolução dos dados, que apresentam informações de índice RMR com relação a trechos de comprimentos que podem ser referenciados à fração de metro, verificou-se que o tamanho de *voxel* mais apropriado ao processo é o de 5 m x 5 m x 0,1 m. Tanto o modelo tridimensional quanto a seção gerada confirmam a predominância de classes de qualidade boa a muito boa (classes 2 e 1) que podem ocorrer de maneira intercalada em profundidade. As classes de qualidade razoável (classe 3) ocorrem de maneira mais isolada nos trechos mais superficiais do maciço granítico e indicam que as zonas geomecânicas anômalas se encontram localizadas na região do fundo do vale, próximas à calha do rio Una.

**Figura 34.** Modelo tridimensional de blocos da variação de classes de maciço rochosos de acordo com o índice RMR na região de domínio do maciço granítico.



Fonte: o autor (2017)

**Figura 35.** Seção gerada a partir da interpolação dos índices RMR definidos para a região de domínio do maciço granítico.

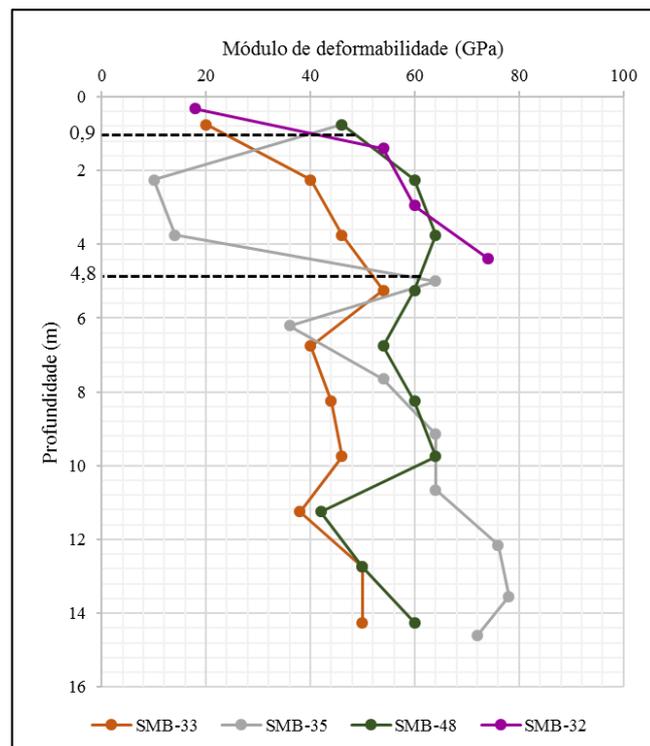


Fonte: o autor (2017)

### 5.3.2. Estimativa dos módulos de deformabilidade do maciço granítico em profundidade e avaliação de sua adequabilidade quanto aos problemas de deformabilidade

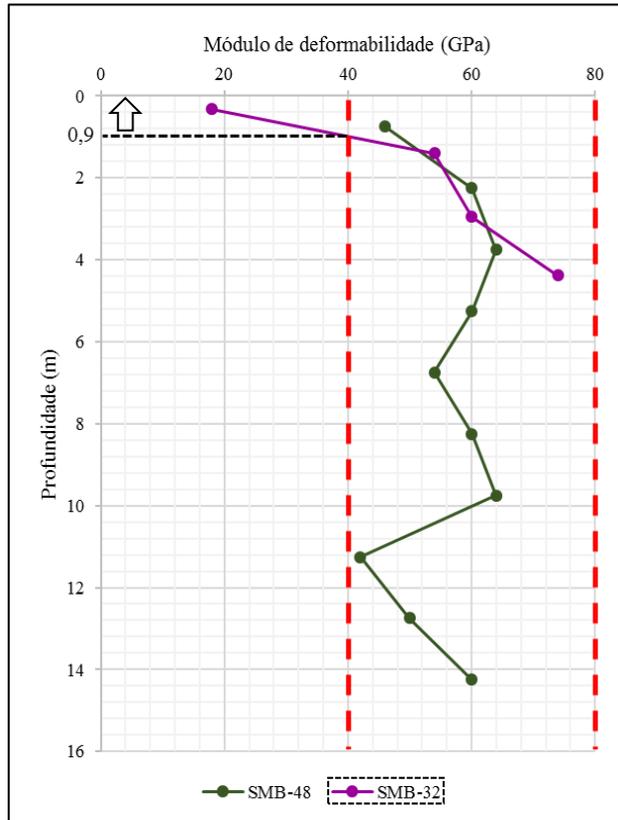
Como os índices RMR calculados para o maciço granítico em sua região de domínio foram todos superiores a cinquenta pontos, aplicou-se então a fórmula proposta por Bieniawski (1978) para o cálculo dos módulos de deformabilidade. Para fins de exemplificação da variação deste parâmetro geomecânico foram utilizadas como referências, para a ombreira direita, as sondagens SMB-32 e SMB-48, e para o fundo do vale, as sondagens SMB-33 e SMB-35 (**Gráfico 25**). Estes furos estão associados aos extremos direito e esquerdo da região de domínio deste maciço e ilustram a discrepância de suas condições de suporte com relação aos seus trechos superficiais. Nesta representação é possível observar que a ombreira direita, de modo geral, após trecho inicial de má qualidade da sondagem SMB-32, com  $E < 20$  GPa, possui melhores condições de deformabilidade no que se refere ao intervalo superficial de 0,90-4,80 m. Após os níveis superficiais (0,00-5,00 m), de modo geral, os módulos de deformabilidade estimados para este maciço demonstram forte restrição em profundidade à faixa de valores de 40-80 GPa (**Gráfico 26** e **Gráfico 27**), compatível com aqueles valores fornecidos por Costa (2012) para as rochas graníticas (**Tabela 1**). As informações dos módulos de deformabilidade em todos os gráficos apresentados estão dispostas com respeito ao ponto médio de cada trecho classificado.

**Gráfico 25.** Variação do módulo de deformabilidade (E) do maciço granítico com relação à profundidade para sondagens representativas da ombreira direita e fundo do vale.



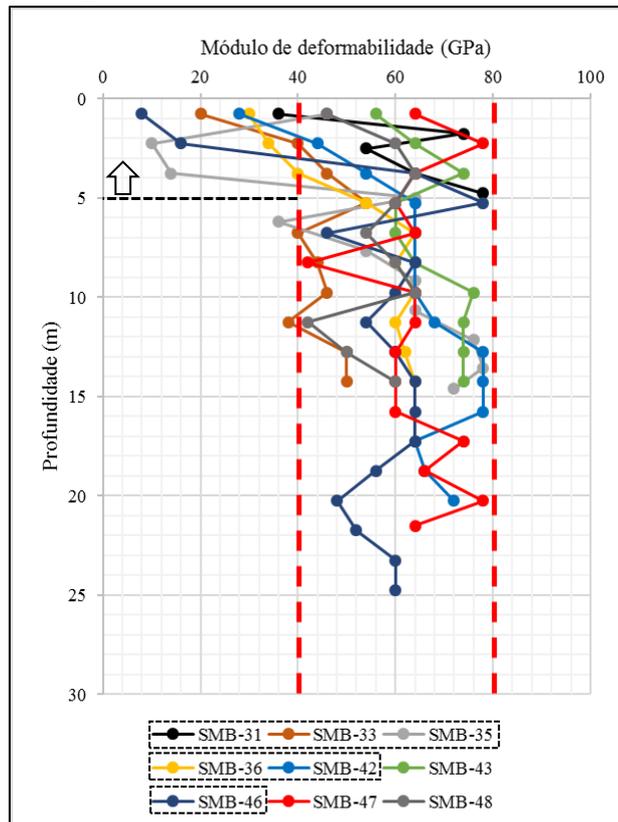
Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 26.** Módulos de deformabilidade (E) estimados para o maciço granítico com relação à profundidade na região da ombreira direita.



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 27.** Módulos de deformabilidade (E) estimados para o maciço granítico com relação à profundidade na região do fundo do vale.



Fonte: o autor (2017)

Com base no trabalho de Romana (2003a) que aponta a ampla variação dos módulos de deformabilidade como um fator de risco à normal operação das barragens quanto aos problemas de deformabilidade, utilizou-se como referência a faixa de valores de 40-80 GPa para a obtenção de condições adequadas de suporte quanto à solução de concreto. Desta feita, identifica-se como inadequados aqueles trechos inseridos até uma profundidade aproximada de 0,90 m para a ombreira direita e 5,00 m para o fundo do vale. Adicionalmente, sob esta perspectiva, devem receber tratamento, de preferência através de escavações no mínimo até as profundidades indicadas, objetivando o alcance de níveis do maciço de maior resistência. As profundidades mencionadas, em conjunto com as sondagens que forneceram os dados aqui interpretados como inapropriados, estão indicados no **Gráfico 26** e no **Gráfico 27**.

Com base nos critérios estabelecidos por Rocha (1976) e expostos por Romana (2003a, 2003b) a respeito da relação  $E_c/E_m$  e sua influência no desempenho de uma barragem de concreto com relação aos problemas de deformabilidade, os valores dos módulos de deformabilidade estimados para o maciço granítico em sua região de domínio mostraram-se adequados para o assentamento da barragem em CCR. Todas as razões  $E_c/E_m$ , calculadas utilizando-se  $E_{CCRméd} = 20$  GPa, foram bastante inferiores a 8, resultando em um funcionamento normal da barragem. A título de exemplo, a **Tabela 29** exhibe os módulos de deformabilidade e razões  $E_c/E_m$  estimados para a sondagem SMB-32. A apresentação destas mesmas informações com relação às outras sondagens investigadas está disposta no **Apêndice C**. Além disto, acerca das indicações de Marques Filho e Geraldo (1998) quanto à alternativa tecnológica de concreto mais apropriada às condições de deformabilidade das fundações, organizadas por Souza (2013) e reveladas na **Tabela 18**, os módulos de deformabilidade do maciço granítico também se revelaram compatíveis com a edificação de uma barragem de CCR do tipo concreto-gravidade, visto que, em sua maioria, são superiores a 40 GPa.

**Tabela 29.** Módulos de deformabilidade e razões  $E_c/E_m$  estimados com relação à sondagem SMB-32 localizada na ombreira direita da barragem.

Sondagem SMB-32			
Trecho	Índice RMR	Módulo de deformabilidade (GPa)	$E_c/E_m$
0,20-0,85	59	18	1,11
0,85-2,35	77	54	0,37
2,35-3,95	80	60	0,33
3,95-5,20	87	74	0,27

Fonte: o autor (2017)

#### 5.4. Análise da relação entre os valores de RQD e condutividade hidráulica

Nesta seção será dada continuidade às análises comentadas no **tópico 2.5.1** no intuito de adicionar mais dados à literatura existente e contribuir para o entendimento mais aprofundado da relação entre os valores de RQD e condutividade hidráulica (K).

Durante o processo de estabelecimento da correlação entre estes dois parâmetros encontrou-se algumas dificuldades, dentre as quais se destacam:

- Variações, em algumas perfurações, dos comprimentos das manobras e a não indicação de maneira expressa de seus valores. Nestes casos, suas extensões foram determinadas com base na análise visual, já que os comprimentos dos avanços estão indicados em escala, em seus valores de recuperação e de RQD, e, por fim, na contraposição destas informações com as interpretações do registro fotográfico dos testemunhos. Neste processo, foram obtidos resultados satisfatórios, sendo constatado que na grande maioria das situações o comprimento das manobras foi de 1,5 m.
- Incompatibilidade entre as extensões dos trechos nos quais foram realizados os ensaios de perda d'água e os comprimentos das manobras, utilizados como referência para determinação do RQD. Da percepção da diferença entre as resoluções espaciais das variáveis derivaram três alternativas:
  - i. Possibilidade de recalcular um novo valor de RQD, aqui denominado de RQD equivalente ( $RQD_{eq}$ ), para que os trechos analisados se tornassem compatíveis.
  - ii. Possibilidade de computar um novo valor de RQD, aqui denominado de RQD real ( $RQD_{real}$ ), para que as informações analisadas se tornassem comparáveis.
  - iii. Necessidade de extrapolação dos valores de RQD de forma que fosse possível o estabelecimento do paralelo entre as informações. Este processo deu origem a um novo valor de RQD, aqui denominado de RQD aproximado ( $RQD_{aprox}$ ).

Verificada estas limitações dos dados, propôs-se para o cálculo do valor do  $RQD_{eq}$  a expressão matemática abaixo, aplicável aos trechos em que os limites do trecho de interesse (trecho de realização do ensaio de perda d'água) e os limites das manobras coincidem (**Figura 36**).

$$RQD_{eq} = \frac{avanço_1 \times RQD_1 + avanço_2 \times RQD_2 + \dots + avanço_n \times RQD_n}{avanço\ total} \quad \text{Eq. 17}$$

Onde,

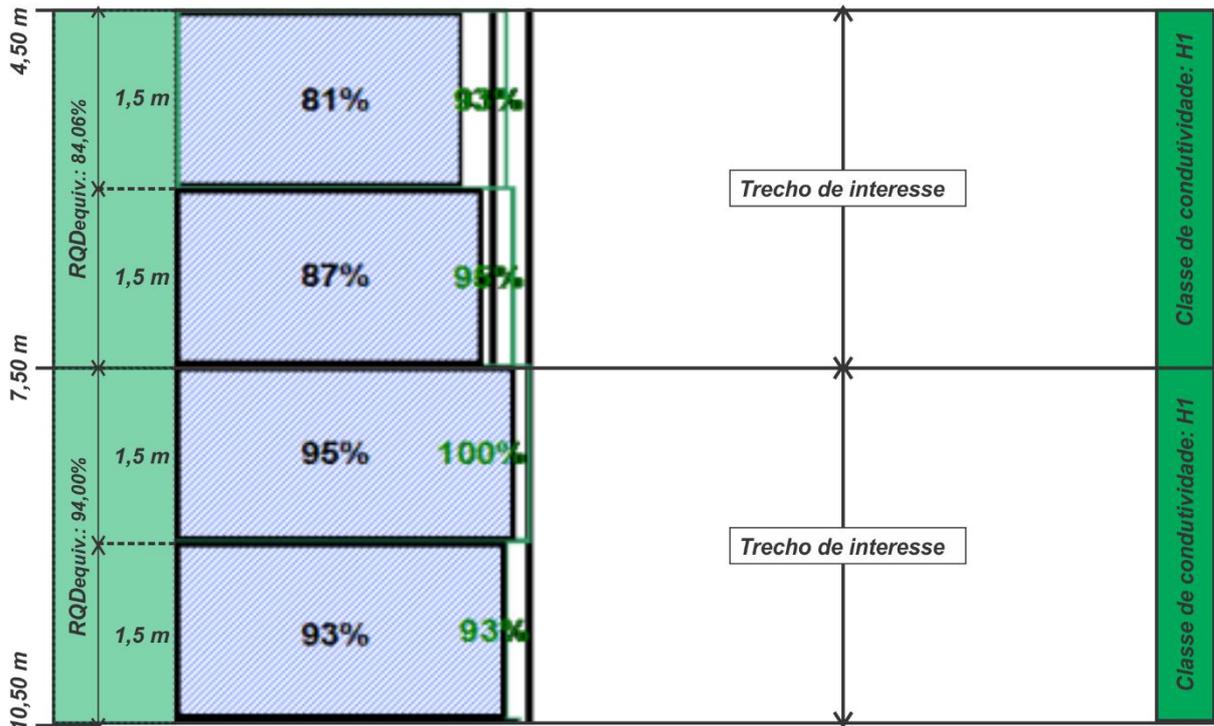
$n$ : é o número de manobras inseridas no trecho de interesse

$avanço_n$ : é o avanço relativo à manobra de ordem  $n$

$RQD_n$ : é o valor de RQD para a manobra de ordem  $n$

$avanço\ total$ : é a soma de todos os avanços das  $n$  manobras consideradas. Corresponde ao comprimento do trecho de interesse.

**Figura 36.** Trecho da sondagem SMB-42 no qual os limites das manobras coincidem com os limites do trecho de interesse, sendo possível o cálculo do RQD equivalente (RQDeq).



Fonte: modificado da SRHE (2011)

O computo do  $RQD_{real}$  baseou-se na análise do registro fotográfico das sondagens investigadas, utilizando-se, para tanto, as devidas transformações de escala, semelhantemente ao procedido na classificação geomecânica do maciço granítico (seção 5.3). Em sua determinação foram procedidas averiguações quanto aos comprimentos dos fragmentos de testemunho preservados com relação às porcentagens de recuperação e de RQD e às extensões das manobras, com fins à correta obtenção deste parâmetro. A aplicação deste procedimento foi possível apenas aos seguintes casos: (1) aos trechos de interesse cujos limites estão inseridos em manobras de boa percentagem de recuperação ( $\geq 83\%$ ) nas quais pôde-se identificar a posição de sua zona de fraqueza, relacionada à redução da taxa de recuperação; ou ainda, (2) àqueles trechos que possuem um de seus limites coincidente com o limite de uma manobra e o outro limite condizente com o primeiro requisito. A primeira condição está exemplificada na sondagem SMB-35 pelos trechos 7,60-10,60 m e 10,60-13,60 m, enquanto a segunda pelos

trechos 1,60-4,60 e 13,60-16,60 m (**Figura 37**). É relevante destacar que o  $RQD_{eq}$  e o  $RQD_{real}$  são matematicamente análogos, proporcionando, quando possível, a aplicação da expressão matemática proposta ao  $RQD_{eq}$ , uma maior agilidade a este processo.

**Figura 37.** Caixas de testemunhos da sondagem SMB-35 com as indicações das medições dos comprimentos dos fragmentos de testemunho e dos limites ausentes das manobras (em verde) e trechos de interesse (em azul), exemplificativas dos procedimentos realizados durante a determinação do RQD real ( $RQD_{real}$ ). Os círculos vermelhos indicam as fraturas.



Fonte: modificado da SRHE (2011)

A concepção do  $RQD_{aprox}$  foi proposta aos casos em que não é possível a aplicação dos procedimentos anteriores. Para seu cálculo propôs-se expressão semelhante à do  $RQD_{eq}$ , mas que difere por incorporar informações de manobras que extrapolam os limites do trecho de interesse, podendo ser dado pela expressão matemática abaixo. Sua aplicação em todo o conjunto de dados foi necessária apenas em duas ocasiões, relacionadas à uma única manobra e expostas na **Figura 38**.

$$RQD_{aprox} = \frac{\text{avanço inserido} \times RQD + \sum \text{fragmentos} \geq 10 \text{ cm}}{\text{avanço total}} \quad \text{Eq. 18}$$

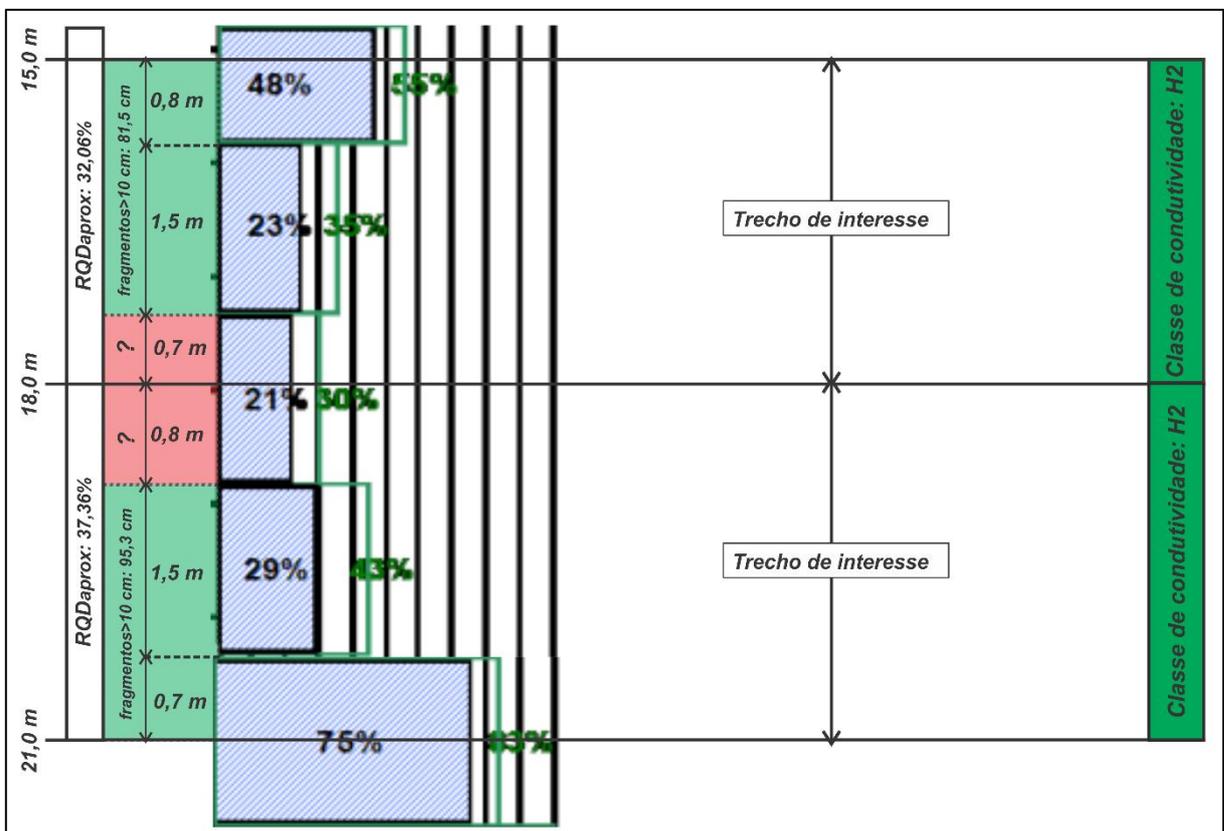
Onde,

*avanço inserido*: é a fração do comprimento da manobra que extrapola os limites do trecho de interesse.

*RQD*: é o valor de RQD para a manobra que extrapola os limites do trecho de interesse.

$\sum \text{fragmentos} \geq 10 \text{ cm}$ : é o somatório de todos os fragmentos de testemunho iguais ou superiores a dez centímetros.

**Figura 38.** Dois únicos casos em que foi necessário o cálculo do RQD aproximado ( $RQD_{aprox}$ ), relacionados ao furo de sondagem SMB-40. As regiões verdes correspondem aos trechos em que foi possível a determinação do RQD real enquanto as vermelhas indicam a necessidade do uso do  $RQD_{aprox}$ . À direita estão indicadas as classes de condutividade hidráulica.



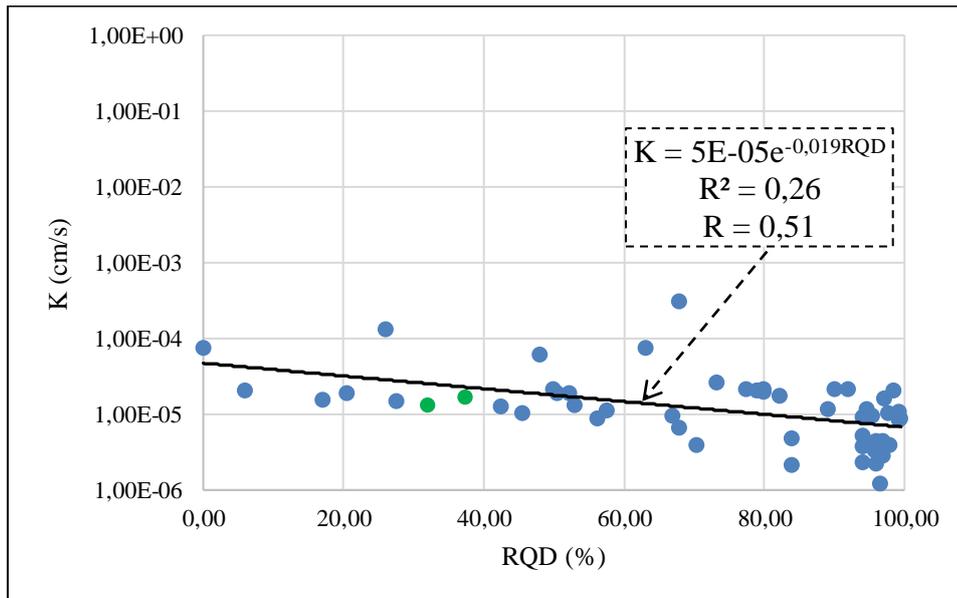
Fonte: SRHE (2011)

Os conceitos acima propostos estão fundamentados na ideia da representação dos valores de RQD na condição de perfuração ideal para esta análise, ou seja, quando a perfuração do trecho de interesse se dá através de uma única manobra. Nesta situação hipotética, seria possível o estabelecimento do paralelo entre os parâmetros analisados sem a necessidade da execução dos procedimentos aqui propostos e pormenorizados.

Desta maneira, discutidos todos os pormenores do processo de compatibilização das informações, os resultados iniciais da análise de correlação entre os valores de RQD ( $RQD_{eq}$ ,  $RQD_{aprox}$  e  $RQD_{real}$ ) e condutividade hidráulica estão expostos no **Gráfico 28**. Para a elaboração deste gráfico de dispersão foram analisados oitenta e um pares de valores (RQD, K), o que inclui aqueles ensaios realizados na ombreira esquerda, dos quais os pares com valores nulos de condutividade não foram utilizados, restando cinquenta e três pares. Desta forma, nesta primeira abordagem, foram desconsiderados os casos em que as fraturas se mostraram não condutivas ( $RQD < 100\%$  e  $K = 0$  cm/s). Este procedimento foi adotado, pois permitiu uma melhor correlação entre as variáveis investigadas. A análise da referida representação (**Gráfico 28**) revela um comportamento esperado para os dados no qual um incremento no valor do RQD, o que representa a diminuição do grau de fraturamento do maciço, resulta em uma redução no valor da condutividade hidráulica. Todavia, os dados possuem ainda elevada dispersão, sendo observado, através de um ajuste exponencial negativo, um reduzido coeficiente de correlação ( $R = 0,55$ ). Desta maneira, em um segundo passo, assim como em Jiang *et al.* (2009), foi estabelecida a correlação entre os valores médios de RQD e condutividade hidráulica estimados por média aritmética para cada nível de profundidade ou recobrimento. Neste sentido, a aplicação desta metodologia tornou-se possível apenas aos dados relativos à região de domínio do maciço granítico, onde se dispõe de suficiente confiabilidade a respeito do comportamento deste maciço em profundidade. A correlação obtida está exposta no **Gráfico 29** e resultou em um significativo aumento do coeficiente de correlação ( $R = 0,99$ ), corroborando com a ideia de que é mais preciso obter-se uma estimativa do valor médio de condutividade a partir do valor médio de RQD para determinado nível de profundidade do maciço. Entretanto, os valores médios de RQD nesta análise estão restritos à faixa 55,00%-97,00%, o que limita a correlação estabelecida. Esta segunda abordagem revela que é mais provável que a condutividade associada a um determinado valor de RQD na região de domínio do maciço granítico seja próximo daquele estimado através da equação revelada no **Gráfico 29** (1) ou ainda que esta

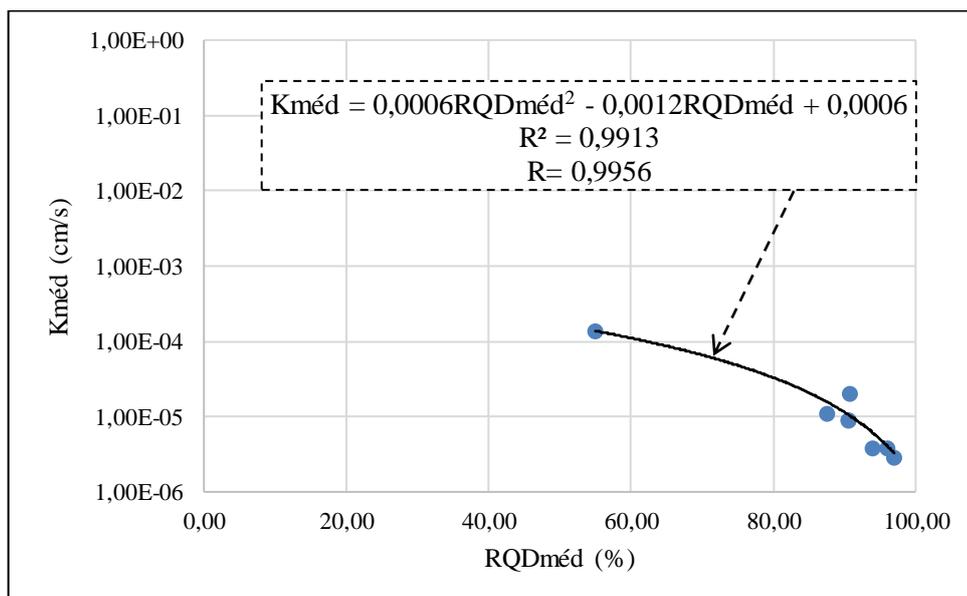
seja nula (2), visto que os valores nulos de condutividade ou as fraturas não condutivas não foram utilizados nesta última análise.

**Gráfico 28.** Correlação entre os valores de condutividade hidráulica e RQD relativos ao projeto básico da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos. Pontos verdes indicam os dados que utilizam o conceito do  $RQD_{aprox}$  e revelam sua adequada concordância com a tendência geral observada para o conjunto de dados.



Fonte: o autor (2017)

**Gráfico 29.** Correlação entre os valores médios de condutividade hidráulica e RQD ( $RQD_{eq}$  e  $RQD_{real}$ ) relativos ao projeto básico da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos.



Fonte: o autor (2017)

### 5.5. Condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas, suas principais influências e análise da investigação geológica

Através deste estudo as três principais condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas identificadas nas fundações da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos que influenciaram seu projeto de maneira significativa foram:

- i. A elevada frequência das fraturas de alívio nas porções superficiais (0,00-9,00 m) do maciço granítico em sua região de domínio, especificamente, no trecho do fundo do vale. Refletida nos seguintes produtos deste trabalho:
  - Matrizes de distribuição das frequências relativas das classes de RQD em profundidade ao longo da região de domínio do maciço granítico e do fundo do vale (**Tabela 20 e Tabela 22**).
  - Modelos tridimensionais de blocos (*voxels*) da variação das classes de maciço rochoso referentes ao parâmetro geotécnico RQD e aos índices RMR com relação à região de domínio do maciço granítico (**Figura 17 e Figura 34**), assim como em suas respectivas seções verticais (**Figura 19 e Figura 35**).
- ii. A existência de condutividades hidráulicas da ordem de 1 UL ou aproximadamente  $9,92 \times 10^{-6}$  cm/s ( $\sim 1 \times 10^{-5}$  cm/s) até um nível de profundidade/recobrimento (D) de quinze metros com relação ao topo do maciço granítico, reveladas através dos seguintes elementos desta pesquisa:
  - Matrizes de distribuição das frequências relativas das faixas de valores de condutividade hidráulica (expressos em unidades Lugeon) em profundidade obtidos para a região de domínio do maciço granítico e para o fundo do vale (**Tabela 23 e Tabela 25**).
  - Modelo tridimensional de blocos (*voxels*) e seção vertical da variação das classes de condutividade hidráulica ao longo da região de domínio do maciço granítico (**Figura 31 e Figura 32**).
- iii. Acentuada complexidade geológica relativa à região da ombreira esquerda, reflexo da ocorrência de espesso manto de intemperismo e matações de grandes dimensões nele imersos.

No tocante às influências mais significativas das condicionantes acima enumeradas quanto ao projeto do barramento, destacam-se:

- i. A primeira condicionante implicou na execução de um engaste na fundação da barragem de concreto CCR (**Figura 39**). Esta solução referida como ‘chaveta’ se estende ao longo de toda a ombreira direita e fundo do vale, onde foi construída a alternativa em CCR, segundo indica a planta S0840E01-1-A15-DEX-0001-0, relativa ao projeto executivo do empreendimento (**Figura 40**). Sua função primária é o incremento da estabilidade do empreendimento quanto ao rompimento por deslizamento (aspecto não investigado nesta pesquisa). Além disto, segundo Volkmer (2011), possui como efeito secundário a redução da percolação da água pelas fundações, pois resulta em um aumento do caminho de percolação da água infiltrada nas fundações, o que reduz o efeito negativo das subpressões na estabilidade da barragem quanto ao deslizamento. Esta solução, segundo Marques Filho e Geraldo (1998), também foi empregada no projeto da UHE Itaipu, o maior empreendimento brasileiro no setor hidrelétrico em termos de capacidade instalada até o presente momento (**Tabela 30**).
- ii. A segunda condicionante refletiu na realização de injeções de impermeabilização à uma profundidade coincidente com aquela indicada no presente estudo de caso (quinze metros), segundo indica a planta S0840E01-1-G11-DEX-0003-0, concernente ao projeto executivo do empreendimento (**Figura 40**).
- iii. A terceira condicionante repercutiu na modificação de maior impacto ao projeto da obra, que originalmente previa em seu projeto básico a construção de uma única barragem de concreto CCR ao longo de todo o eixo barrado. Esta alternativa se mostra incompatível com as condições das fundações aqui analisadas e discutidas, visto que o topo rochoso do maciço gnáissico-migmatítico, dominante na região da ombreira esquerda, é inferido, podendo ocorrer em profundidades superiores aos cinquenta metros (SPEC, 2012). Deste modo, o custo decorrente das escavações necessárias para a remoção do manto de intemperismo poderia inviabilizar o projeto do ponto de vista econômico. Além disto, como indica Marques Filho e Geraldo (1998), a adoção de uma solução tecnológica de terra se revela uma alternativa mais adequada para ser fundada sobre um maciço terroso.

Verificadas a inexistência de literatura técnico-científica e normativa que oriente a programação da investigação geológico-geotécnica especificamente em projetos de barragens e a demanda pela discussão deste aspecto com relação ao estudo de caso, manifestada inclusive pelos organismos públicos consultados durante esta pesquisa, realiza-se aqui uma breve análise com respeito a este ponto. Em função das singularidades inerentes a cada projeto de barragem,

o que inclui as variadas naturezas geológicas de seus sítios de instalação, o estabelecimento de regras gerais que definam um número mínimo de sondagens, indique suas disposições e profundidades se torna dificultado. Entretanto, se regionalizado, este procedimento se torna facilitado. No que diz respeito às mesorregiões Metropolitana do Recife e Mata Pernambucana, onde ocorrem elevados índices de pluviosidade, a possibilidade da existência de mantos de intemperismo mais espessos se torna mais evidente. Este cenário insinua cautela ainda maior, no tocante à programação da investigação geológico-geotécnica, quando verificada no local a presença de rochas gnáissicas ou xistosas, mais suscetíveis ao intemperismo, como no presente estudo de caso. Desta forma, com fins à correta definição do topo rochoso e à prevenção de atrasos e encargos adicionais, indica-se, com base nas informações discutidas e analisadas nesta pesquisa, para as localidades supracitadas, a realização, nas regiões das ombreiras, de sondagens (rotativas, percussivas e/ou mistas) com extensões mínimas equivalentes àquelas realizadas no trecho do fundo do vale. Neste contexto, a análise dos dados revelou que para a elaboração do projeto básico desta barragem foram realizadas sondagens na região do fundo do vale até uma profundidade de 25 m em rocha sã, enquanto que para a ombreira esquerda esta profundidade foi de 5 m, o que se mostrou insuficiente.

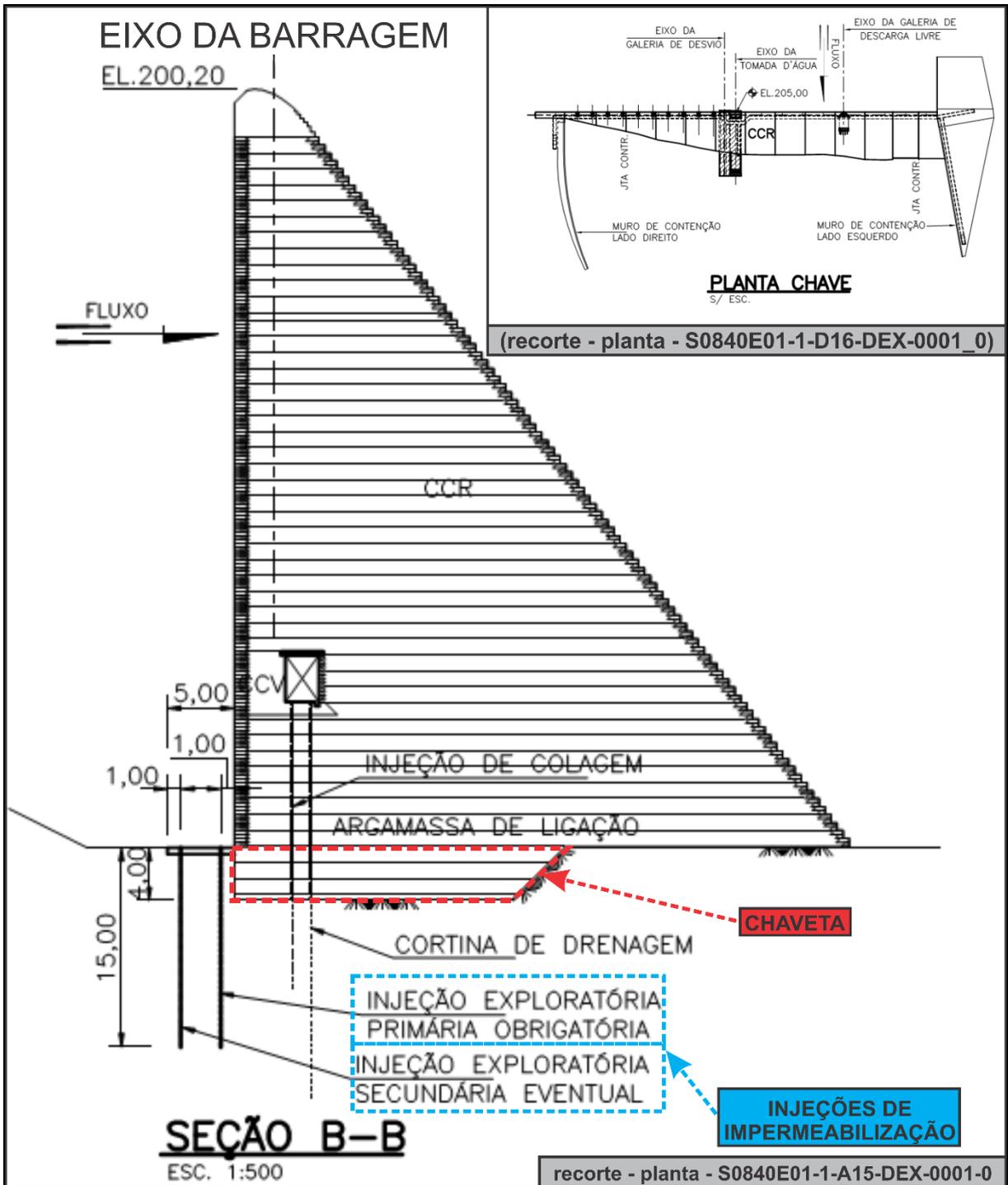
Adicionalmente, constatadas as condições adversas na região da ombreira esquerda durante o âmbito do projeto executivo, o arranjo final de obras da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos passou, então, a contemplar uma solução tecnológica mista, composta por uma barragem de CCR e por uma barragem de terra, o que suscitou uma série de questionamentos quanto ao fato. Com relação exclusivamente à frequência do emprego de alternativas tecnológicas mistas, há diversas experiências pretéritas no campo da Engenharia de Barragens que demonstram a adoção deste tipo de arranjo (**Tabela 30**). Em geral, quando condicionados por aspectos geológico-geotécnicos, as alternativas de terra estão posicionadas nos trechos das fundações onde há espessuras de solos mais significativas, como ocorre no presente estudo de caso, ou ainda, quando há condições geológico-geotécnicas desfavoráveis. Dada as limitações de acesso aos dados dos empreendimentos, não se pôde estabelecer a que ponto a influência das condicionantes geológico-geotécnicas das fundações foram decisivas na definição do arranjo de obras.

**Figura 39.** Escavação e preenchimento da ‘chaveta’ com concreto para cravação da barragem de concreto CCR no maciço granítico de fundação (06/05/2013).



Fonte: SRHE (2013)

**Figura 40.** Projeção do elemento estabilizador ‘chaveta’ e indicações da profundidade das injeções de impermeabilização e construção da barragem em blocos em recortes de plantas relativas ao projeto executivo da obra.



Fonte: modificado de SRHE (2012)

**Tabela 30.** Principais exemplos brasileiros de UHE's com relevância no contexto da matriz energética nacional que possuem barramentos com seções mistas.

Empreendimento	Proprietária	Localização	Bacia hidrográfica	Capacidade instalada (MW)	Altura máxima (m)	Capacidade de acumulação (m³)	Extensão (m)
UHE Itaipu	Itaipu Binacional	Brasil/Paraguai	Rio Paraná	14.000	196	29.000.000.000	7.744
AHE Belo Monte	Norte Energia S.A.	Pará	Rio Xingu	11.233	88	-	> 6,7 km
UHE Tucuruí	Eletronorte	Pará	Rio Tocantins	8.370	95	43.000.000.000	-
UHE Ilha Solteira	Companhia Energética de São Paulo (CESP)	São Paulo/Mato Grosso do Sul	Rio Paraná	3.444	78	15.544.000.000	5.605
UHE Xingó	Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf)	Alagoas/Sergipe	Rio São Francisco	3.162	140	3.800.000.000	3.623
UHE Itumbiara	Furnas Centrais Elétricas S.A.	Goiás/Minas Gerais	Rio Paranaíba	2.082	106	17.000.000.000	-
UHE Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (UHE Porto Primavera)	Companhia Energética de São Paulo (CESP)	São Paulo/Mato Grosso do Sul	Rio Paraná	1.540	56,5	15.700.000.000	10.186,20
UHE São Simão	Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG)	Goiás/Minas Gerais	Rio Paranaíba	1.710	127	12.540.000.000	3.440
UHE Marimbondo	Furnas Centrais Elétricas S.A.	Minas Gerais/São Paulo	Rio Grande	1.440	94	6.150.000.000	3.100
UHE Engenheiro Souza Dias (UHE Jupia)	Companhia Energética de São Paulo (CESP)	São Paulo/Mato Grosso do Sul	Rio Paraná	1.551	42	2.450.000.000	5.495
UHE Água Vermelha	AES Tietê	Minas Gerais/São Paulo	Rio Grande	1.396	67	11.025.106	3.940
UHE Furnas	Furnas Centrais Elétricas S.A.	Minas Gerais	Rio Grande	1.216	127	22.950.000.000	-
UHE Cana Brava	Grupo Tractebel	Goiás	Rio Tocantins	450	71	2.300.000.000	1.150

Fonte: o autor (2017)

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada a análise da adequabilidade dos maciços rochosos de fundação da Barragem Governador Eduardo Henrique Accioly Campos ao arranjo de obras proposto. Esta verificação foi possível graças à avaliação de suas características geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas, à classificação geomecânica e à estimativa de seus módulos de deformabilidade através do emprego dos principais conceitos e critérios da Geologia Aplicada a Fundações de Barragens disponíveis na literatura. Foi possível investigar as condições do maciço granítico, associado à Suíte Intrusiva Conceição e principal rocha de fundação, quanto às solicitações de estanqueidade e deformabilidade impostas pela alternativa de concreto fundada sobre o mesmo. O estudo do maciço gnáissico-migmatítico, relacionado ao Complexo Belém do São Francisco, dada a insuficiência de dados e à interpretação da configuração geológica do eixo barrado, foi limitado às análises de suas propriedades geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas.

As principais conclusões referentes à esta pesquisa são:

- O maciço granítico apresenta, tanto em termos qualitativos como quantitativos, características geológico-geotécnicas, hidrogeotécnicas e geomecânicas adequadas à uma fundação de uma barragem de concreto-gravidade no que diz respeito às solicitações de deformabilidade e de estanqueidade, visto que:
  - Se revelou muito resistente (R1), coerente (C1), pouco alterado, pouco fraturado e pouco suscetível aos processos de alteração.
  - Sua qualidade varia, em termos do parâmetro RQD, em sua maioria (89%), de boa a excelente.
  - A maior parte de seu volume ensaiado (96%) apresenta condições de estanqueidade compatíveis à um projeto desta natureza.
  - A maior parte de suas fraturas (98%) se encontram apertadas a muito apertadas em profundidade, não apresentando interações prejudiciais à estanqueidade.
  - Inexistem zonas hidrogeotécnicas anômalas persistentes em profundidade.
  - Sua classificação geomecânica resultou em grande parte (94%) em classes de maciço rochoso adequadas ao suporte de estruturas de concreto em um projeto deste gênero.

- Seus módulos de deformabilidade se mostraram apropriados à adoção de uma solução de concreto-gravidade.
  - Todos os critérios de segurança quanto aos problemas de deformabilidade indicaram sua baixa propensão aos mesmos.
- A desconsideração das informações relativas às fraturas não condutivas e o estabelecimento da correlação entre os valores médios de RQD e de condutividade hidráulica para cada nível de profundidade/recobrimento resultaram em um aumento significativo do coeficiente de correlação entre estas variáveis, suscitando novas perspectivas de sua utilização prática com relação aos tratamentos por injeções impermeabilizantes em trechos não ensaiados.
- As condicionantes geológico-geotécnicas e hidrogeotécnicas indicadas afetaram decisivamente o projeto da barragem e justificaram a adoção do arranjo de obras final do empreendimento o qual se mostrou adequado quanto à não utilização das zonas geotécnicas, hidrogeotécnicas e geomecânicas anômalas como fundações da solução tecnológica de concreto CCR.
- O maciço gnáissico-migmatítico, dada a incerteza geológica quanto à sua topografia em subsuperfície, sua menor qualidade e sua maior fragilidade quanto aos processos de alteração, afetou de maneira indireta o projeto da obra, implicando na adoção de uma solução tecnológica de terra para a região da ombreira esquerda, a qual se mostrou adequada quanto ao disposto na literatura.
- A profundidade de tratamento do maciço granítico por injeções de caldas impermeabilizantes se mostrou concordante com aquela indicada pelos critérios de estanqueidade utilizados por esta pesquisa.

## 7. RECOMENDAÇÕES

Deixa-se, para a realização de trabalhos futuros que tenham como objetivo o aprofundamento dos aspectos abordados por esta pesquisa ou que busquem novas linhas de pesquisa, as seguintes sugestões:

- O estudo dos dados das campanhas geológico-geotécnicas complementares relativas ao projeto executivo do empreendimento, para a continuação da discussão das informações aqui analisadas.
- O estudo da série histórica relativa às leituras dos piezômetros instalados ao longo do eixo barrado com vistas à verificação da eficiência do tratamento de impermeabilização das fundações.
- O estudo a respeito das características geotécnicas dos maciços terrosos de fundação.
- O prosseguimento à investigação da relação entre as informações de RQD e de condutividade hidráulica através da utilização de um banco de dados mais amplo que inclua dados de outras barragens instaladas na microrregião da Mata Meridional Pernambucana.

## REFERÊNCIAS

- AES Tietê. **Água Vermelha**. Disponível em: <<https://www.aestiete.com.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2017.
- ALMEIDA, Fernando Flávio Marques de; LEONARDOS JÚNIOR, Othon Henry; VALENÇA, Joel. **Granitic rocks of Northeast South America**. Paris: UNESCO, 1967. 52p. il.
- ANEEL (Brasil). **Usinas e Centrais Geradoras**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/energiaassegurada.asp>>. Acesso em: 13 jul. 2017.
- ARAÚJO, Álvaro Lima de; LOPES, Murilo Lustosa; PEREIRA, Geraldo Magela. Trinta anos de operação das 23 comportas do vertedouro da UHE Tucuruí. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS, 30., 2015, Foz do Iguaçu. **Trabalhos Técnicos - Tema 113 (Segurança de barragens e avaliação de riscos)**. Foz do Iguaçu: Comitê Brasileiro de Barragens, 2015. p. 1 - 13.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA. **Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1983 (tradução n. 12).
- AMARO, Alexandra Cristina Pinho. **Interpretação de ensaios Lugeon para a caracterização hidráulica de maciços rochosos**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.
- BABOCHKINE. 1965. In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; SILVA, Ricardo Fernandes da; JÚNIOR, Jayme Ferreira. **Ensaio de perda d'água sob pressão: diretrizes**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1975. 16 p. (ABGE, Boletim, 02)
- BARROS, Márcio Luiz de Siqueira Campos. **Classificação geomecânica das áreas de deslizamentos no Km 17 na rodovia PE-89**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.
- BARTON, Nick; LIEN, Reidar; LUNDE, Johnny. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. **Rock Mechanics**, [s.l.], v. 6, n. 4, p.189-236, dez. 1974.

BENTO, Edson Campos. **Avaliação das condições de estanqueidade das fundações e da ombreira da hidroelétrica de Laúca - Angola**. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

BIENIAWSKI, Z T. Engineering classification of jointed rock masses. **Journal of the South African Institution of Civil Engineers**, Johannesburg, v. 15, n. 12, p.335-344, dez. 1973. Quadrimestral.

BIENIAWSKI, Z. T.; ORR, C. M. Rapid system appraisal for dam foundations by the geomechanics classification. 1976. In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

BIENIAWSKI, Z. T. Determining rock mass deformability: experience from case histories. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, [s.l.], v. 15, n. 5, p.237-242, 1978. In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

BIENIAWSKI, Z. T. The rock mass rating (RMR) system (geomechanics classification) in engineering practice. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1988. p.17-34. In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering rock mass classification – A complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. Nova York: Wiley Interscience, 1989. 251p. In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

BRITO NEVES, Benjamim Bley de; SANTOS, Edilton José dos; VAN SCHMUS, William Randall. Tectonic history of the Borborema Province. In: CORDANI (Ed.). **Tectonic evolution of South America**. 2000. p. 151-182.

CEMIG (Minas Gerais). **Usinas Hidrelétricas da CEMIG**. Disponível em: <[http://www.cemig.com.br/pt-br/a\\_cemig/Nossa\\_Historia/Paginas/Usinas\\_Hidreletricas.aspx](http://www.cemig.com.br/pt-br/a_cemig/Nossa_Historia/Paginas/Usinas_Hidreletricas.aspx)>. Acesso em: 17 jul. 2017.

CESP (Estado de São Paulo). **UHE Jupia**. Disponível em: <[http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa\\_UsinaJupia\\_Dados?OpenDocument](http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaJupia_Dados?OpenDocument)>. Acesso em: 14 jul. 2017.

CESP (Estado de São Paulo). **UHE Ilha Solteira: Dados Característicos**. Disponível em: <[http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa\\_UsinaIlhaDados?OpenDocument](http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaIlhaDados?OpenDocument)>. Acesso em: 12 jul. 2017.

CESP (Estado de São Paulo). **UHE Porto Primavera: Dados Característicos**. Disponível em: <[http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa\\_UsinaPPrimavera\\_Dados?OpenDocument](http://www.cesp.com.br/portalCesp/portal.nsf/V03.02/Empresa_UsinaPPrimavera_Dados?OpenDocument)>. Acesso em: 12 jul. 2017.

CHESF. **Xingó**. Disponível em: <<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Xingo.aspx>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

CHIOSSI, Nivaldo. **Geologia de Engenharia**. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 726 p.

CHRISTOFOLLETTI, Caio. **Correlação entre as classificações geomecânicas RMR e Q e sua relevância geológica**. 2014. 310 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de Barragens**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

COSTA, Kelly de Oliveira Borges da. **Caracterização da degradação natural dos enrocamentos de proteção de barragens**. 2016. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2016.

DEERE, D. U. Technical description of rock cores for Engineering purposes. **Rock Mechanics and Engineering Geology**, [s.l.], v. 1, p.17-22, 1964.

DEERE, D. U. Geological considerations. 1968. In: EDELBRO, Catrin. **Rock Mass Strength: A Review**. [s.l.]: Luleå University of Technology, 2003.

DEERE, D. U.; DEERE, D. W. **The rock quality designation (RQD) index in practice.** In: KIRKALDIE, L. Rock classification systems for engineering purposes. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1988. p.91-101.

EDELBRO, Catrin. **Rock Mass Strength: A Review.** [s.l.]: Luleå University of Technology, 2003.

ELETROBRÁS (Brasil). **Demonstrações Financeiras.** s.l.: Eletrobrás, 2009.

ELETRONORTE. **Tucuruí.** Disponível em: <<http://www.eletronorte.gov.br/opencms/opencms/pilares/geracao/estados/tucuruui/>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

ENGIE Energia. **Ficha Técnica - UHE Cana Brava.** Disponível em: <<http://www.engieenergia.com.br/wps/portal/internet/parque-gerador/ficha-tecnica/ficha-tecnica-uhe-cana-brava>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). Ministério de Minas e Energia. **Estudos para licitação da expansão da geração: AHE Belo Monte.** s.l.: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2009. 87 p.

FELL, Robin et al. **Geotechnical Engineering of Dams.** London: A. A. Balkema Publishers, 2005.

FREITAS, Sílvio Bruno Nóbrega. **Caracterização Geomecânica e Classificações RMR (Bieniawsky) e SMR (Romana) de Maciços Rochosos em Taludes do Funchal.** 2011. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Madeira, Funchal, 2011.

FURNAS. **Usina Hidrelétrica de Furnas.** Disponível em: <[http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema\\_furnas/usina\\_hidr\\_furnas.asp](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema_furnas/usina_hidr_furnas.asp)>. Acesso em: 14 jul. 2017.

FURNAS. **Usina Hidrelétrica de Itumbiara.** Disponível em: <[http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema\\_furnas/usina\\_hidr\\_itumbiara.asp](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema_furnas/usina_hidr_itumbiara.asp)>. Acesso em: 17 jul. 2017.

GAMA, Pedro Samuel dos Santos. **Injeção de caldas de cimento em fundações rochosas de barragens:** Revisão crítica de metodologias. 2012. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geológica (Geotecnia), Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2012.

GEOTECH ENGENHARIA (Pernambuco). **Relatório Técnico Final:** Volume 1. Recife: GEOTECH, 2011. 65 p.

GOMES, Hermanilton Azevedo et al. **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco.** Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - PLGB; Projeto de Mapeamento Geológico/Metalogenético Sistemático. Recife: CPRM; AD-DIPER, 2001.

GUIDICINI, Guido; SANTOS OLIVEIRA, Antônio Manoel dos; PIRES DE CAMARGO, Fernando; KAJI, Nobutugu. Um método de classificação geotécnica preliminar de meios rochosos. 1972a. In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

GUIMARÃES, Ignez de Pinho (Org.). **Nota explicativa : Folha Garanhuns (SC.24-X-B-VI) : Escala 1:100.000. Pernambuco/Alagoas**. UFPE /CPRM, 2007.

HAMM, Se-Yeong et al. Relationship between hydraulic conductivity and fracture properties estimated from packer tests and borehole data in a fractured granite. **Engineering Geology**, [s.l.], v. 1-2, n. 92, p.73-87, abr. 2007.

HOEK, Evert. Practical Rock Engineering. 2000 (2007 edition). Disponível em: <<http://www.roscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>> In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

HOULSBY, A. C. Routine interpretation of the Lugeon water-test. **Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**. London, p. 303-313. 01 nov. 1976.

IYOMASA, Wilson Shoji. **Manual de sondagens (4ª ed.)**. São Paulo: ABGE, 1999. (Boletim nº3)

INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS. ISRM suggested method for Lugeon tests (draft version). 2015. In: AMARO, Alexandra Cristina Pinho. **Interpretação de ensaios Lugeon para a caracterização hidráulica de maciços rochosos**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

INTERTECHNE. **UHE Cana Brava**. Disponível em: <<http://www.intertechne.com.br/mercado/uhe-cana-brava-450-mw/>>. Acesso em: 17 jul. 2017.

ITAIPU BINACIONAL. **Itaipu em números**. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/sala-de-imprensa/itaipu-em-numeros>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

JIANG, Xiao-Wei et al. Estimation of rock mass deformation modulus using variations in transmissivity and RQD with depth. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences**. [s.l.], p. 1370-1377. dec. 2009.

QUIÑONES-ROZO, Camilo. Lugeon test interpretation: revisited. In: ANNUAL USSD CONFERENCE, 30th, 2010, Sacramento. **Proceedings...** . [s. l.]: United States Society of Dams, 2010. p. 405 - 414. Disponível em: <[http://www.usdams.org/wp-content/uploads/2016/05/AbstractsBook\\_2010.pdf](http://www.usdams.org/wp-content/uploads/2016/05/AbstractsBook_2010.pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2016.

KAYABASI, Ali; GOKCEOGLU, Candan; ERCANOGLU, Murat. Estimating the deformation modulus of rock masses: a comparative study. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, [s. L.], v. 40, n. 1, p.55-63, Jan. 2003.

LADEIRA, Josias Eduardo Rossi. **Avaliação de segurança em barragem de terra, sob o cenário de erosão tubular regressiva, por métodos probabilísticos: O caso UHE - São Simão**. 2007. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

LEE, Cheng-Haw; FARMER, Ian. **Fluid Flow in Discontinuous Rocks**. London: Chapman & Hall, 1993. 169 p. In: HAMM, Se-Yeong et al. Relationship between hydraulic conductivity and fracture properties estimated from packer tests and borehole data in a fractured granite. *Engineering Geology*, [s.l.], v. 1-2, n. 92, p.73-87, abr. 2007.

LIMA, Maria José C. Porto A. de. **Prospecção Geotécnica do Subsolo**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.a., 1979. 105 p.

MARQUES FILHO, Pedro Lagos; GERALDO, Amilton. Barragens e Reservatórios. In: OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de (Ed.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 24. p. 397-418.

MEDEIROS, Vladimir Cruz de (Org.). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: **Aracaju NE : Folha SC.24-X : Escala 1:500.000 : Estados da Bahia, Pernambuco e Piauí**. Brasília: CPRM, 2000. 146 p. il. 2 mapas.

MEDEIROS, Vladimir Cruz; SANTOS, Edilton José dos. **Garanhuns. Folha SC.24-XB. Escala 1:250.000**. Integração Geológica (Relatório Interno). Recife: CPRM, 1998.

MEDEIROS, Carlos Henrique. **Avaliação de riscos geotécnicos, hidrogeológicos e hidráulicos e no impacto na lei nacional de segurança de barragens.** 2009. In: BENTO, Edson Campos. Avaliação das condições de estanqueidade das fundações e da ombreira da hidroelétrica de Laúca - Angola. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MENDES, Vanildo Almeida; BRITO, Maria de Fatima Lyra de. **Geologia e recursos minerais da folha Arapiraca SC.24- X-D** : Escala 1:250.000 : Estados de Pernambuco, Alagoas e Sergipe. Recife: CPRM, 2016.

NAPPI, Michele et al. Hydraulic characterization of some arenaceous rocks of Molise (Southern Italy) through outcropping measurements and Lugeon tests. **Engineering Geology**, [s.l.], v. 1, n. 81, p.54-64, ago. 2005.

NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR:** Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

NONVEILLER, Ervin. Grouting Theory and Practice (2nd ed.). Elsevier, 2005. In: AMARO, Alexandra Cristina Pinho. **Interpretação de ensaios Lugeon para a caracterização hidráulica de maciços rochosos.** 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Nertan Alves de. **Geologia de Engenharia.** São Paulo: ABGE, 1998.

OLIVEIRA, Antônio Manoel dos Santos; SILVA, Ricardo Fernandes da; JÚNIOR, Jayme Ferreira. **Ensaio de perda d'água sob pressão:** diretrizes. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1975. 16 p. (ABGE, Boletim, 02)

PERNAMBUCO. Secretaria de Desenvolvimento Econômico. 2015. Disponível em: < <http://www.sdec.pe.gov.br/noticias/obras-de-serro-azul-ganham-mais-velocidade/> >. Acesso em: 16 nov. 2015.

PERNAMBUCO. Secretaria de Planejamento e Gestão. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco. **Bacia Hidrográfica do Rio Una, GL 4 e GL 5**. Recife: 2006. 85 p. (Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco n° 3).

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos do Estado de Pernambuco (SRHE). 2011. Disponível em: < [http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=327:barragens-de-contencao-de-cheias\\_](http://www.sirh.srh.pe.gov.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=327:barragens-de-contencao-de-cheias_)>. Acesso em: 16 nov. 2015.

ROCHA, Manuel. **Algunos problemas relativos a mecánica das rochas dos materiais de baixa resistencia**. 1976. In: ROCHA, Manuel. DMR (Dam Mass Rating). An adaptation of RMR geomechanics classification for use in dams' foundations. 2003a.

ROCHA, Manuel. **Mecânica das Rochas**. Lisboa: LNEC, 2013. In: AMARO, Alexandra Cristina Pinho. **Interpretação de ensaios Lugeon para a caracterização hidráulica de maciços rochosos**. 2015. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

ROMANA, Manuel. DMR (Dam Mass Rating). An adaptation of RMR geomechanics classification for use in dams' foundations. 2003a. In: ISRM CONGRESS, 10th, 2003, Sandton. **Proceedings...** . [s. L.]: ISRM, 2003.

ROMANA, Manuel. DMR, a new geomechanics classification for use in dams' foundations, adapted from RMR. 2003b. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS, 4th, 2003, Madrid. **Proceedings...** . 2003: A. A. Balkema Publishers, 2003. p. 689 - 696.

SANTOS, Edilton José dos; FERREIRA, Cícero Alves; SILVA JÚNIOR, José Maria Ferreira da. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Subprograma Mapas Estaduais: **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba**. Recife : CPRM, 2002.

SANTOS, Edilton José dos. **O Complexo Granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema**. 1995. Tese Doutorado (Doutorado) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANTOS, Edilton José dos (Org.). Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: **Belém do São Francisco : Folha SC.24-X-A : Escala 1:250.000 : Estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia**. Brasília: CPRM, 1999.

SERAFIM, Joaquim Laginha; PEREIRA, Joaquim Jorge da Costa Paulino. Considerations of the geomechanics classification of Bieniawski. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ENGINEERING GEOLOGY AND UNDERGROUND CONSTRUCTION. 1983. Lisboa. **Proceedings...** . vol. I (II):33 – 44.

SERRA JUNIOR, Edgard; OJIMA, Luiz Massayosi. Classificação de maciços rochosos. 1998. In: NOGOSEKE, Elaine. **Compartimentação de maciços rochosos para projetos básicos de PCH's usando o sistema RMR**: Aplicação no projeto básico da PCH Morro Grande - RS. 2009. 125 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Geotecnia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SILVA FILHO, Adejardo Francisco da; GUIMARÃES, Ignez de Pinho; VAN SCHMUS, William Randall. Crustal evolution of the Pernambuco Alagoas complex, Borborema Province, NE Brasil: Nd isotopic data from Neoproterozoic granitoids. **Gondwana Research**. [s.l.], p. 409-422. abr. 2002.

SOUZA, Mariana Miranda de. **Estudo para o projeto geotécnico da barragem da Barragem Alto Irani, SC**. 2013. 129 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

SPEC - PLANEJAMENTO ENGENHARIA CONSULTORIA (Pernambuco). **Relatório Técnico**: Readequação do Projeto Básico S0840E01-1-G02-REL-0002. Recife: SPEC, 2012. 26 p.

STS - SERVIÇOS TÉCNICOS DE SONDAGENS Ltda. (Pernambuco). **Relatório Técnico**: PROP. 063.01.11/SM. Recife: STS Ltda., 2011.

TECHNE - ENGENHEIROS CONSULTORES (Pernambuco). **Relatório R03**: Estudos Topográficos e Estudos Geológicos/Geotécnicos. Recife: TECHNE, 2011. 52 p.

THEMAG. **Usinas e aproveitamentos hidroelétricos**. Disponível em: <<http://www.themag.com.br/pdf/usina.pdf>>. Acesso em: 11 jul. 2017.

VALLEJO, Luis Ignacio González de et al. **Ingeniería Geológica**. Madrid: Pearson Prentice Hall, 2002. 744 p.

VAN SCHMUS, William Randall et al. U/Pb and Sm/Nd geochronologic studies of the Eastern Borborema province, Northeastern Brazil: initial conclusions. **Journal of South American Earth Sciences**. [s.l.], p. 267-288. jul. 1995.

VAZ, Luiz Fernando. Aplicabilidade de investigações e sistemas de classificação de maciços rochosos para obras subterrâneas. 1982. In: BARROS, Márcio Luiz de Siqueira Campos. **Classificação geomecânica das áreas de deslizamentos no Km 17 na rodovia PE-89**. 2000. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2000.

VAZ, Luiz Fernando. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rocha em regiões tropicais. *Solos e Rochas*, São Paulo, v. 2, n. 19, p.117-136, ago. 1996.

VERAS, P. Barragens contra enchentes estão abandonadas na Mata Sul: barragem de Serro Azul deveria ter ficado pronta em 2013 e está orçada em R\$ 320 milhões. *Jornal do Commercio*, Recife, 02 maio 2015. Disponível em < <http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/politica/pernambuco/noticia/2015/05/02/barragens-contras-enchentes-estao-abandonadas-na-mata-sul-179258.php> >. Acesso em: 17 nov. 2015.

VERAS, P. Estado culpa falta de dinheiro federal por atraso em barragens: governo anuncia retomada de obras após questionamento do JC. *Jornal do Commercio*, Recife, 02 maio 2015. Disponível em < <http://jconline.ne10.uol.com.br/canal/politica/pernambuco/noticia/2015/05/02/estado-culpa-falta-de-dinheiro-federal-por-atraso-em-barragens-179261.php> >. Acesso em: 20 nov. 2015.

VIEIRA, Vanese et al. Caracterização geológico-geotécnica e classificação geomecânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL, 15., 2015, Bento Gonçalves. **Anais...** . Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 2015.

VOLKMER, Mariana Vogt. **Análise de subpressão em fundações rochosas e seus efeitos na estabilidade de barragens tipo gravidade**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geotecnia, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia, Distrito Federal, 2011.

ZHANG, Lianyang; EINSTEIN, H.H. Using RQD to estimate the deformation modulus of rock masses. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, [s.l.], v. 41, n. 2, p.337-341, feb. 2004.

## ANEXOS

## Anexo A

## INFORMAÇÕES RELATIVAS ÀS SONDAgens ANALISADAS

LOCAL	SONDAGEM	ESTACA	COORDENADAS		MATERIAIS				PROF.	INTERPRETAÇÃO
			N	E	SOL	RAM	RAD	RS		
Opção de eixo 1.1 (projeto básico)	SMB-32	4 + 16,05 m	206.21 4	9.049.46 2	0,20	-	-	5,00	5,20	Maciço granítico
	SMB-48	10 + 0,00 m	206.18 0	9.049.56 0	-	-	-	15,0 0	15,00	Maciço granítico
	SMB-43	13 + 12,50 m	206.15 6	9.049.62 8	-	-	-	15,0 0	15,00	Maciço granítico
	SMB-31	18 + 9,88 m (19,99 m p/jus.)	206.14 4	9.049.72 7	3,00	-	-	5,00	8,00	Maciço granítico
	SMB-36	18 + 9,88 (39,99 m p/jus.) (?)	206.16 2 (?)	9.049.83 0 (?)	1,30	-	-	15,0 0	16,30	Maciço granítico (fundo do vale)
	SMB-47	20 + 0,00 m	206.11 4	9.049.74 9	5,00	-	-	25,0 0	30,00	Maciço granítico
	SMB-42	20 + 13,00 m	206.11 0	9.049.76 1	4,50	-	-	20,0 0	24,50	Maciço granítico
	SMB-46	23 + 10,00 m	206.09 2	9.049.81 5	5,00	-	-	25,0 0	30,00	Maciço granítico
	SMB-35	24 + 0,00 (15,00 m p/jus.)	206.10 3	9.049.82 9	1,60	-	-	15,0 0	16,60	Maciço granítico
	SMB-33	24 + 0,00 m (45,00 m p/jus.)	206.13 1	9.049.84 0	2,40	-	-	15,0 0	17,40	Maciço granítico
	SMB-30	27 + 12,00 m (30,05 m p/jus.)	206.09 4	9.049.90 3	3,06	-	3,00	2,00	8,06	Intercalação rocha gnáissica-injeção granítica
	SMB-41	28 + 0,00 m	206.06 2	9.049.90 0	2,50	-	-	23,5 0	26,00	Intercalação rocha gnáissica-injeção granítica
	SMB-40	32 + 0,00 m (40,00 m p/jus.)	206.06 5	9.049.98 6	14,80	-	-	15,2 0	30,00	Injeção granítica (ombreira esquerda)
	SMB-29	35 + 8,00 m (12,00 m p/jus.)	206.02 6	9.050.04 5	15,15	-	1,50	3,50	20,15	Intercalação rocha gnáissica-injeção granítica
	SMB-28	38 + 0,00 m (1,46 m p/jus.)	205.99 9	9.050.09 0	9,00	-	1,50	3,50	14,00	Intercalação rocha gnáissica-injeção granítica
	SMB-37	43 + 0,00 m	205.96 5	9.050.18 4	20,00	-	-	5,00	25,00	Maciço gnáissico- migmatítico
SMB-34	47 + 0,00 m	205.93 9	9.050.26 0	19,80	-	-	4,50	24,30	Maciço gnáissico- migmatítico	

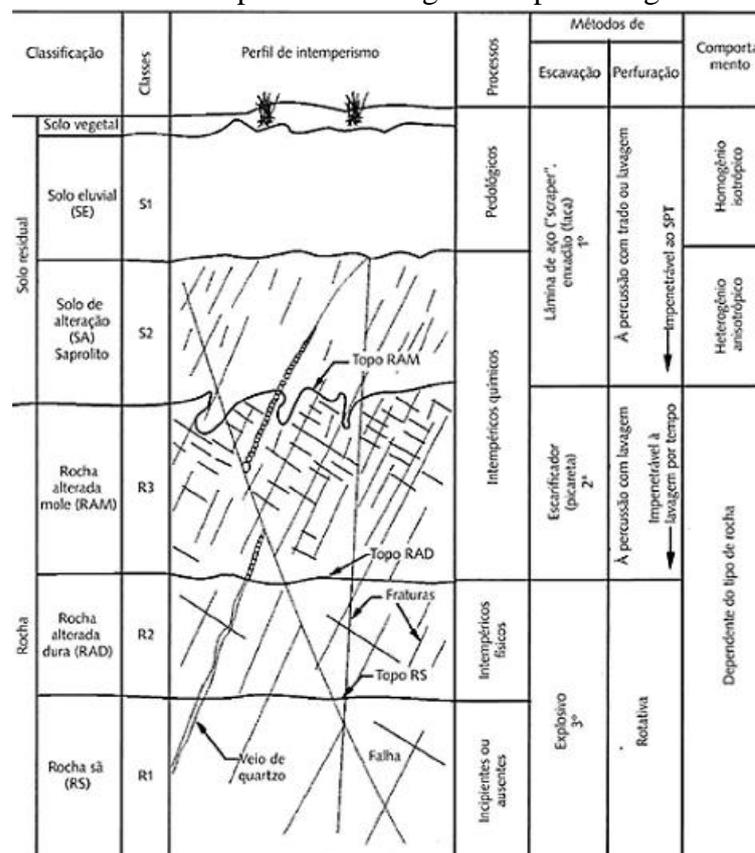
Fonte: baseado em SRHE (2011)

LOCA L	SONDAGE M	ESTAC A	COORDENAND AS		MATERIAIS				PROF .	INTERPRETAÇ ÃO
			N	E	SOLO	RA M	RA D	RS		
Opção de eixo 1.2 (projeto básico)	SMB-1	40+13,2 2 (0,13 m p/mont.)	205.8 90	9.050.11 2	10,20	-	1,00	4,00	15,20	Injeção granítica (ombreira esquerda)
	SMB-2	34+16,8 0 (4,07 m p/jus.)	205.9 53	9.050.01 4	21,30	-	-	5,00	26,30	Injeção granítica (ombreira esquerda)
	SMB-3	25+6,07 m (0,26 m p/jus.)	206.0 47	9.049.84 8	16,65	-	3,00	2,00	21,65	Rocha gnáissica migmatizada (maciço gnáissico- migmatítico) (fundo do vale)
	SMB-4	20+9,32 (38,42 m p/mont.)	206.0 63	9.049.74 5	4,30	-	-	5,00	9,30	Rocha gnáissica migmatizada (maciço gnáissico- migmatítico) (fundo do vale)
	SMB-20	-	205.8 12	9.050.27 6	8,45	-	-	5,00	13,45	Injeção granítica (ombreira esquerda)

Fonte: baseado em SRHE (2011)

Legenda: RAM= Rocha Alterada Mole RAD=Rocha Alterada Dura RS= Rocha Sã

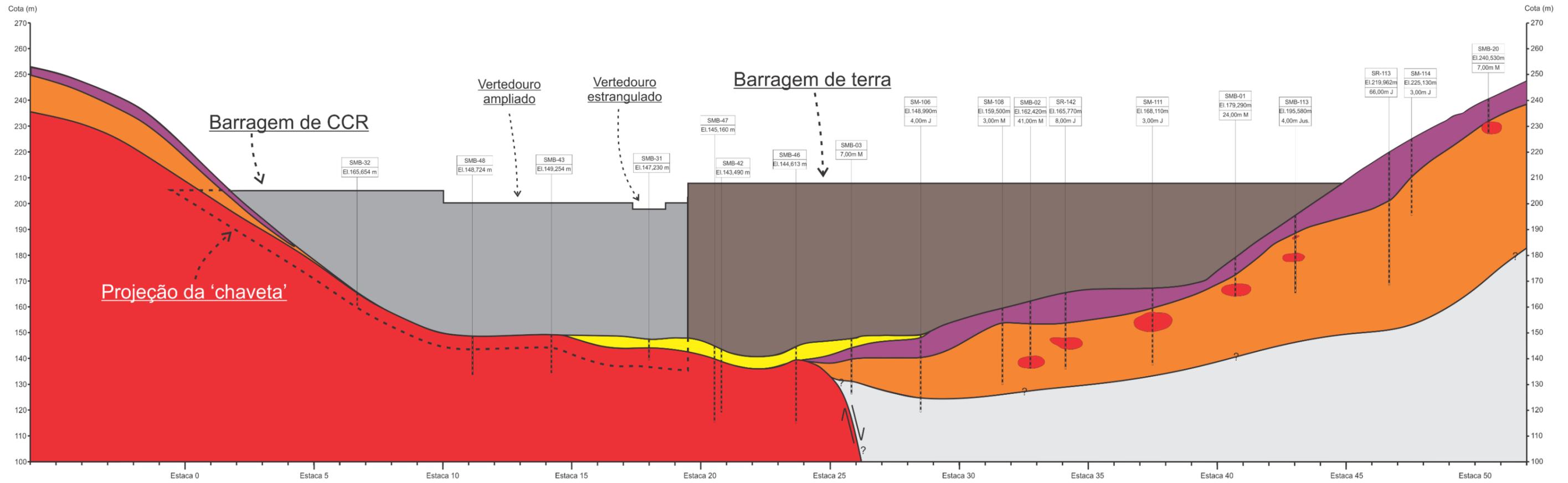
### Perfil de intemperismo em regiões tropicais segundo:



Fonte: Vaz (1996) apud Costa (2012)

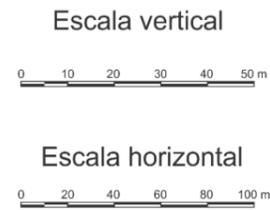
**Anexo B**

**PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO INTERPRETATIVO SIMPLIFICADO DO  
EIXO DEFINITIVO DA BARRAGEM GOVERNADOR EDUARDO HENRIQUE  
ACCIOLY CAMPOS**



Legenda:

- Solo aluvionar
- Solo residual
- Solo de alteração
- Maciço granítico
- Maciço gnaíssico-migmatítico
- Projeção aproximada 'chaveta' da barragem de CCR

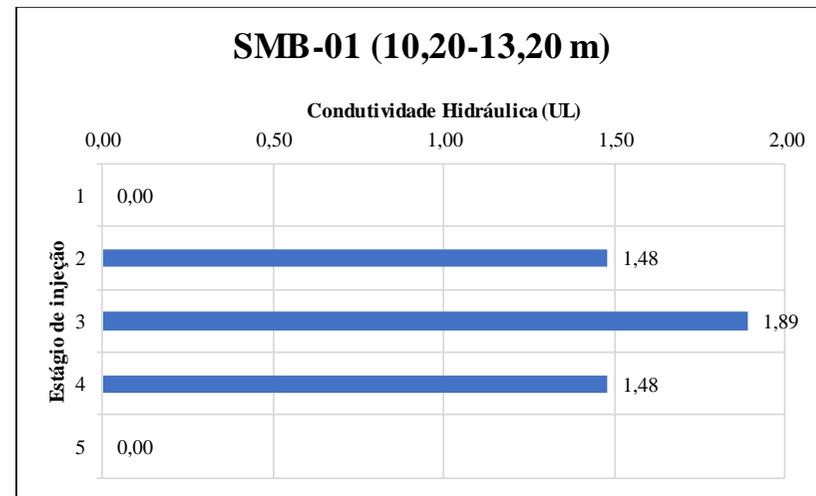
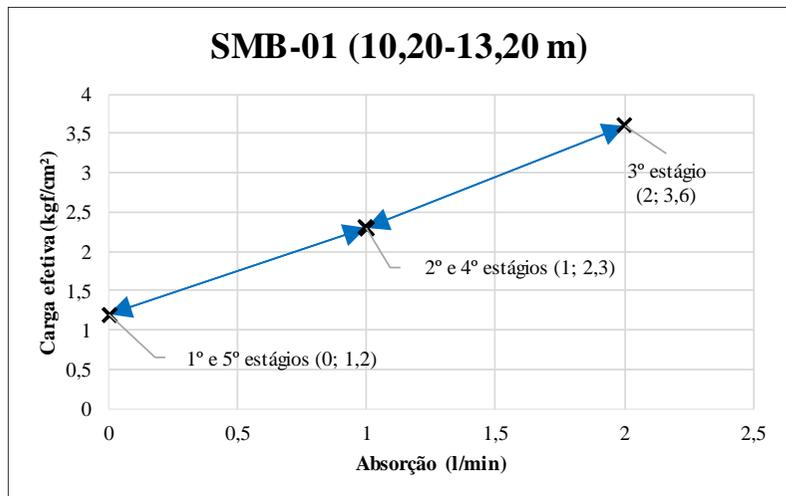


Fonte: modificado de SRHE (2012)

## **APÊNDICES**

### **Apêndice A**

#### **GRÁFICOS E INTERPRETAÇÕES DOS ENSAIOS DE PERDA D'ÁGUA**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,144927536	1,51268E-05
3	2	0,666666667	0,185185185	1,93287E-05
4	1	0,333333333	0,144927536	1,51268E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,2	0,11768	0,00
2	1	2,3	0,225553	1,48
3	2	3,6	0,353039	1,89
4	1	2,3	0,225553	1,48
5	0	1,2	0,11768	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	1,93E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

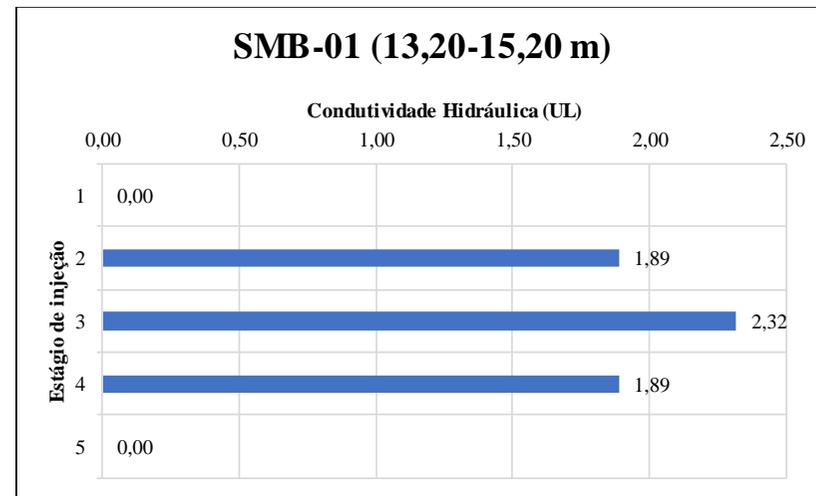
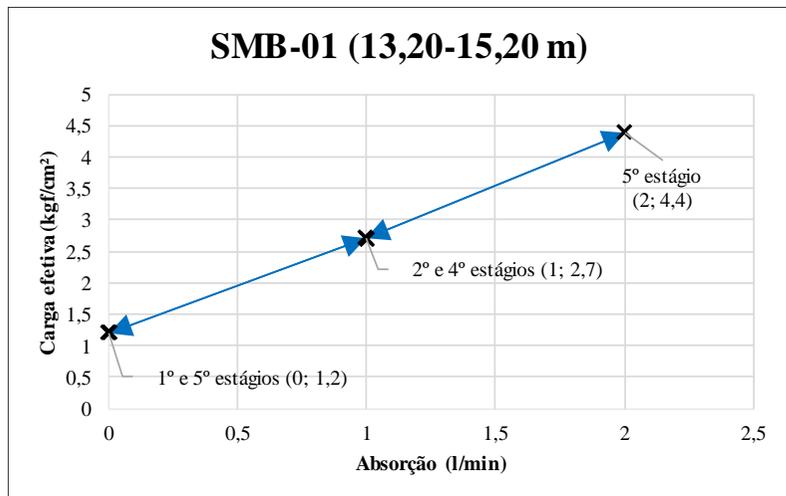
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	10,20 m
51,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,93E-05	cm/s
	1,89	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,5	0,185185185	1,73449E-05
3	2	1	0,227272727	2,12869E-05
4	1	0,5	0,185185185	1,73449E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,2	0,11768	0,00
2	1	2,7	0,26478	1,89
3	2	4,4	0,431493	2,32
4	1	2,7	0,26478	1,89
5	0	1,2	0,11768	0,00

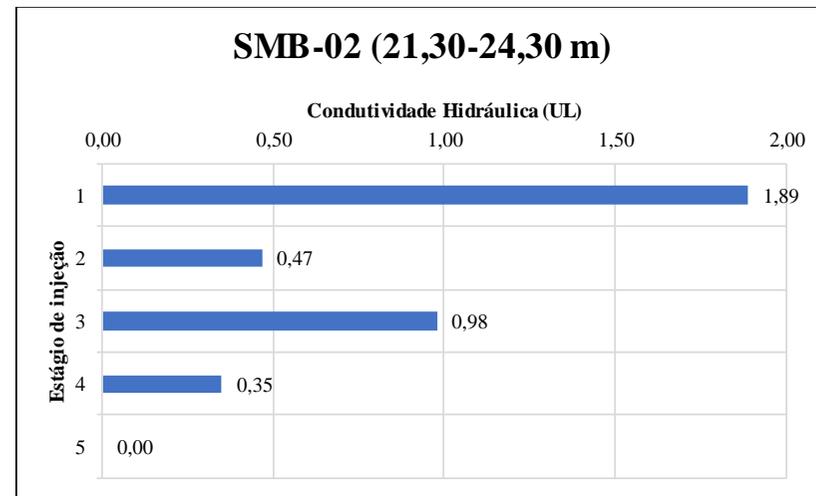
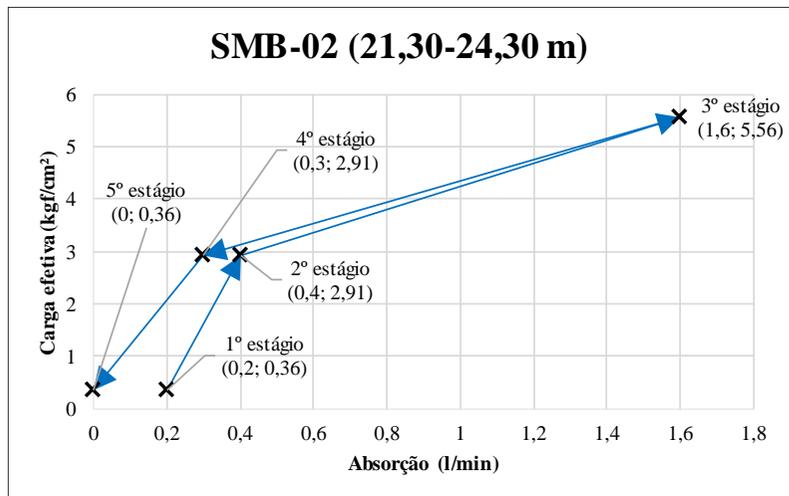
Conductividade hidráulica máxima:	2,13E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	94,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	10,20 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,13E-05	cm/s
	2,32	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0,2	0,066666667	0,185185185	1,93287E-05
2	0,4	0,133333333	0,045819015	4,78235E-06
3	1,6	0,533333333	0,095923261	1,0012E-05
4	0,3	0,1	0,034364261	3,58676E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0,2	0,36	0,035304	1,89
2	0,4	2,91	0,285374	0,47
3	1,6	5,56	0,54525	0,98
4	0,3	2,91	0,285374	0,35
5	0	0,36	0,035304	0,00

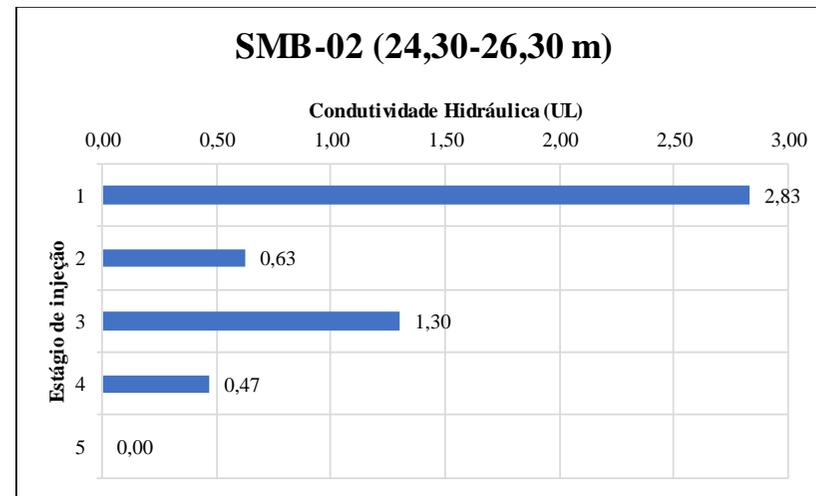
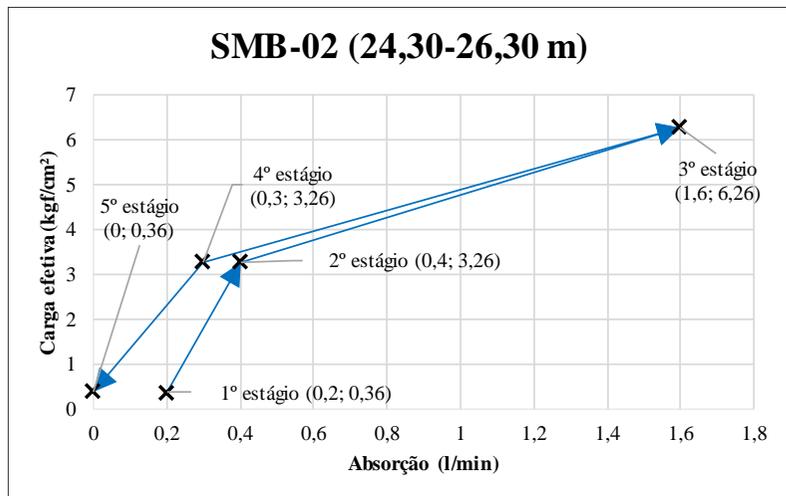
Condutividade hidráulica máxima:	1,93E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	21,30 m
69,67%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,93E-05	cm/s
	1,89	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545172733 adimensional

Fator de forma= 9,36625E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0,2	0,1	0,277777778	2,60174E-05
2	0,4	0,2	0,061349693	5,74616E-06
3	1,6	0,8	0,127795527	1,19696E-05
4	0,3	0,15	0,04601227	4,30962E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0,2	0,36	0,035304	2,83
2	0,4	3,26	0,319697	0,63
3	1,6	6,26	0,613896	1,30
4	0,3	3,26	0,319697	0,47
5	0	0,36	0,035304	0,00

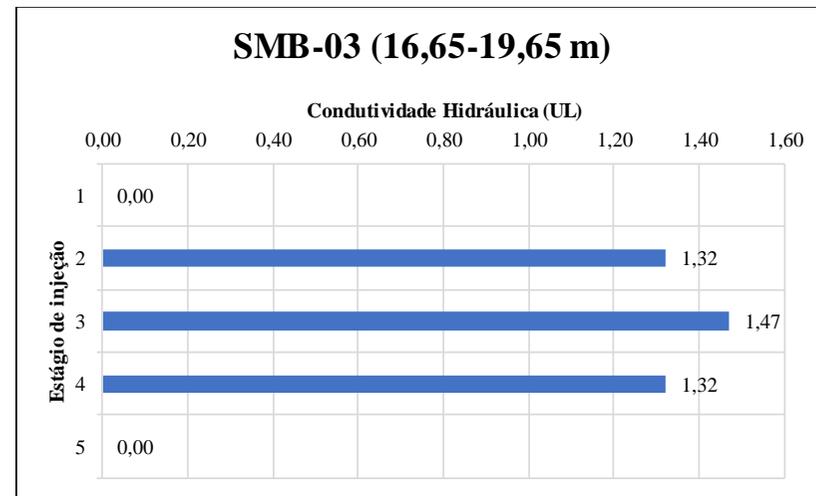
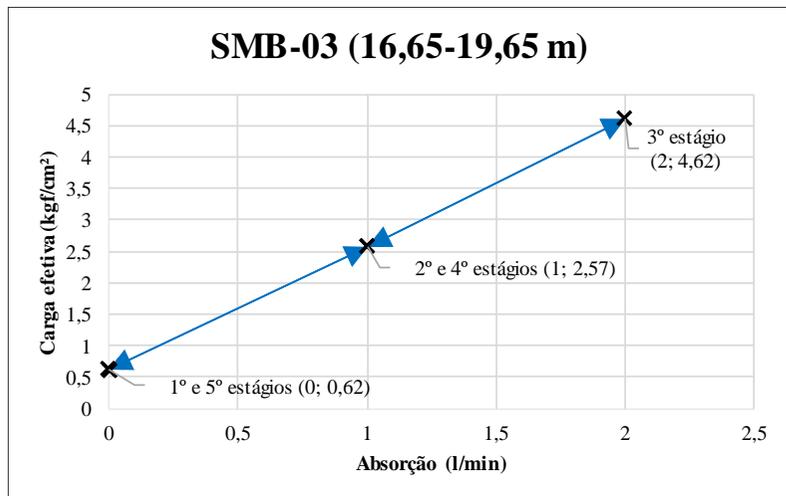
Condutividade hidráulica máxima:	2,60E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	92,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	21,30 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,60E-05	cm/s
	2,83	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= gnaíse migmatizado (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950637842 adimensional

Fator de forma= 0,000104375 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,129701686	1,35376E-05
3	2	0,666666667	0,144300144	1,50613E-05
4	1	0,333333333	0,129701686	1,35376E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,62	0,060801	0,00
2	1	2,57	0,252031	1,32
3	2	4,62	0,453067	1,47
4	1	2,57	0,252031	1,32
5	0	0,62	0,060801	0,00

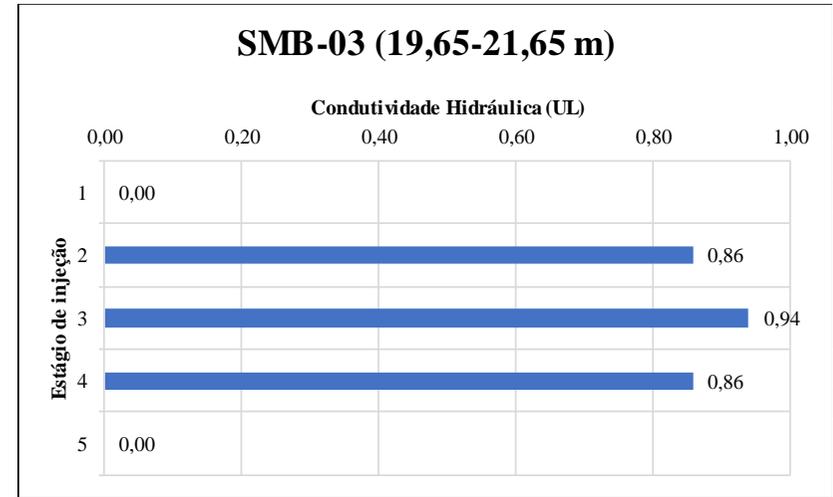
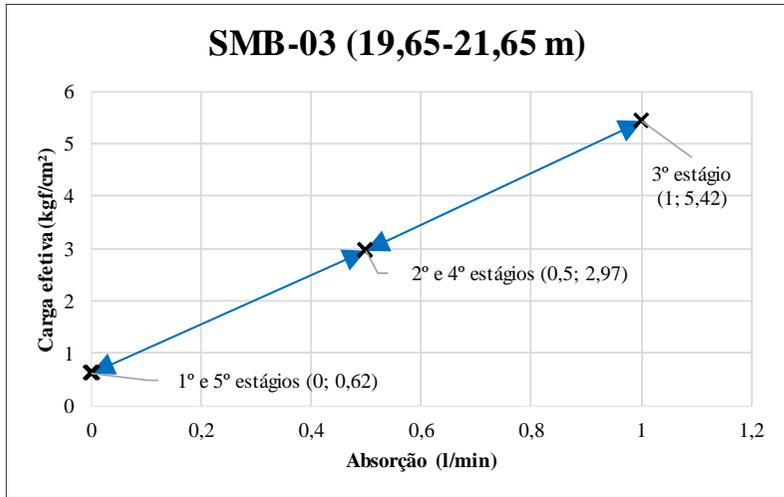
Condutividade hidráulica máxima:	1,51E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado: 27,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 16,50 m
-----------------------	---

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,51E-05	cm/s
	1,47	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= gnaiss migmatizado (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173

Fator de forma= 9,37E-05

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0,5	0,25	0,084175084	7,88405E-06
3	1	0,5	0,092250923	8,64045E-06
4	0,5	0,25	0,084175084	7,88405E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,62	0,060801	0,00
2	0,5	2,97	0,291258	0,86
3	1	5,42	0,53152	0,94
4	0,5	2,97	0,291258	0,86
5	0	0,62	0,060801	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	8,64E-06	cm/s
-----------------------------------	----------	------

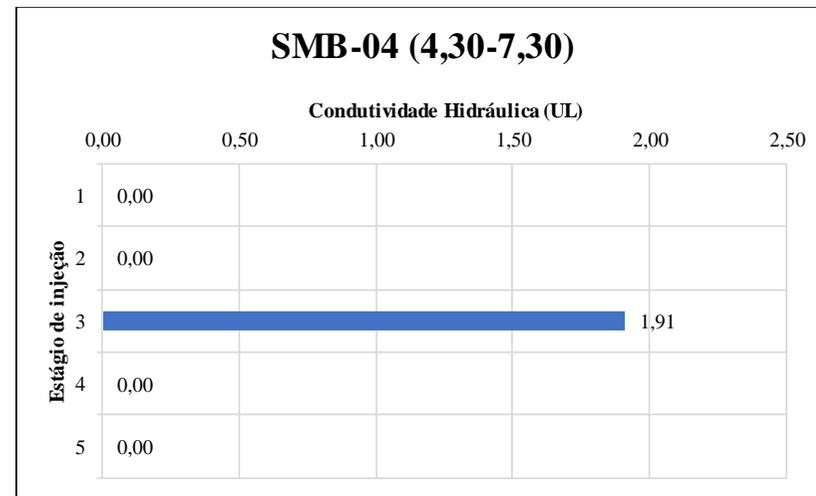
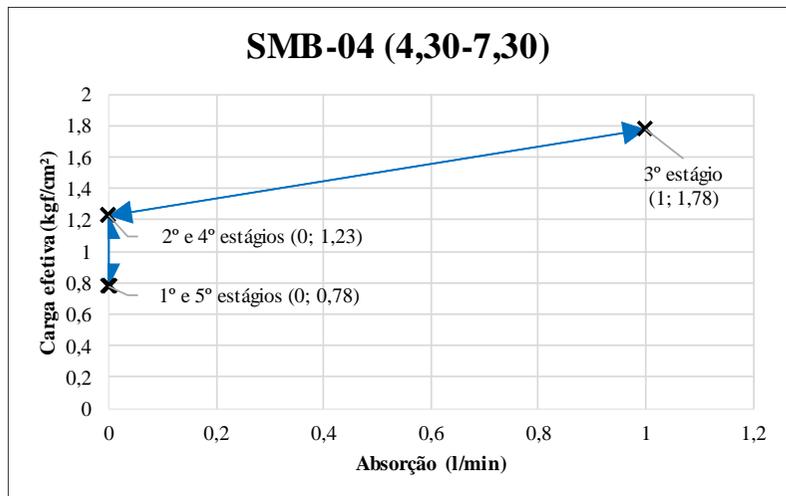
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	16,50 m
99,25%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	8,64E-06	cm/s
	0,94	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= gnaiss migmatizado (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,187265918	1,95458E-05
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,78	0,076492	0,00
2	0	1,23	0,120622	0,00
3	1	1,78	0,174558	1,91
4	0	1,23	0,120622	0,00
5	0	0,78	0,076492	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	1,95E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

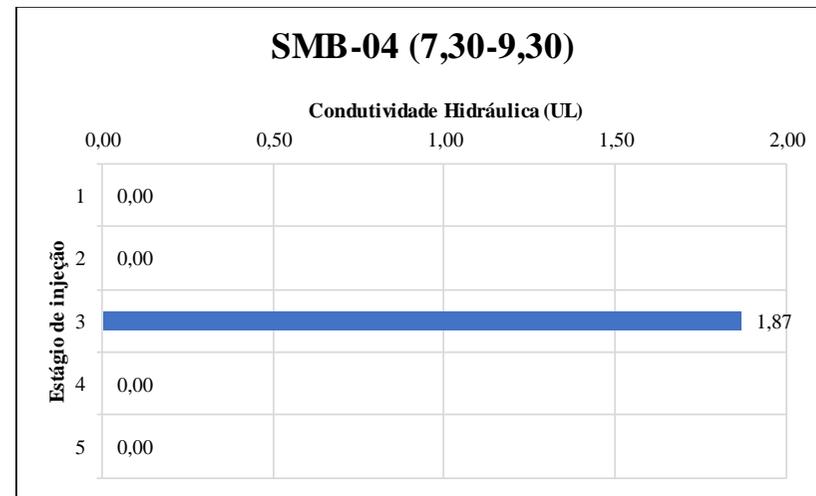
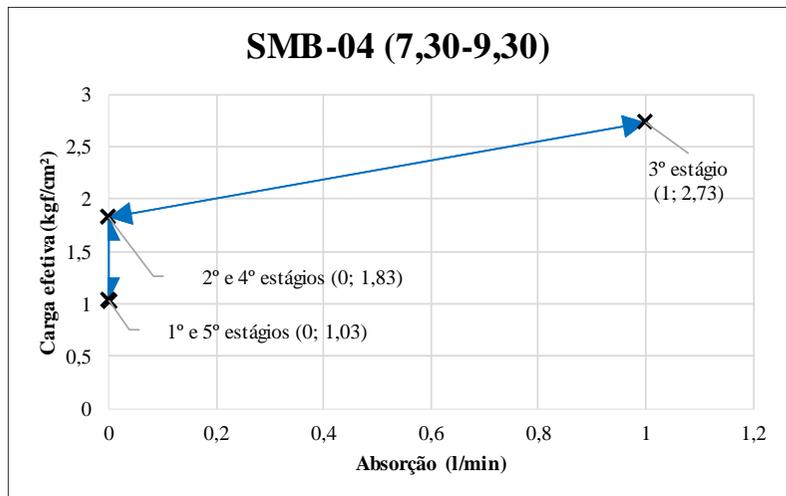
RQD associado: 80,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 4,30 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,95E-05	cm/s
	1,91	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= gnaíse migmatizado (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,5	0,183150183	1,71543E-05
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,03	0,101008	0,00
2	0	1,83	0,179462	0,00
3	1	2,73	0,267722	1,87
4	0	1,83	0,179462	0,00
5	0	1,03	0,101008	0,00

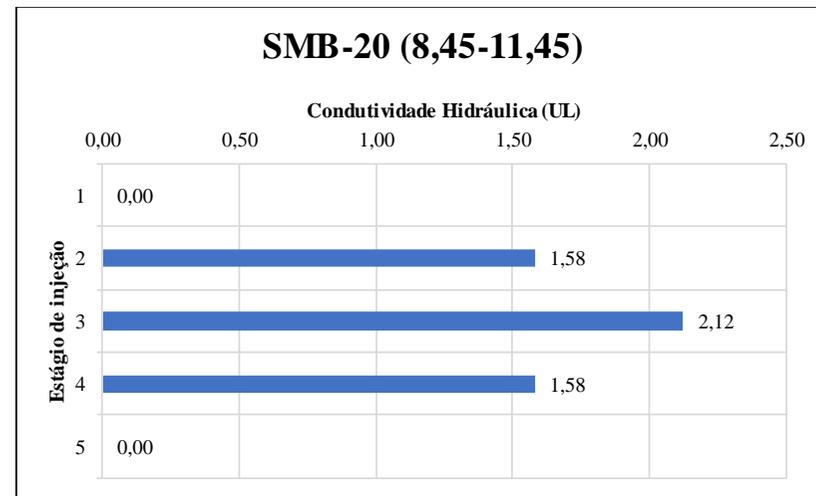
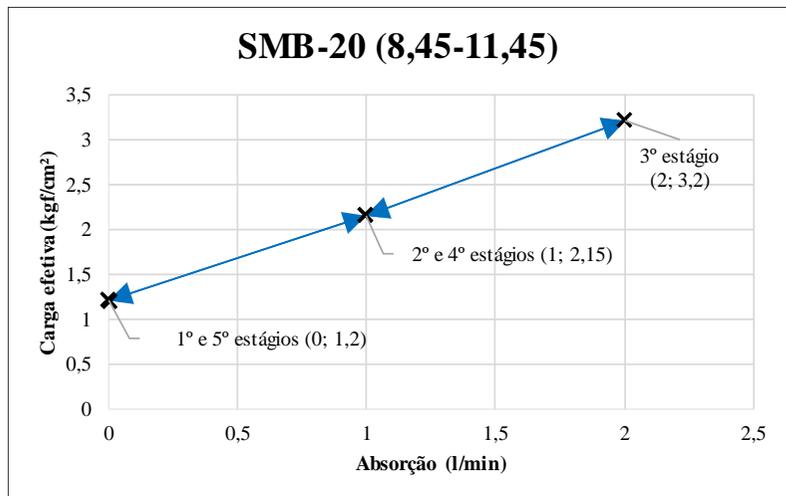
Condutividade hidráulica máxima:	1,72E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	73,30%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,30 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,72E-05	cm/s
	1,87	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,15503876	1,61821E-05
3	2	0,666666667	0,208333333	2,17447E-05
4	1	0,333333333	0,15503876	1,61821E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,2	0,11768	0,00
2	1	2,15	0,210843	1,58
3	2	3,2	0,313813	2,12
4	1	2,15	0,210843	1,58
5	0	1,2	0,11768	0,00

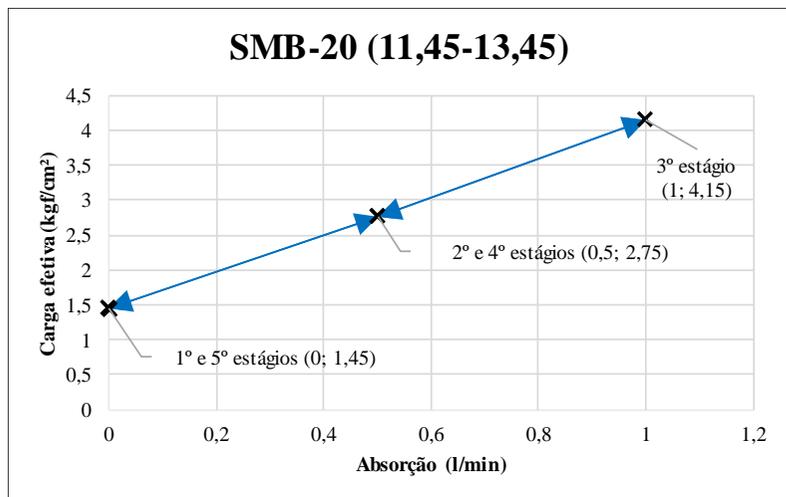
Condutividade hidráulica máxima:	2,17E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	50,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	8,45 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,17E-05	cm/s
	2,12	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
<b>Condições das fraturas:</b>	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

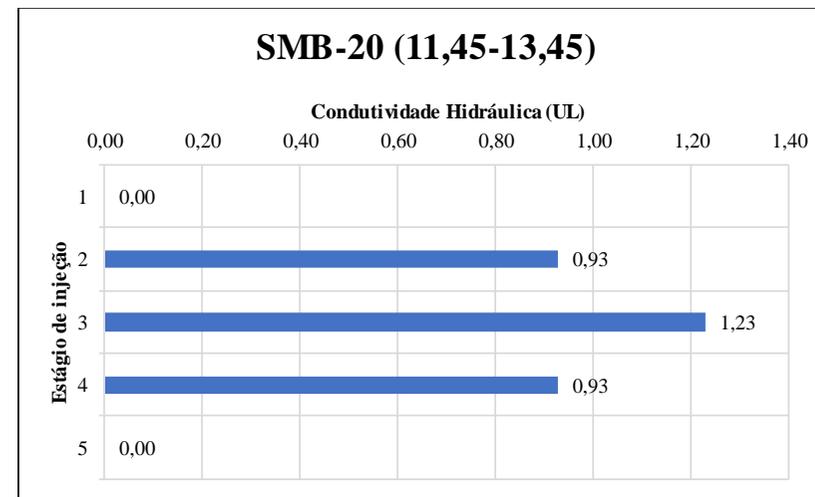
Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0,5	0,25	0,090909091	8,51477E-06
3	1	0,5	0,120481928	1,12846E-05
4	0,5	0,25	0,090909091	8,51477E-06
5	0	0	0	0

Conductividade hidráulica máxima:	1,13E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

<b><u>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</u></b>	1,13E-05	cm/s
	1,23	UL

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



L= 2 m

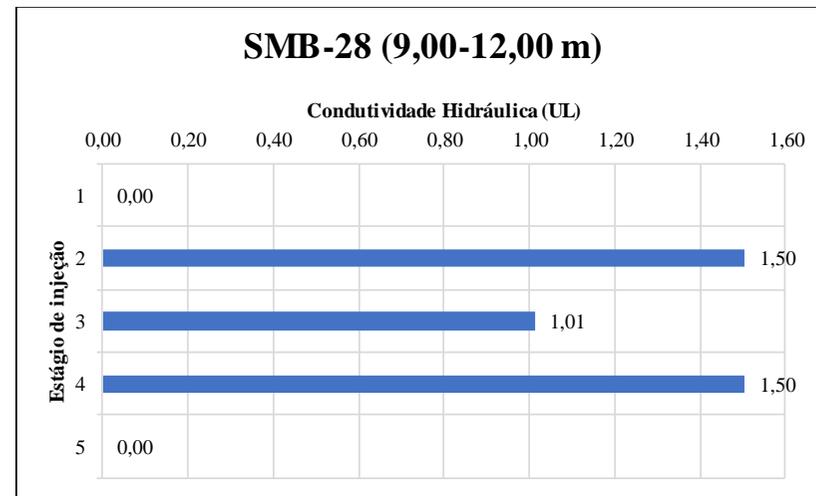
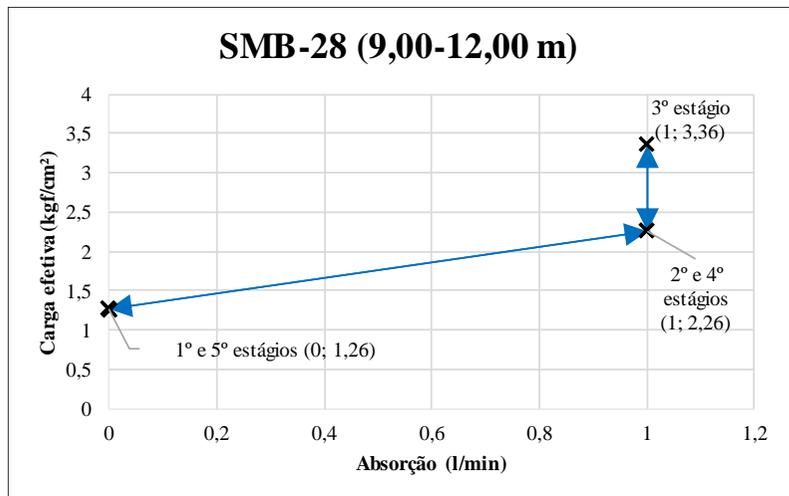
P0= 1 MPa

$\alpha$ = 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,45	0,142196	0,00
2	0,5	2,75	0,269683	0,93
3	1	4,15	0,406976	1,23
4	0,5	2,75	0,269683	0,93
5	0	1,45	0,142196	0,00

RQD associado: 57,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 8,45 m
--------------------------	--

<b><u>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</u></b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b><u>APERTADAS</u></b>	



Dados:

Litologia= rocha gnáissica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,147492625	1,53945E-05
3	1	0,333333333	0,099206349	1,03546E-05
4	1	0,333333333	0,147492625	1,53945E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,26	0,123564	0,00
2	1	2,26	0,22163	1,50
3	1	3,36	0,329503	1,01
4	1	2,26	0,22163	1,50
5	0	1,26	0,123564	0,00

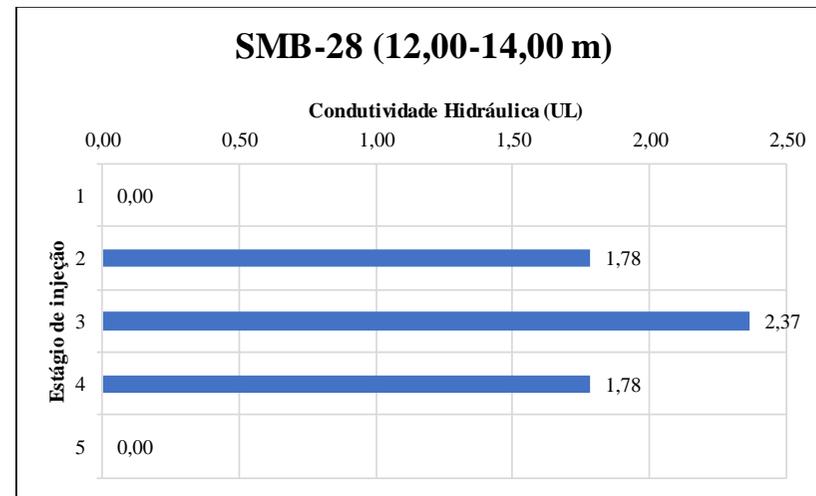
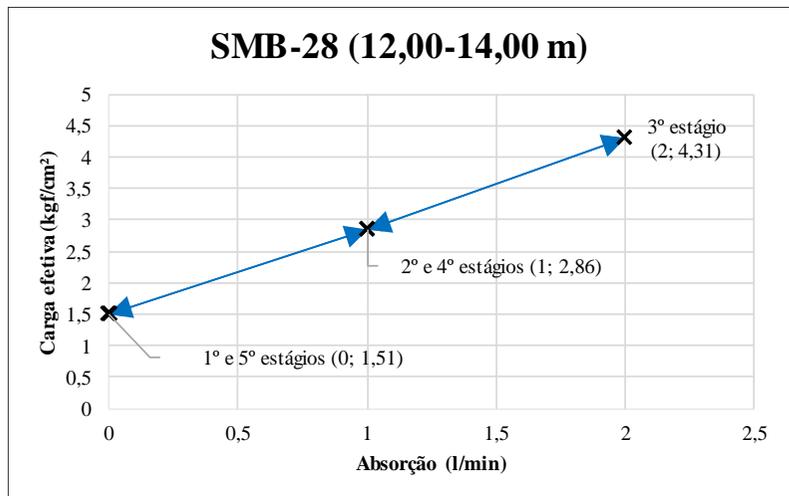
Condutividade hidráulica máxima:	1,54E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	17,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	9,00 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,54E-05	cm/s
	1,5	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) com ABERTURA (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com LAVAGEM (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

$\alpha$ = 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,5	0,174825175	1,63746E-05
3	2	1	0,232018561	2,17314E-05
4	1	0,5	0,174825175	1,63746E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,51	0,14808	0,00
2	1	2,86	0,28047	1,78
3	2	4,31	0,422667	2,37
4	1	2,86	0,28047	1,78
5	0	1,51	0,14808	0,00

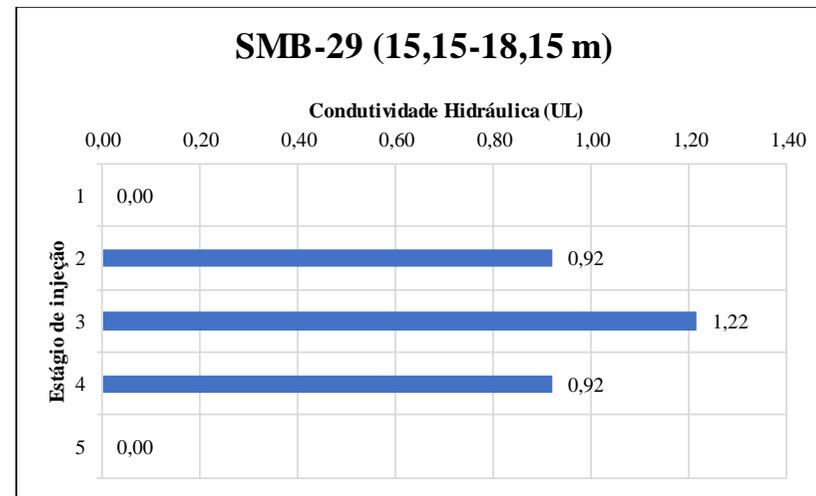
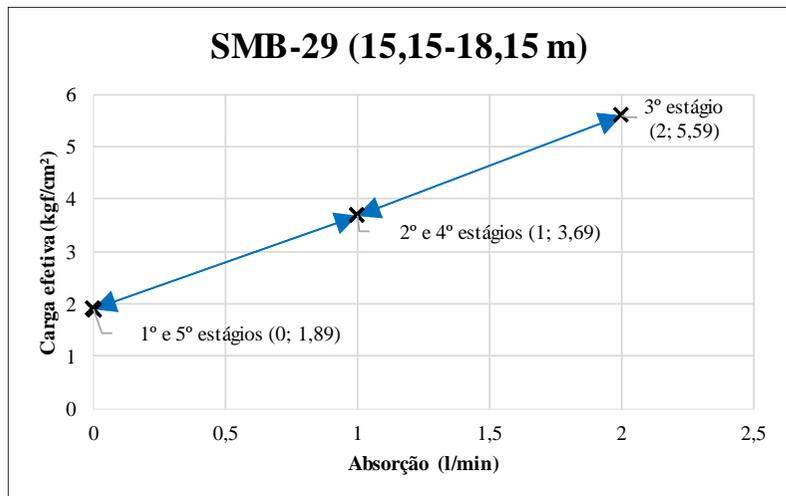
Condutividade hidráulica máxima:	2,17E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	77,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	9,00 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,17E-05	cm/s
	2,37	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= rocha gnáissica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,090334237	9,42861E-06
3	2	0,666666667	0,119260584	1,24478E-05
4	1	0,333333333	0,090334237	9,42861E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,89	0,185346	0,00
2	1	3,69	0,361865	0,92
3	2	5,59	0,548192	1,22
4	1	3,69	0,361865	0,92
5	0	1,89	0,185346	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,24E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

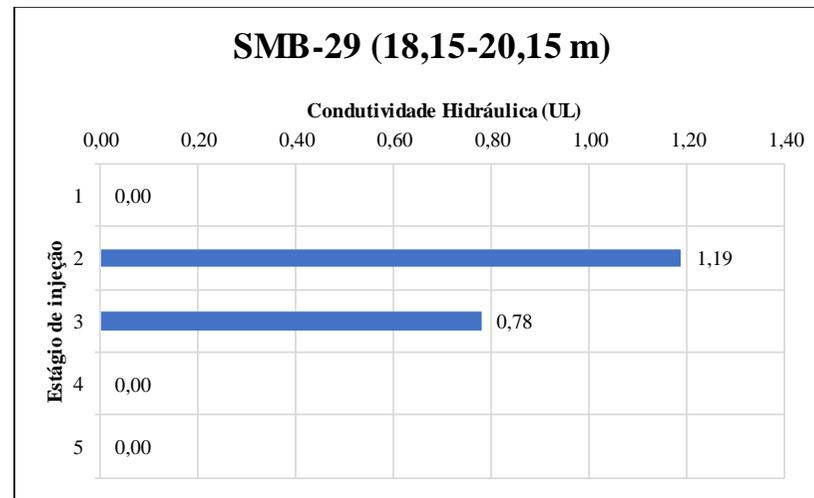
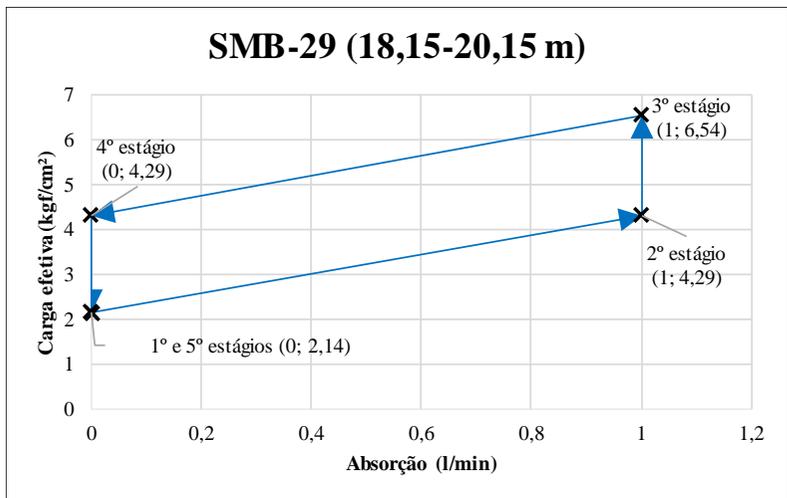
RQD associado:	42,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,15 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,24E-05	cm/s
	1,22	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,5	0,116550117	1,09164E-05
3	1	0,5	0,076452599	7,16074E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	2,14	0,209862	0,00
2	1	4,29	0,420705	1,19
3	1	6,54	0,641355	0,78
4	0	4,29	0,420705	0,00
5	0	2,14	0,209862	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,09E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

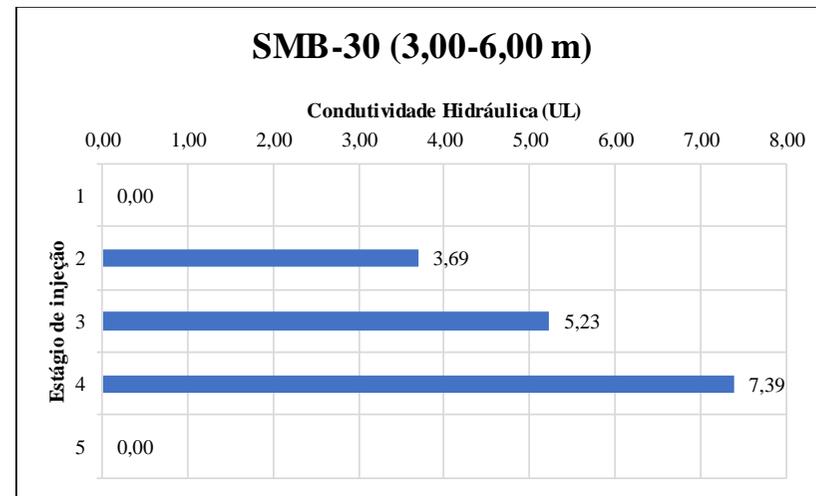
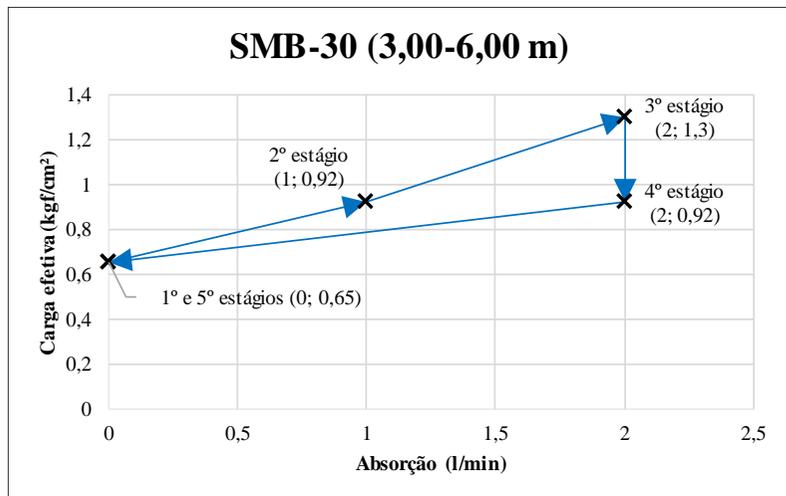
RQD associado:	99,25%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,15 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,09E-05	cm/s
	1,19	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= gnaiss-migmatizado bastante alterado (ombreira esquerda)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P<sub>0</sub>= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,362318841	3,78169E-05
3	2	0,666666667	0,512820513	5,35255E-05
4	2	0,666666667	0,724637681	7,56339E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,65	0,063743	0,00
2	1	0,92	0,090221	3,69
3	2	1,3	0,127486	5,23
4	2	0,92	0,090221	7,39
5	0	0,65	0,063743	0,00

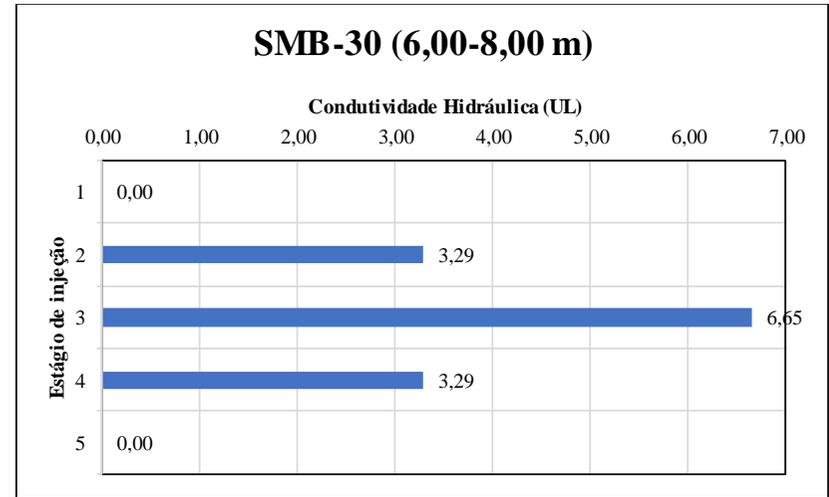
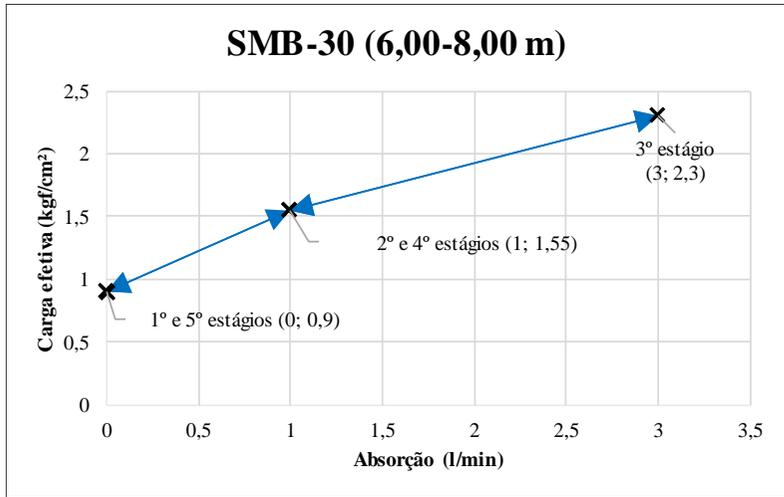
Condutividade hidráulica máxima:	7,56E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	0,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	3,06 m
----------------	-------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	7,56E-05	cm/s
	7,39	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>POUCAS PARCIALMENTE ABERTAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM ABERTURA (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com LAVAGEM (HOULSBY, 1976)**



Dados:  
 Litologia= gnaiss-migmatizado bastante alterado (ombreira esquerda)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,545173 adimensional  
 Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m  
 P0= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,5	0,322580645	3,02137E-05
3	3	1,5	0,652173913	6,10842E-05
4	1	0,5	0,322580645	3,02137E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,9	0,08826	0,00
2	1	1,55	0,152003	3,29
3	3	2,3	0,225553	6,65
4	1	1,55	0,152003	3,29
5	0	0,9	0,08826	0,00

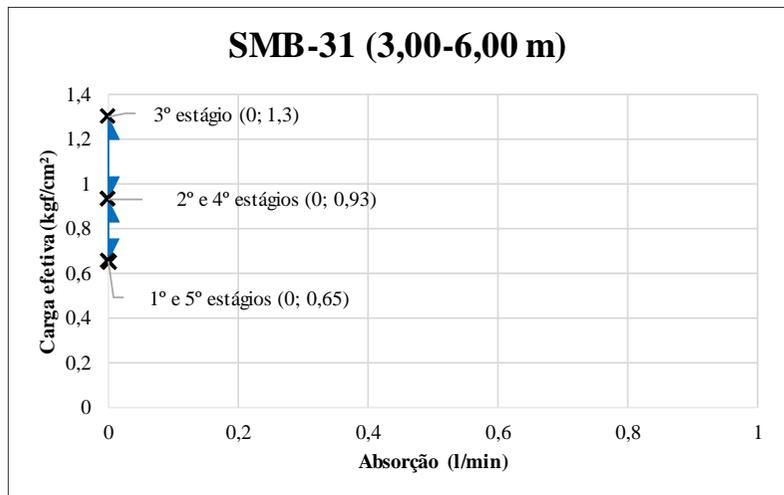
Condutividade hidráulica máxima:	6,11E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	3,06 m
48,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	6,11E-05	cm/s
	6,65	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>POUCAS PARCIALMENTE ABERTAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



**SMB-31 (3,00-6,00 m)**

**Condutividade Hidráulica (UL)**

	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
1	0,00					
2	0,00					
3	0,00					
4	0,00					
5	0,00					

Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,65	0,063743	0,00
2	0	0,93	0,091202	0,00
3	0	1,3	0,127486	0,00
4	0	0,93	0,091202	0,00
5	0	0,65	0,063743	0,00

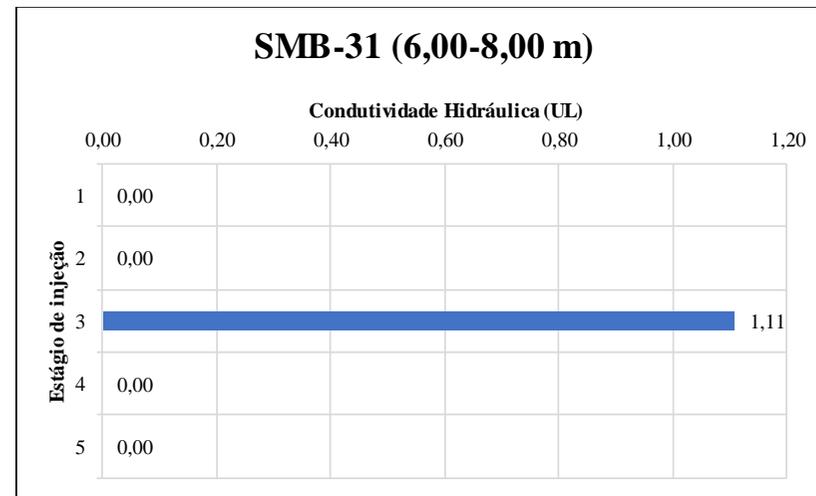
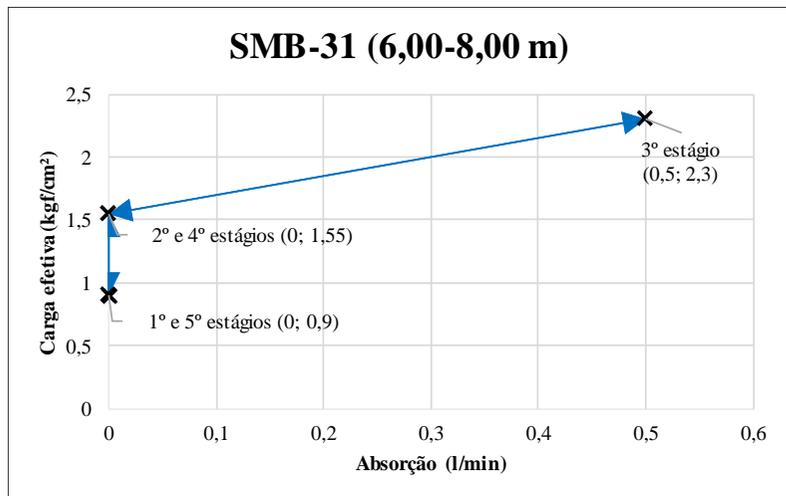
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	3,00 m
82,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA</b>		<b>HI</b> ▶
<b>REPRESENTATIVA:</b>		
Condições das fraturas:		
<b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>		

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0,5	0,25	0,108695652	1,01807E-05
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,9	0,08826	0,00
2	0	1,55	0,152003	0,00
3	0,5	2,3	0,225553	1,11
4	0	1,55	0,152003	0,00
5	0	0,9	0,08826	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	1,02E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

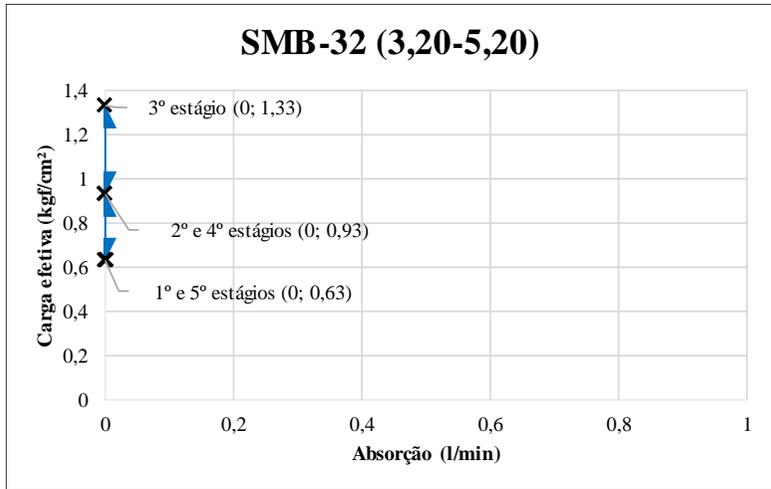
RQD associado:	97,75%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	3,00 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,02E-05	cm/s
	1,11	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

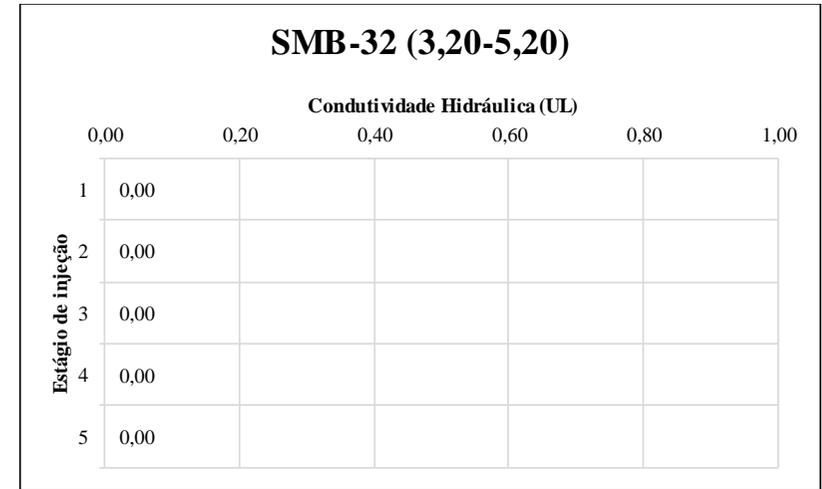
Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



L= 2 m

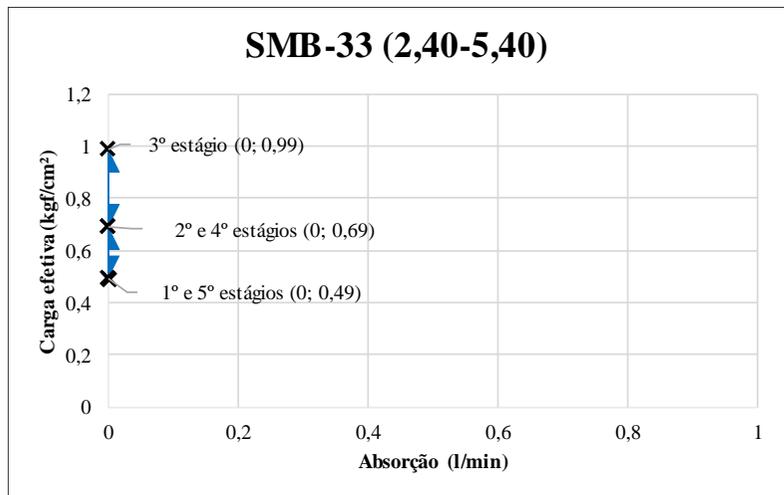
P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,63	0,061782	0,00
2	0	0,93	0,091202	0,00
3	0	1,33	0,130428	0,00
4	0	0,93	0,091202	0,00
5	0	0,63	0,061782	0,00

RQD associado: 94,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,20 m
--------------------------	--

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	



**SMB-33 (2,40-5,40)**

**Condutividade Hidráulica (UL)**

	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
1	0,00					
2	0,00					
3	0,00					
4	0,00					
5	0,00					

Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0	0,69	0,067666	0,00
3	0	0,99	0,097086	0,00
4	0	0,69	0,067666	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

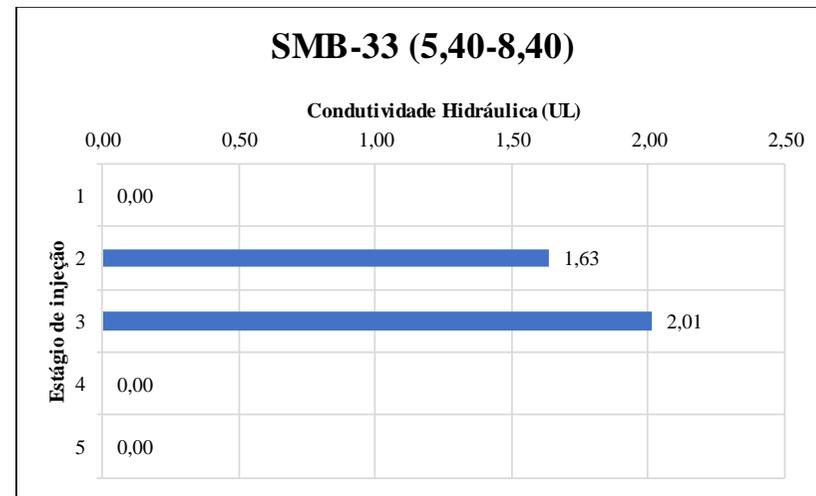
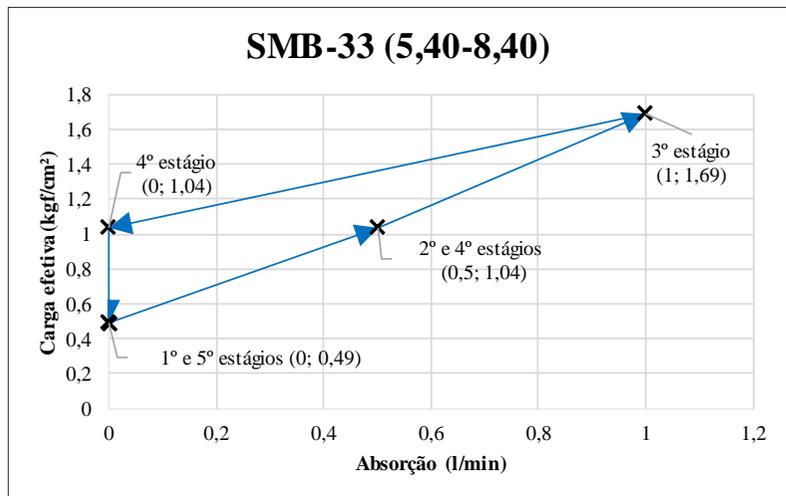
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado: 74,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 2,40 m
-----------------------	--

<b><u>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</u></b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

<b><u>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</u></b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b><u>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</u></b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950637842 adimensional

Fator de forma= 0,000104375 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0,5	0,166666667	0,16025641	1,67267E-05
3	1	0,333333333	0,197238659	2,05867E-05
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0,5	1,04	0,101989	1,63
3	1	1,69	0,165732	2,01
4	0	1,04	0,101989	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	2,06E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

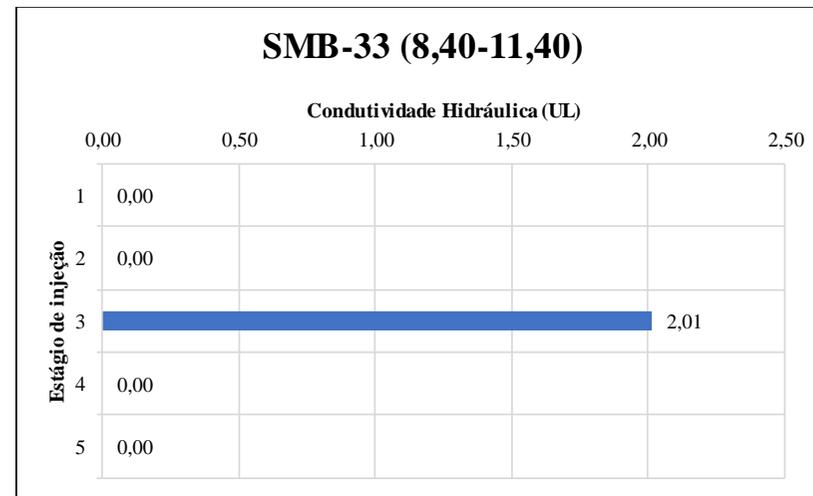
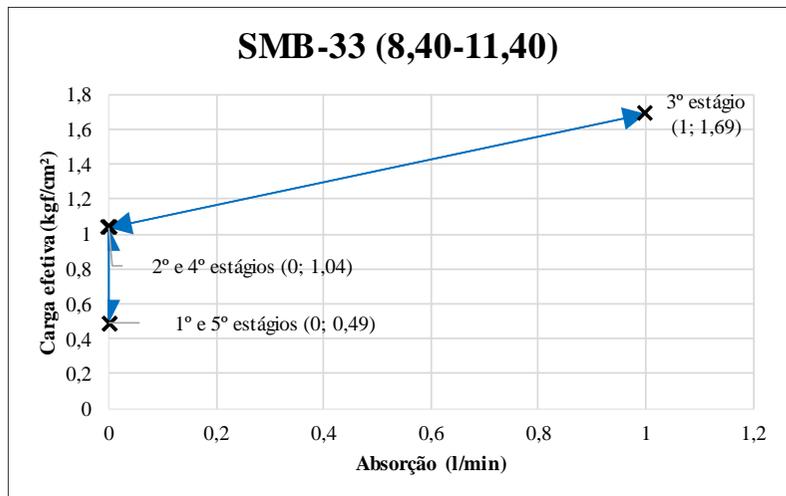
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	2,40 m
98,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,06E-05	cm/s
	2,01	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950637842 adimensional

Fator de forma= 0,000104375 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,197238659	2,05867E-05
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0	1,04	0,101989	0,00
3	1	1,69	0,165732	2,01
4	0	1,04	0,101989	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

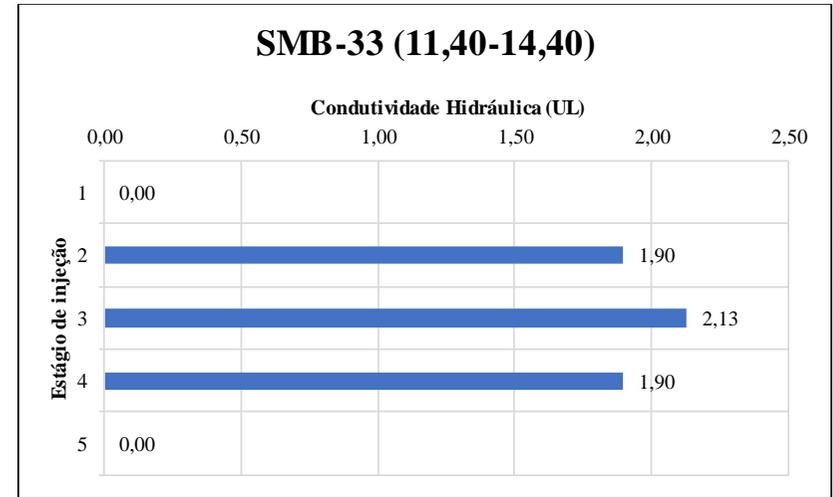
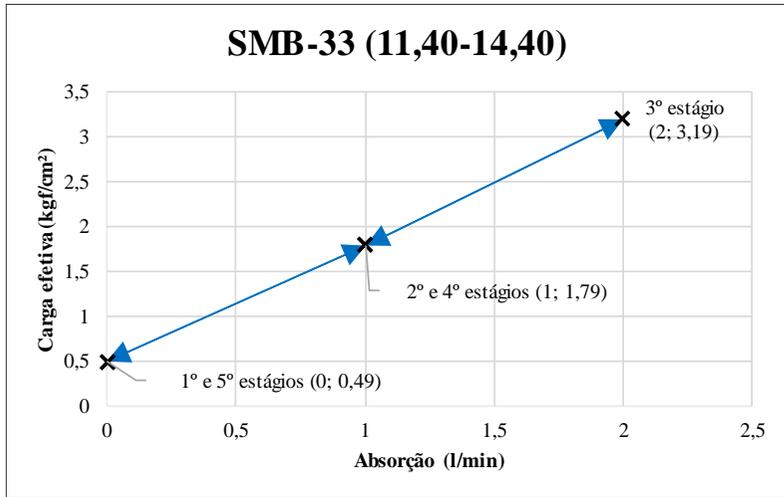
Conductividade hidráulica máxima:	2,06E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	79,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	2,40 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,06E-05	cm/s
	2,01	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,186219739	1,94366E-05
3	2	0,666666667	0,208986416	2,18129E-05
4	1	0,333333333	0,186219739	1,94366E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	1,79	0,175539	1,90
3	2	3,19	0,312832	2,13
4	1	1,79	0,175539	1,90
5	0	0,49	0,048053	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	2,18E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

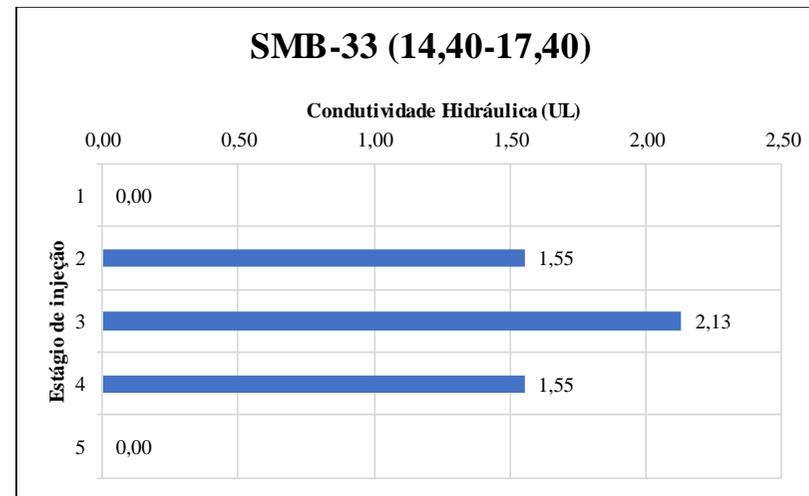
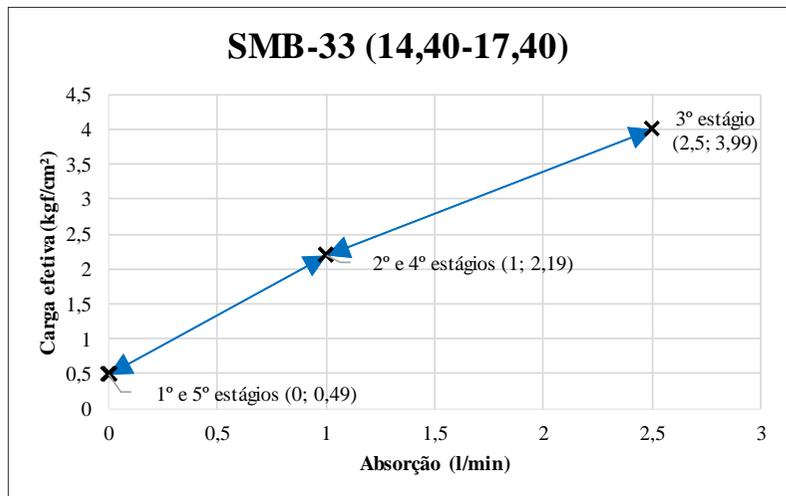
RQD associado: 80,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 2,40 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,18E-05	cm/s
	2,13	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,152207002	1,58866E-05
3	2,5	0,833333333	0,208855472	2,17992E-05
4	1	0,333333333	0,152207002	1,58866E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	2,19	0,214766	1,55
3	2,5	3,99	0,391285	2,13
4	1	2,19	0,214766	1,55
5	0	0,49	0,048053	0,00

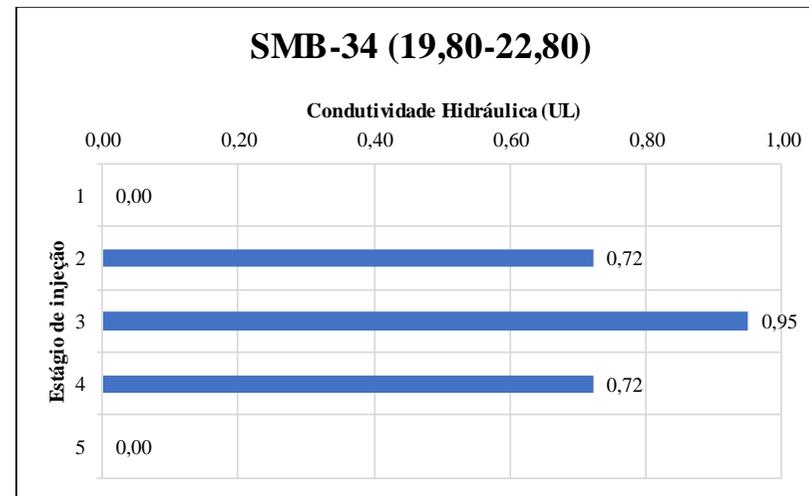
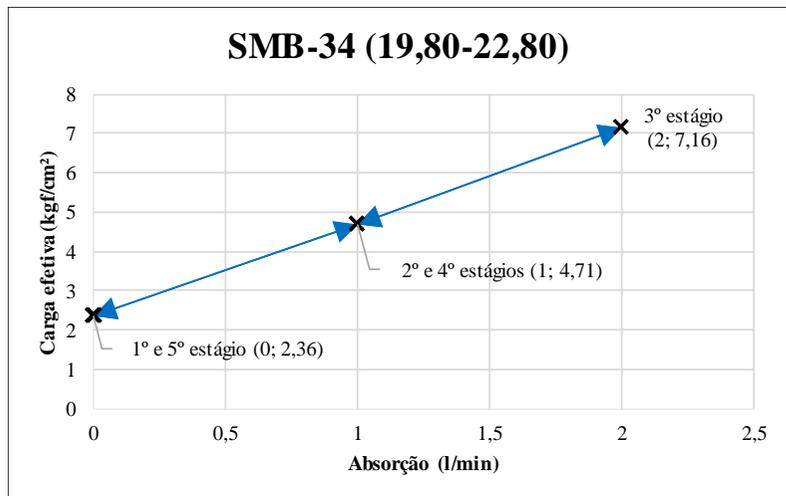
Condutividade hidráulica máxima:	2,18E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	2,40 m
90,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,18E-05	cm/s
	2,13	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= rocha gnáissica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,070771408	7,38675E-06
3	2	0,666666667	0,09310987	9,71832E-06
4	1	0,333333333	0,070771408	7,38675E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	2,36	0,231437	0,00
2	1	4,71	0,461893	0,72
3	2	7,16	0,702156	0,95
4	1	4,71	0,461893	0,72
5	0	2,36	0,231437	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	9,72E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

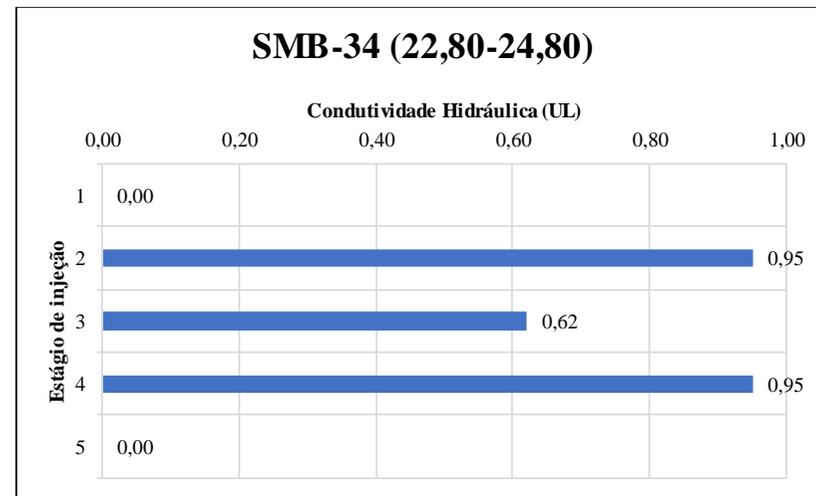
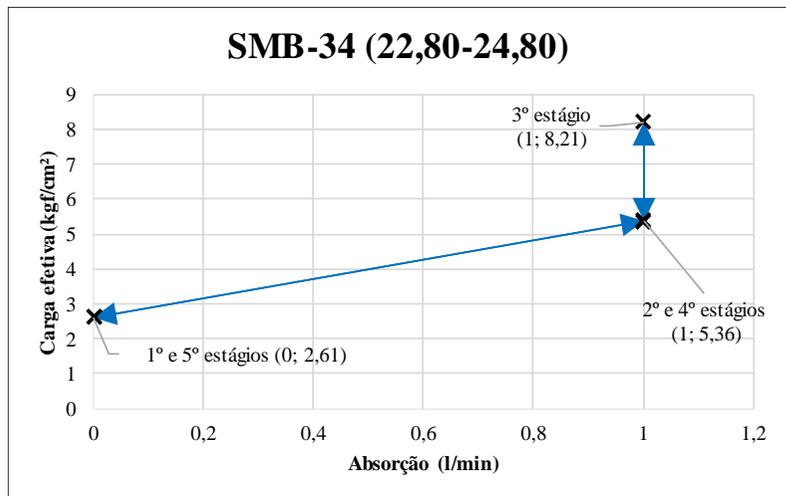
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	19,80 m
67,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	9,72E-06	cm/s
	0,95	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545173 adimensional

Fator de forma= 9,37E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,5	0,093283582	8,73717E-06
3	1	0,5	0,06090134	5,70417E-06
4	1	0,5	0,093283582	8,73717E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	2,61	0,255954	0,00
2	1	5,36	0,525636	0,95
3	1	8,21	0,805126	0,62
4	1	5,36	0,525636	0,95
5	0	2,61	0,255954	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	8,74E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

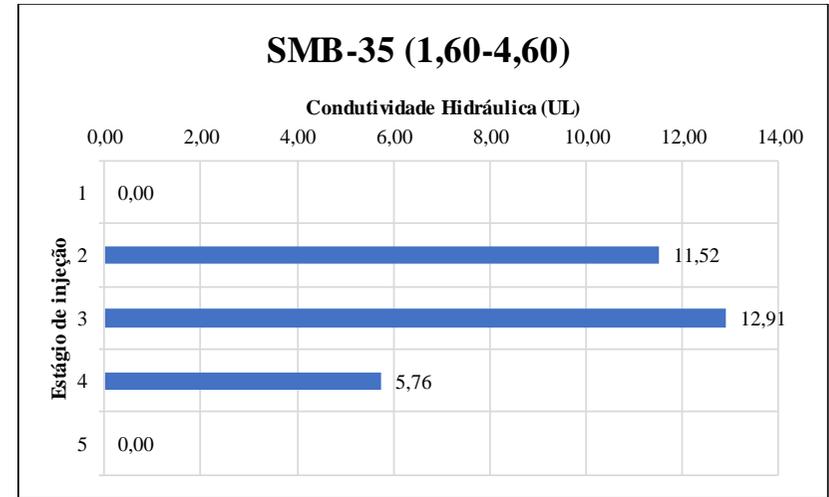
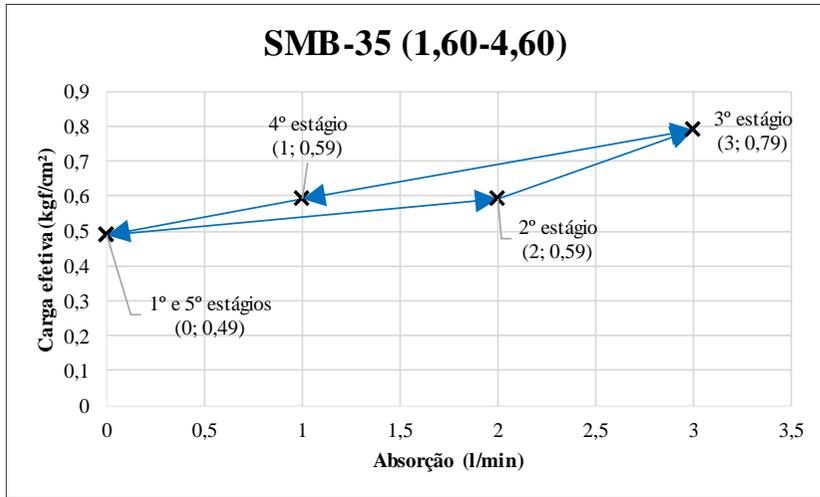
RQD associado:	56,25%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	19,80 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	8,74E-06	cm/s
	0,95	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>MUITO APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

a= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	2	0,666666667	1,129943503	0,000117938
3	3	1	1,265822785	0,00013212
4	1	0,333333333	0,564971751	5,89688E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	2	0,59	0,057859	11,52
3	3	0,79	0,077473	12,91
4	1	0,59	0,057859	5,76
5	0	0,49	0,048053	0,00

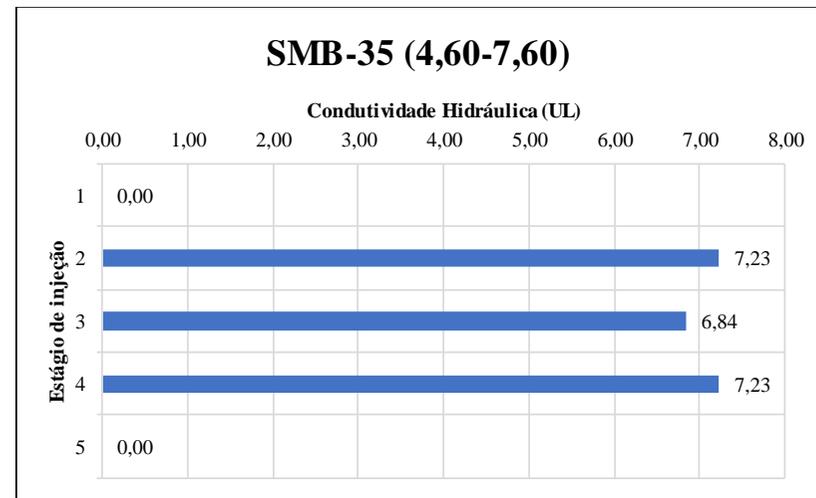
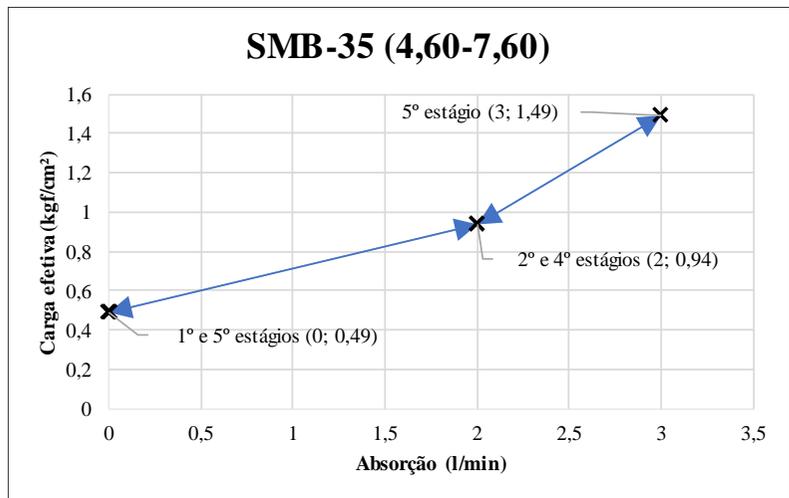
Condutividade hidráulica máxima:	1,32E-04	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	26,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,60 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,32E-04	cm/s
	12,91	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H3</b> ▶
Condições das fraturas: <b>POUCAS PARCIALMENTE ABERTAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	2	0,666666667	0,709219858	7,40246E-05
3	3	1	0,67114094	7,00502E-05
4	2	0,666666667	0,709219858	7,40246E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	2	0,94	0,092183	7,23
3	3	1,49	0,146119	6,84
4	2	0,94	0,092183	7,23
5	0	0,49	0,048053	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	7,40E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

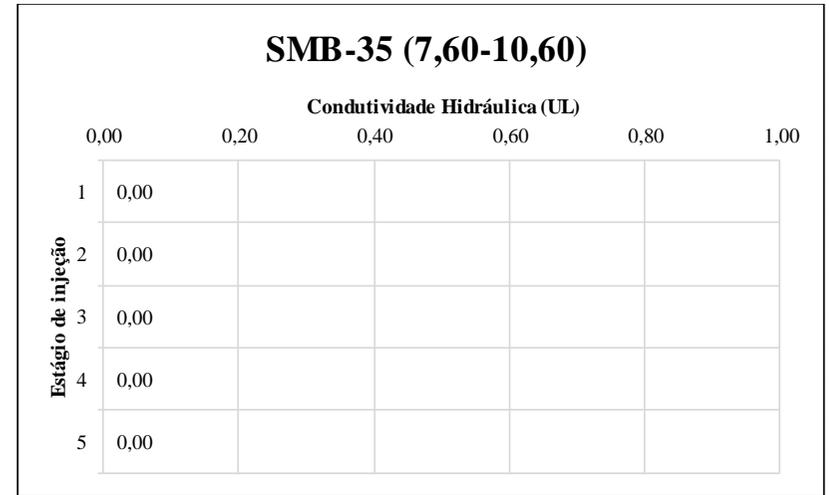
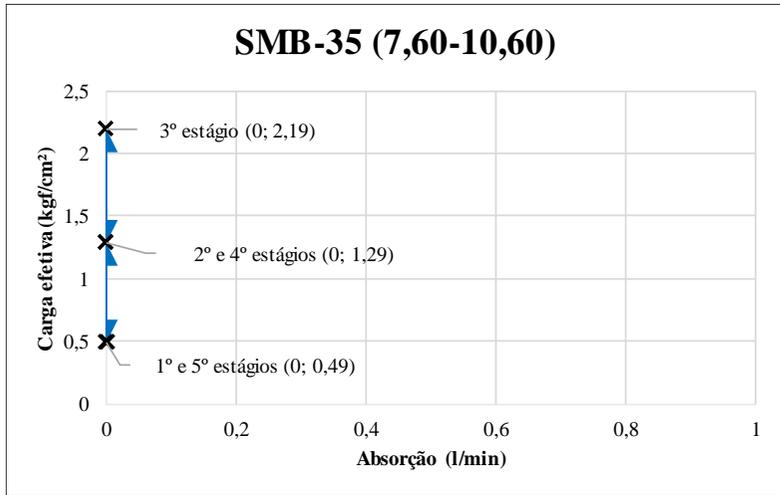
RQD associado:	48,33%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,60 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	7,40E-05	cm/s
	7,23	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>POUCAS PARCIALMENTE ABERTAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:  
 Litologia= maciço granítico (fundo do vale)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P<sub>0</sub>= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0	1,29	0,126506	0,00
3	0	2,19	0,214766	0,00
4	0	1,29	0,126506	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

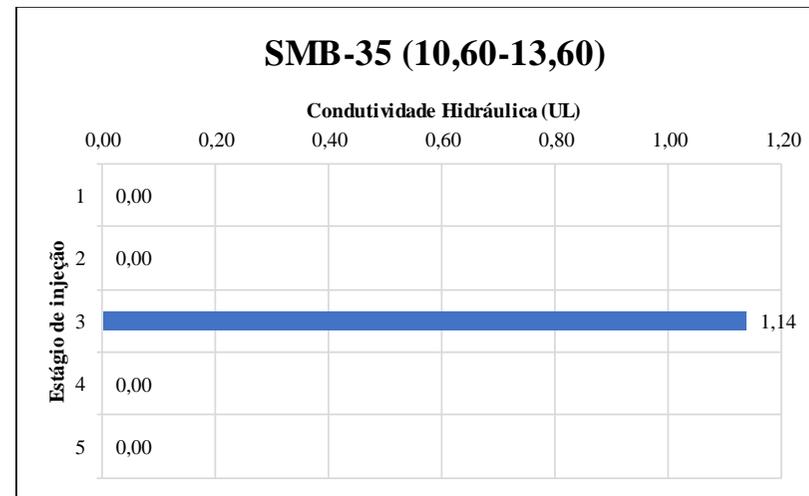
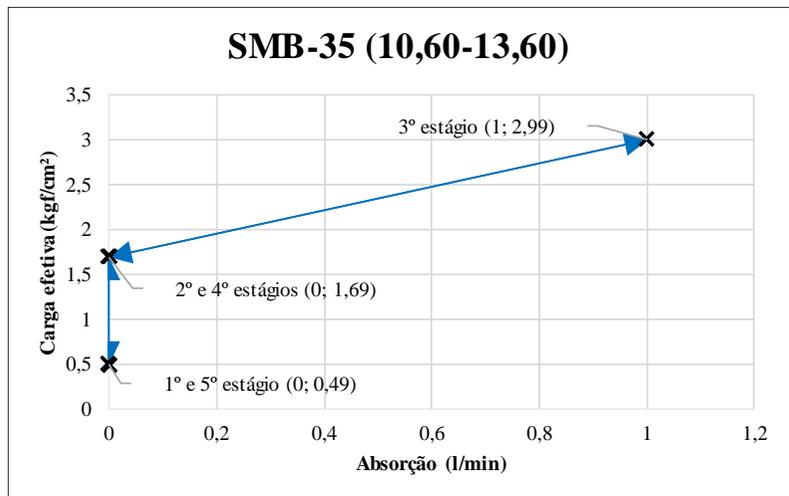
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 84,33%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 1,60 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,11148272	1,1636E-05
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0	1,69	0,165732	0,00
3	1	2,99	0,293219	1,14
4	0	1,69	0,165732	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	1,16E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

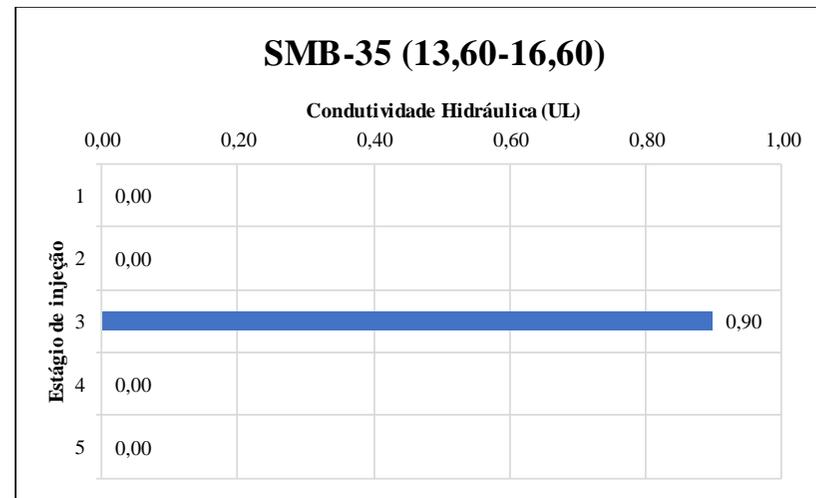
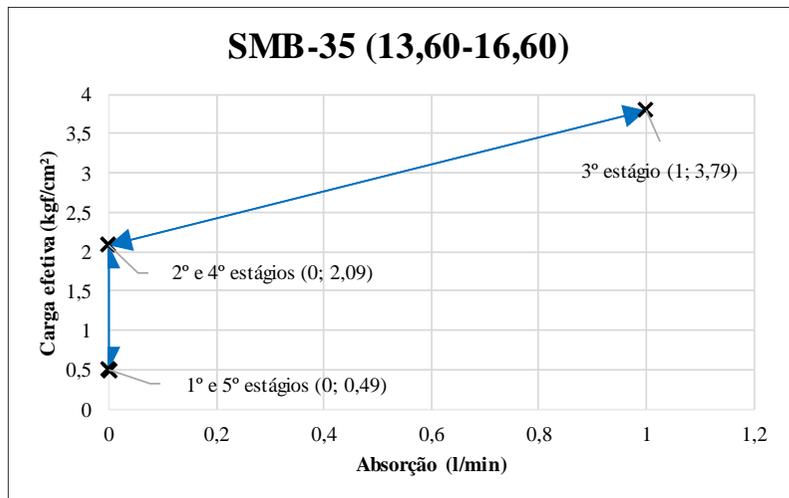
RQD associado:	94,17%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,60 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,16E-05	cm/s
	1,14	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,087950748	9,17984E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0	2,09	0,204959	0,00
3	1	3,79	0,371672	0,90
4	0	2,09	0,204959	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

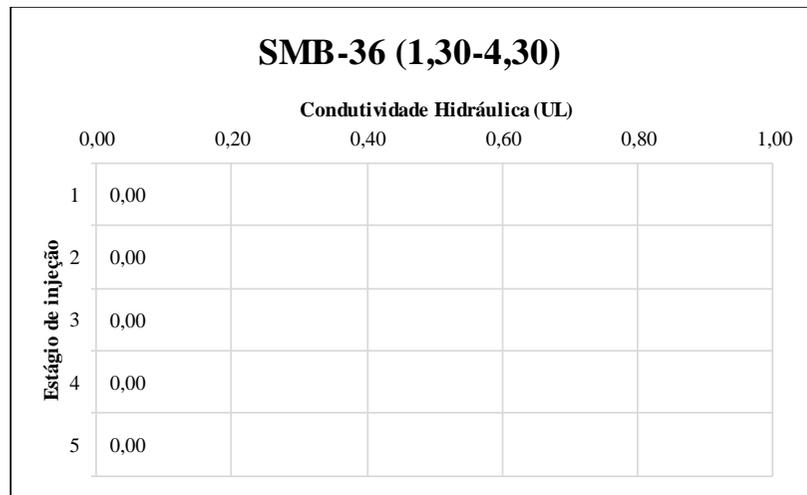
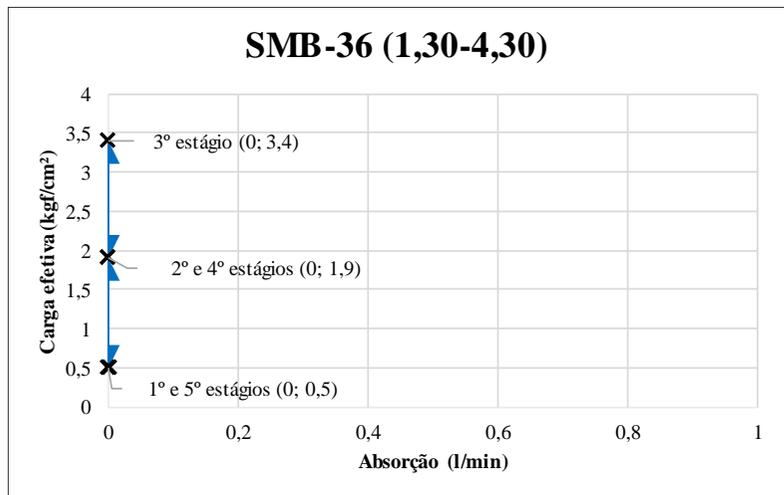
Conductividade hidráulica máxima:	9,18E-06	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,60 m
96,33%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	9,18E-06	cm/s
	0,9	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,5	0,049033	0,00
2	0	1,9	0,186326	0,00
3	0	3,4	0,333426	0,00
4	0	1,9	0,186326	0,00
5	0	0,5	0,049033	0,00

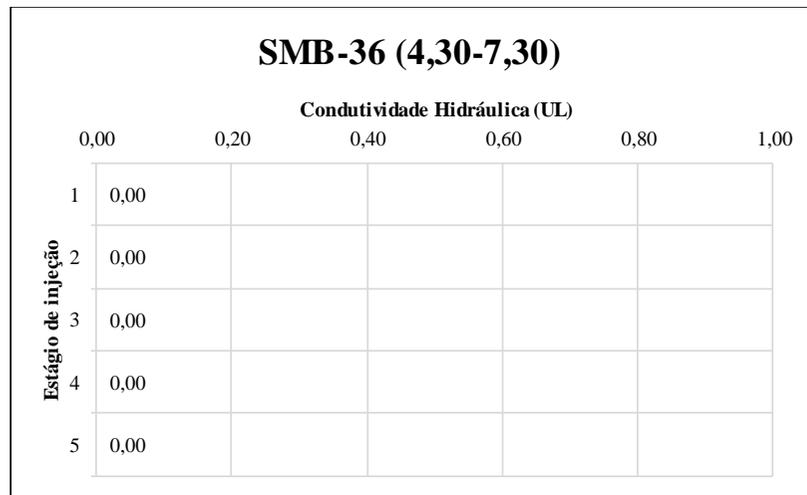
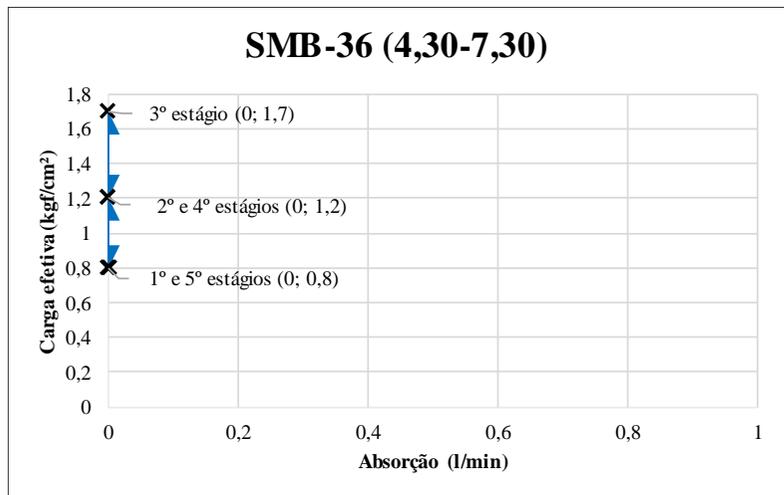
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,30 m
79,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,8	0,078453	0,00
2	0	1,2	0,11768	0,00
3	0	1,7	0,166713	0,00
4	0	1,2	0,11768	0,00
5	0	0,8	0,078453	0,00

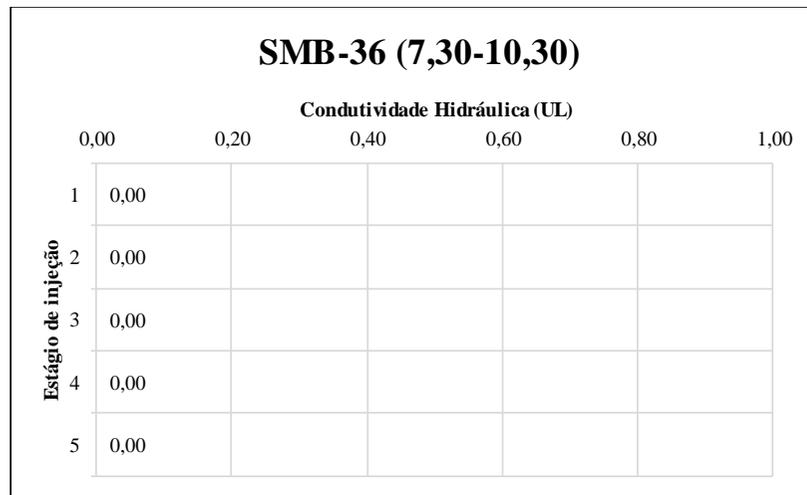
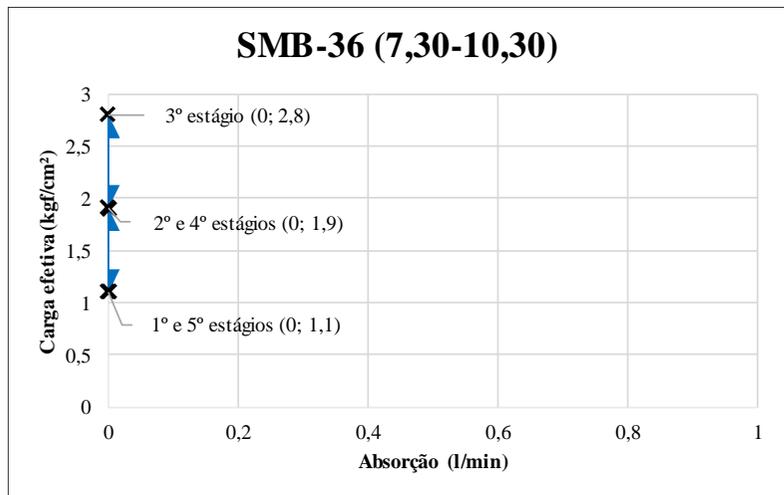
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,30 m
93,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,1	0,107873	0,00
2	0	1,9	0,186326	0,00
3	0	2,8	0,274586	0,00
4	0	1,9	0,186326	0,00
5	0	1,1	0,107873	0,00

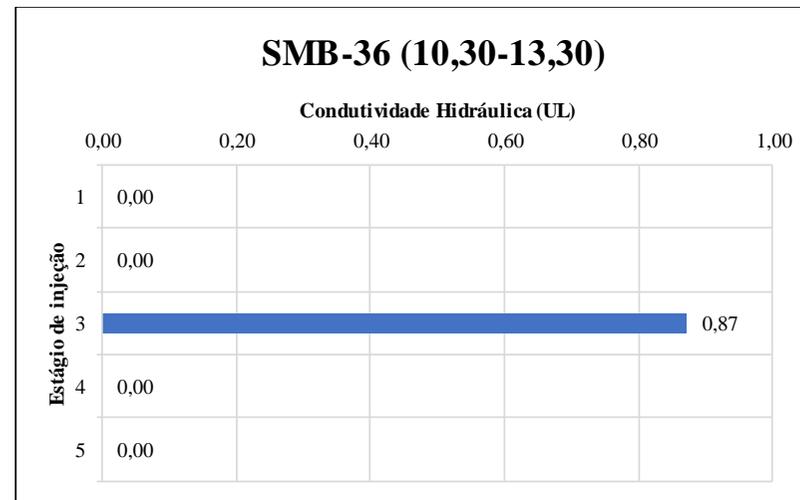
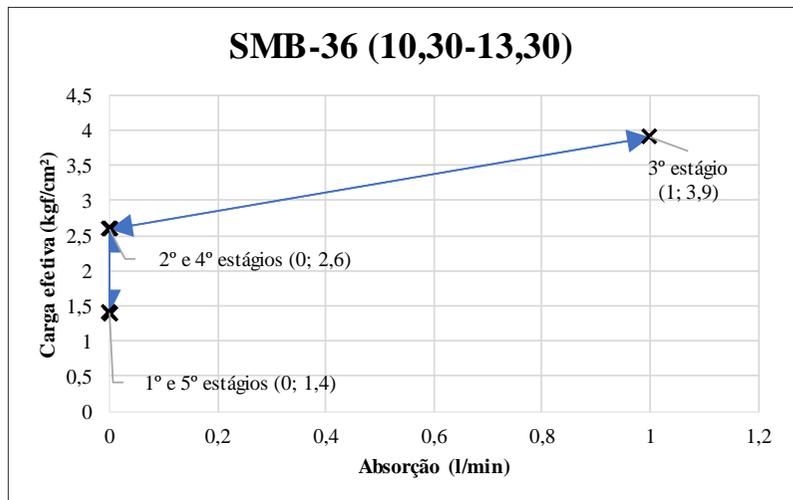
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	1,30 m
98,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,085470085	8,92092E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,4	0,137293	0,00
2	0	2,6	0,254973	0,00
3	1	3,9	0,382459	0,87
4	0	2,6	0,254973	0,00
5	0	1,4	0,137293	0,00

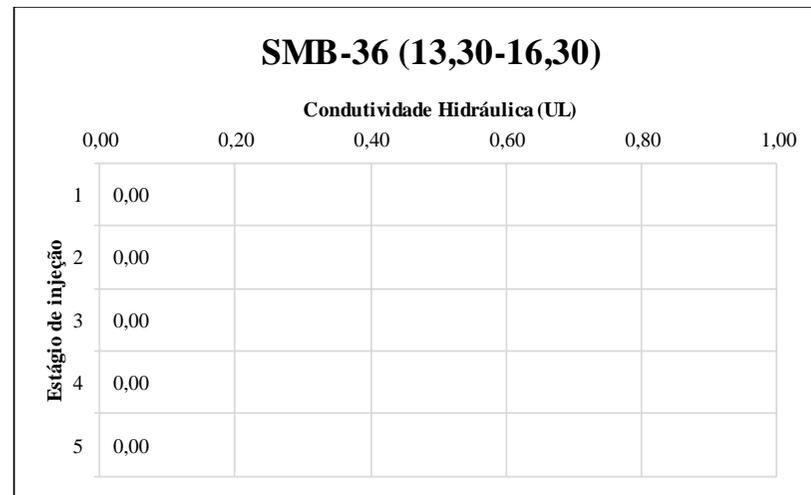
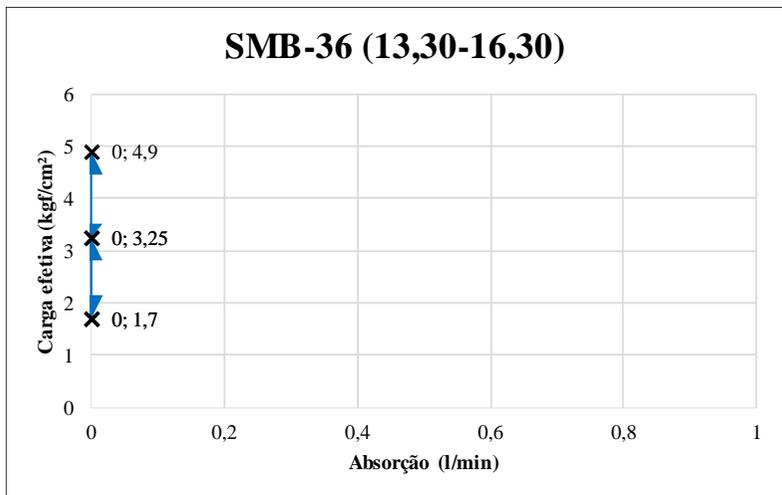
Condutividade hidráulica máxima:	8,92E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	99,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida	1,30 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	8,92E-06	cm/s
	0,87	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:  
 Litologia= maciço granítico (fundo do vale)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P<sub>0</sub>= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,7	0,166713	0,00
2	0	3,25	0,318716	0,00
3	0	4,9	0,480526	0,00
4	0	3,25	0,318716	0,00
5	0	1,7	0,166713	0,00

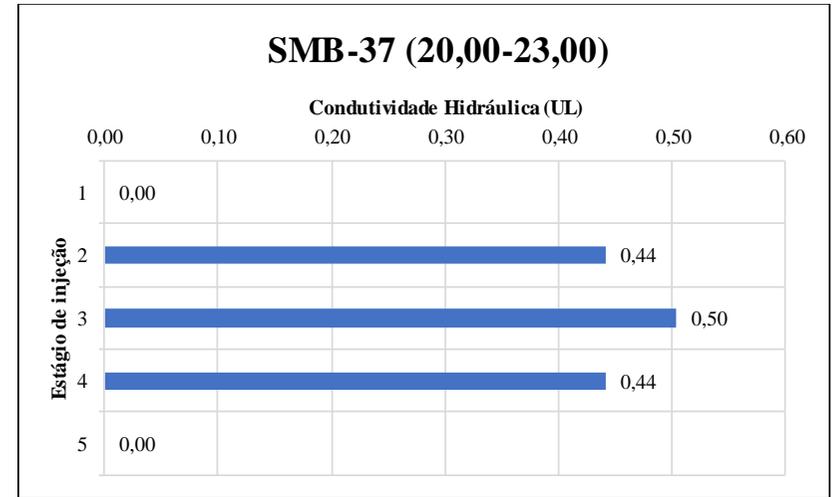
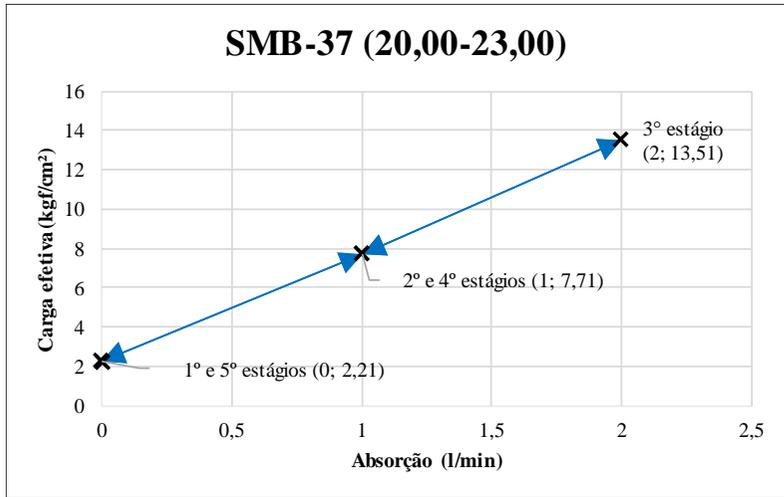
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 98,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 1,30 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= rocha gnáissica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,043233895	4,51253E-06
3	2	0,666666667	0,049346163	5,15049E-06
4	1	0,333333333	0,043233895	4,51253E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	2,21	0,216727	0,00
2	1	7,71	0,756093	0,44
3	2	13,51	1,324878	0,50
4	1	7,71	0,756093	0,44
5	0	2,21	0,216727	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	5,15E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

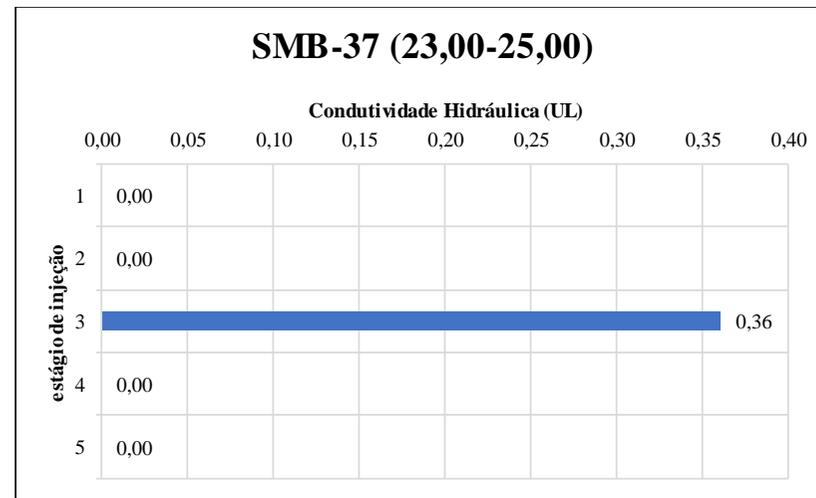
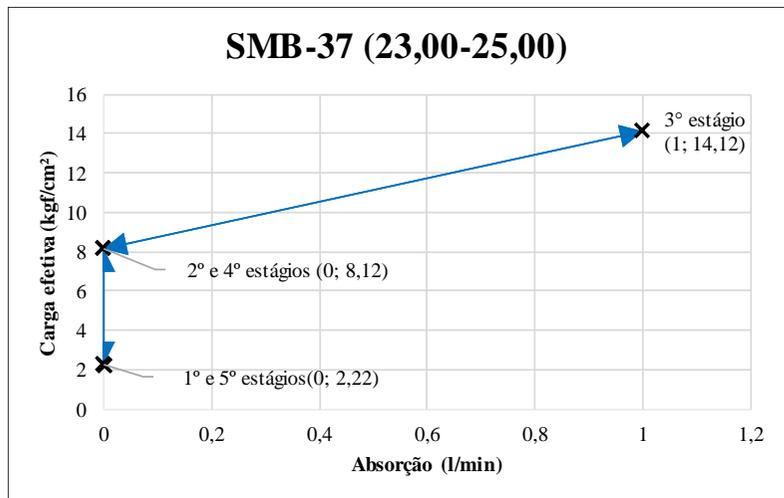
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	20,00 m
94,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	5,15E-06	cm/s
	0,5	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= rocha gnáissica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545172733 adimensional

Fator de forma= 9,36625E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,5	0,035410765	3,31666E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	2,22	0,217708	0,00
2	0	8,12	0,7963	0,00
3	1	14,12	1,384699	0,36
4	0	8,12	0,7963	0,00
5	0	2,22	0,217708	0,00

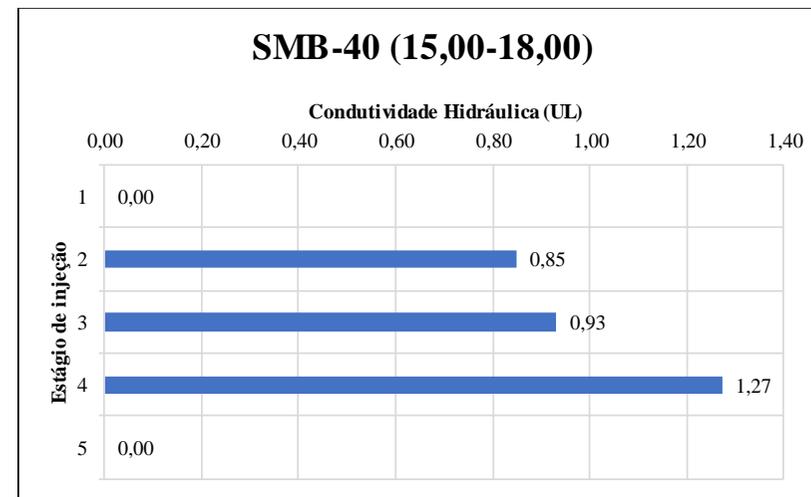
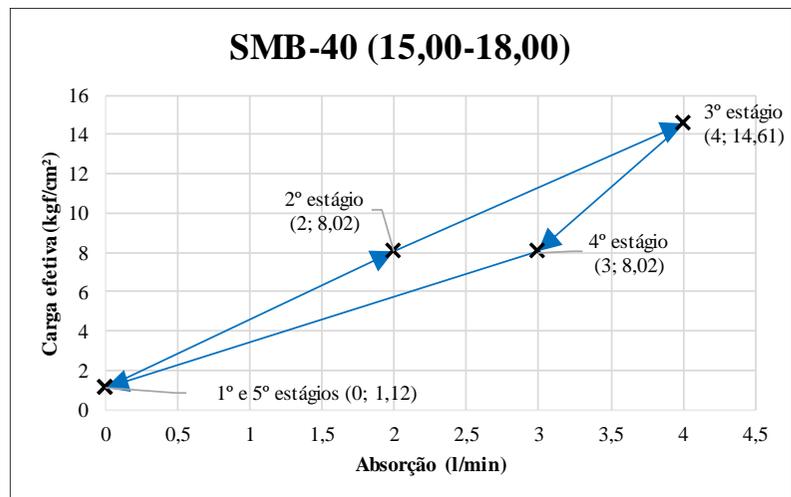
Conductividade hidráulica máxima:	3,32E-06	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	95,75%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	20,00 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	3,32E-06	cm/s
	0,36	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	2	0,666666667	0,08312552	8,67621E-06
3	4	1,333333333	0,091261693	9,52542E-06
4	3	1	0,124688279	1,30143E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,12	0,109834	0,00
2	2	8,02	0,786493	0,85
3	4	14,61	1,432752	0,93
4	3	8,02	0,786493	1,27
5	0	1,12	0,109834	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,30E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

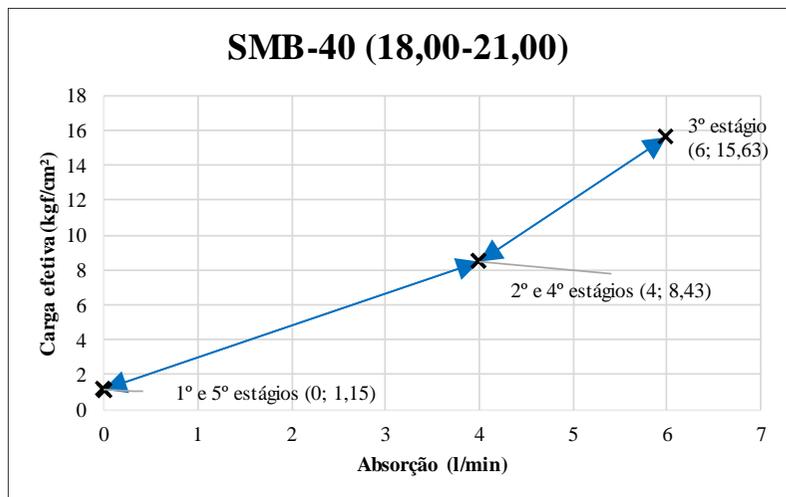
RQD associado:	31,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,00 m
----------------	--------	---	---------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,30E-05	cm/s
	1,27	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM ABERTURA (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com LAVAGEM (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

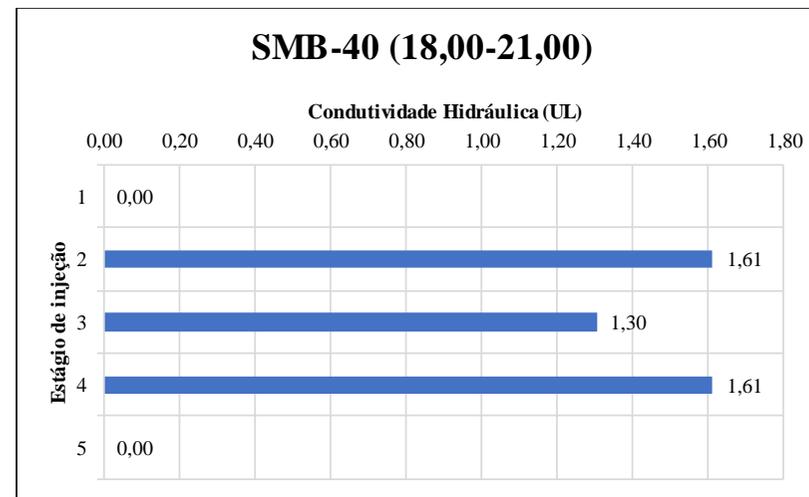
Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm <sup>2</sup> )	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	4	1,333333333	0,158165283	1,65085E-05
3	6	2	0,127959053	1,33557E-05
4	4	1,333333333	0,158165283	1,65085E-05
5	0	0	0	0

Conductividade hidráulica máxima:	1,65E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

<b><u>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</u></b>	1,65E-05	cm/s
	1,61	UL

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO (HOULSBY, 1976)**



L= 3 m

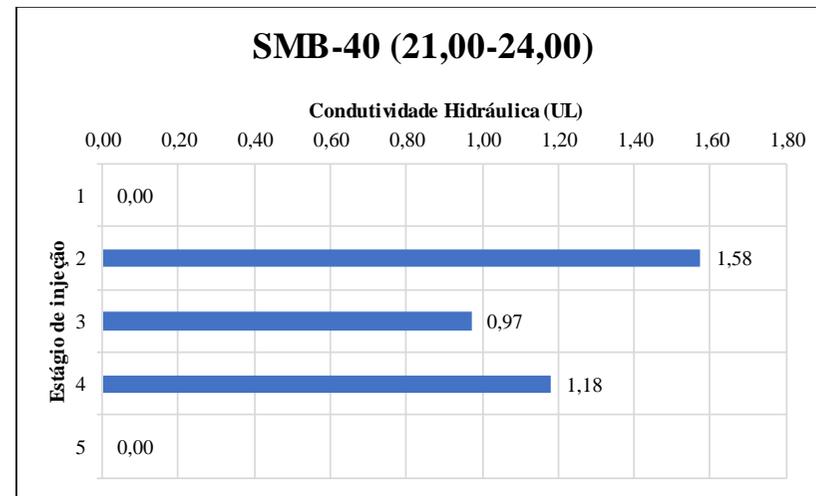
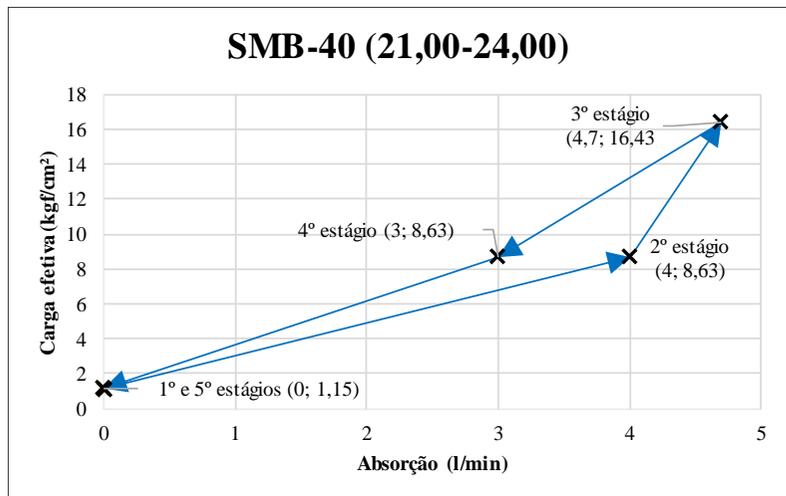
P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	4	8,43	0,826701	1,61
3	6	15,63	1,532779	1,30
4	4	8,43	0,826701	1,61
5	0	1,15	0,112776	0,00

RQD associado:	34,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,00 m
----------------	--------	---	---------

<b><u>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</u></b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b><u>APERTADAS</u></b>	



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950637842 adimensional

Fator de forma= 0,000104375 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	4	1,333333333	0,154499807	1,61259E-05
3	4,7	1,566666667	0,095354027	9,95255E-06
4	3	1	0,115874855	1,20944E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	4	8,63	0,846314	1,58
3	4,7	16,43	1,611233	0,97
4	3	8,63	0,846314	1,18
5	0	1,15	0,112776	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,61E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

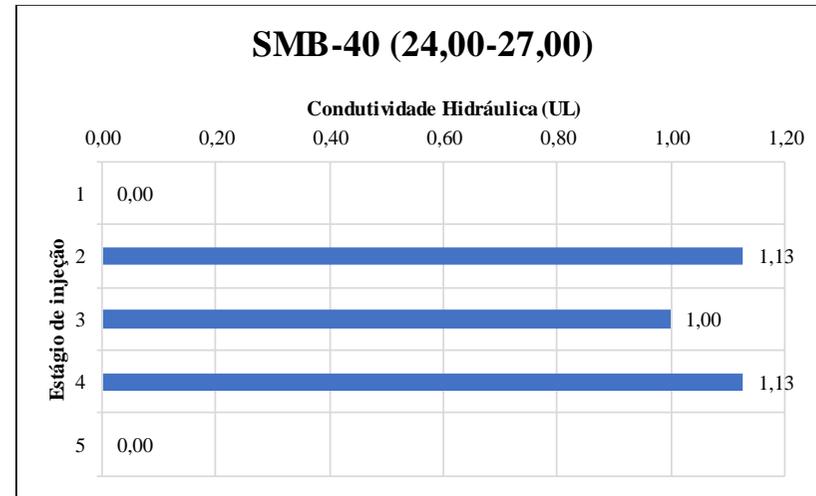
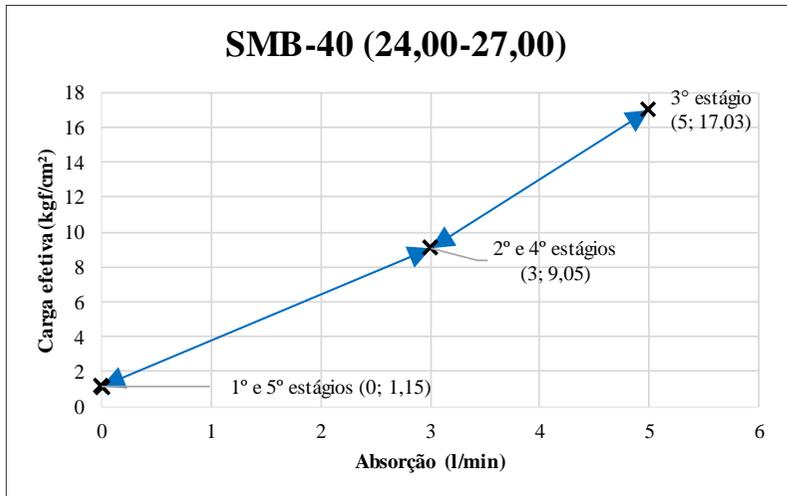
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,00 m
90,83%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,61E-05	cm/s
	1,58	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO e FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950637842 adimensional

Fator de forma= 0,000104375 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	3	1	0,110497238	1,15331E-05
3	5	1,666666667	0,09786651	1,02148E-05
4	3	1	0,110497238	1,15331E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	3	9,05	0,887502	1,13
3	5	17,03	1,670072	1,00
4	3	9,05	0,887502	1,13
5	0	1,15	0,112776	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,15E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

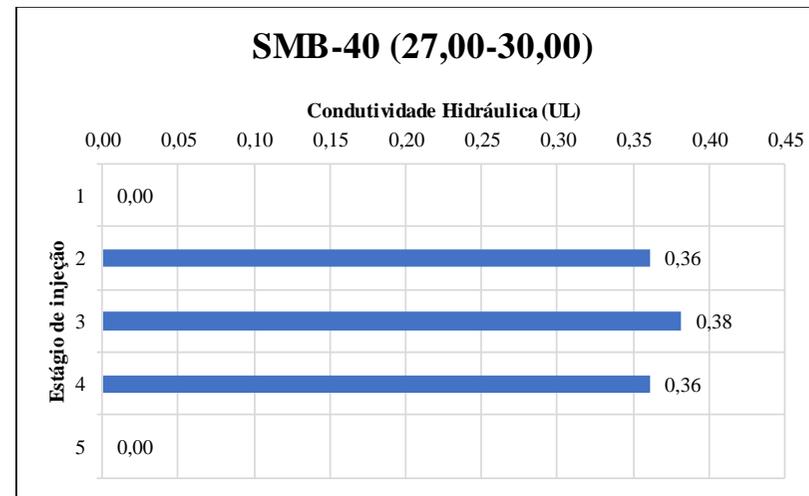
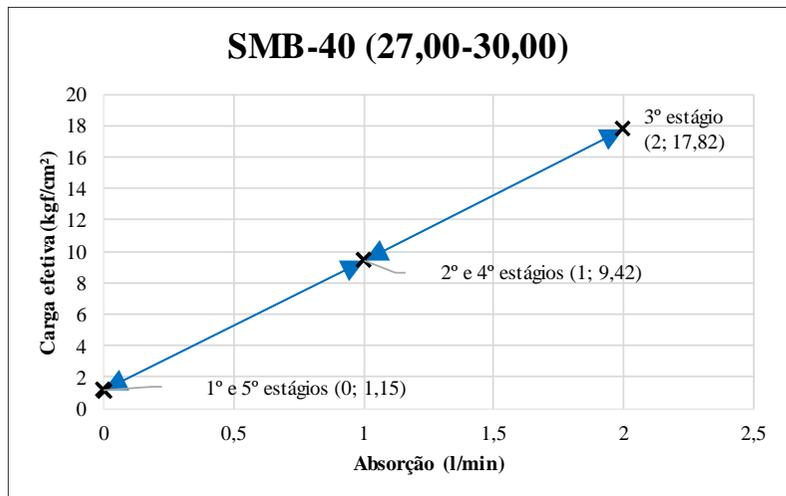
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,00 m
88,83%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,15E-05	cm/s
	1,13	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950637842 adimensional

Fator de forma= 0,000104375 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,035385704	3,69337E-06
3	2	0,666666667	0,037411149	3,90478E-06
4	1	0,333333333	0,035385704	3,69337E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	1	9,42	0,923786	0,36
3	2	17,82	1,747545	0,38
4	1	9,42	0,923786	0,36
5	0	1,15	0,112776	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	3,90E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

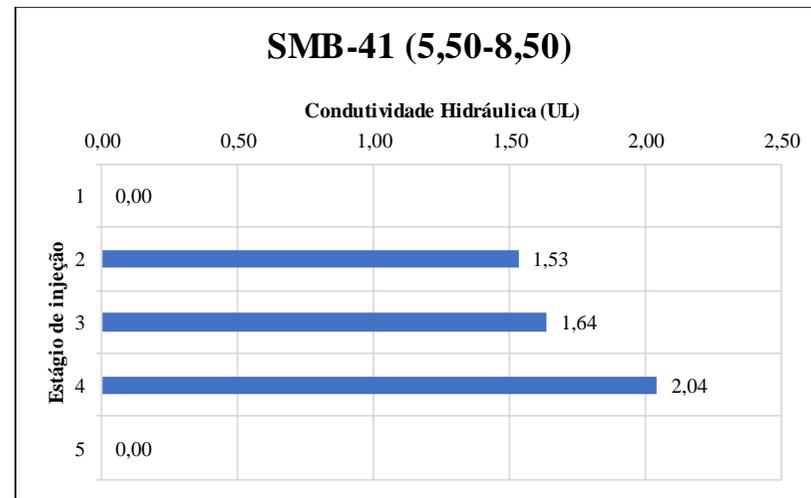
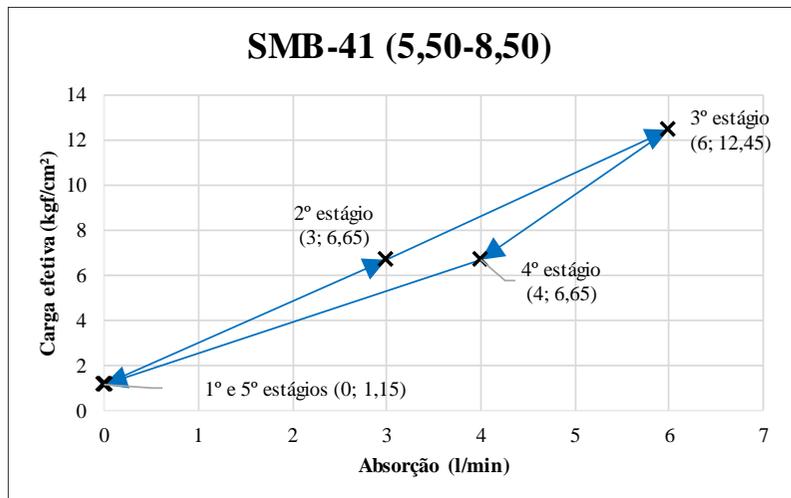
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	15,00 m
65,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	3,90E-06	cm/s
	0,38	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	3	1	0,15037594	1,56955E-05
3	6	2	0,16064257	1,6767E-05
4	4	1,333333333	0,200501253	2,09273E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	3	6,65	0,652142	1,53
3	6	12,45	1,220928	1,64
4	4	6,65	0,652142	2,04
5	0	1,15	0,112776	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	2,09E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

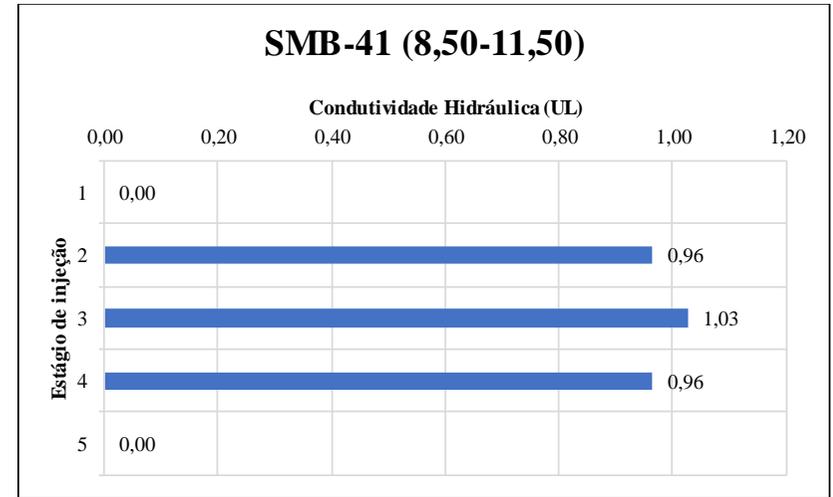
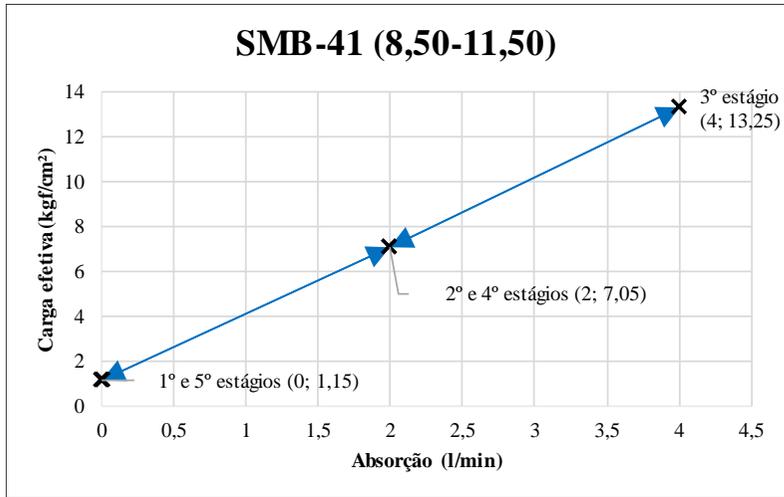
RQD associado: 6,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 2,50 m
----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,09E-05	cm/s
	2,04	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b>
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM ABERTURA (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com LAVAGEM (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	2	0,666666667	0,094562648	9,86995E-06
3	4	1,333333333	0,100628931	1,05031E-05
4	2	0,666666667	0,094562648	9,86995E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	2	7,05	0,691369	0,96
3	4	13,25	1,299381	1,03
4	2	7,05	0,691369	0,96
5	0	1,15	0,112776	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,05E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

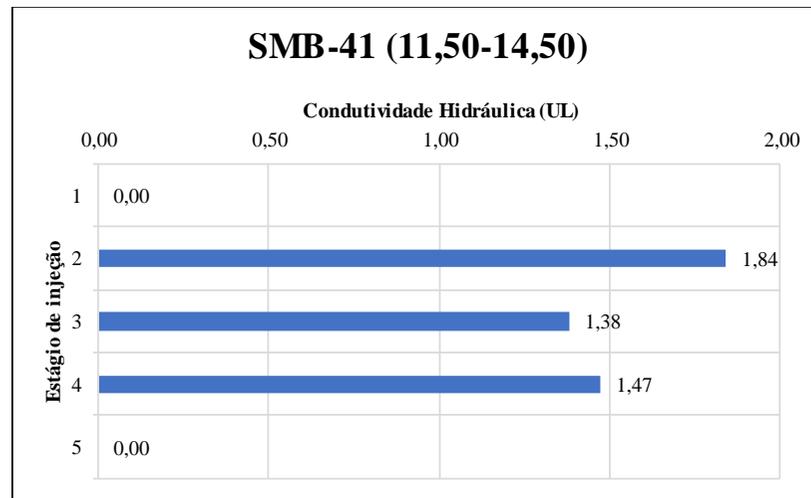
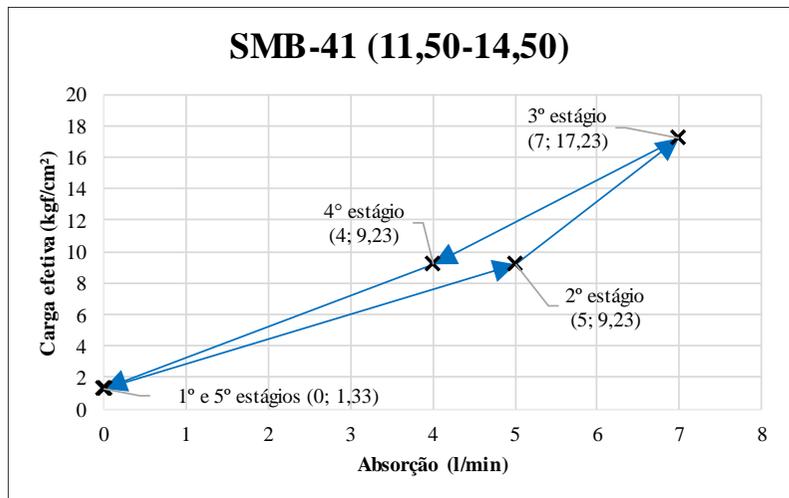
RQD associado: 45,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 2,50 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,05E-05	cm/s
	1,03	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas: <b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO LAMINAR (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e LAMINAR (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

$\alpha$ = 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	5	1,666666667	0,180570603	1,8847E-05
3	7	2,333333333	0,135422712	1,41347E-05
4	4	1,333333333	0,144456482	1,50776E-05
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,33	0,130428	0,00
2	5	9,23	0,905154	1,84
3	7	17,23	1,689686	1,38
4	4	9,23	0,905154	1,47
5	0	1,33	0,130428	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	1,88E-05	cm/s
-----------------------------------	----------	------

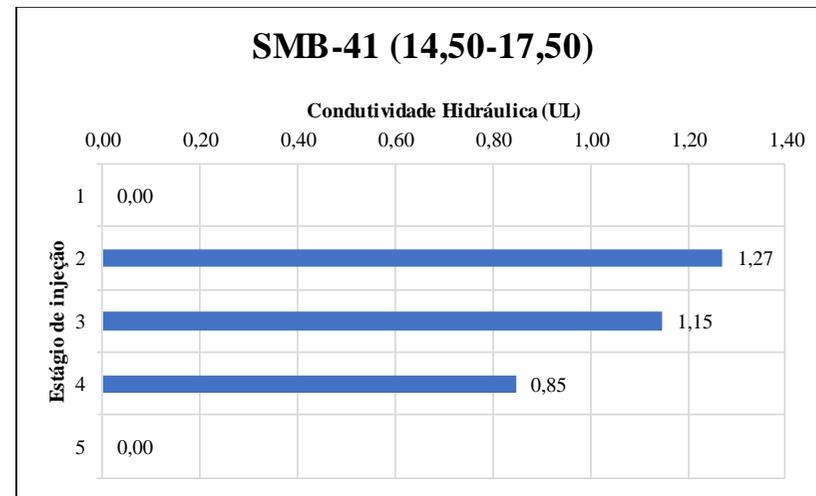
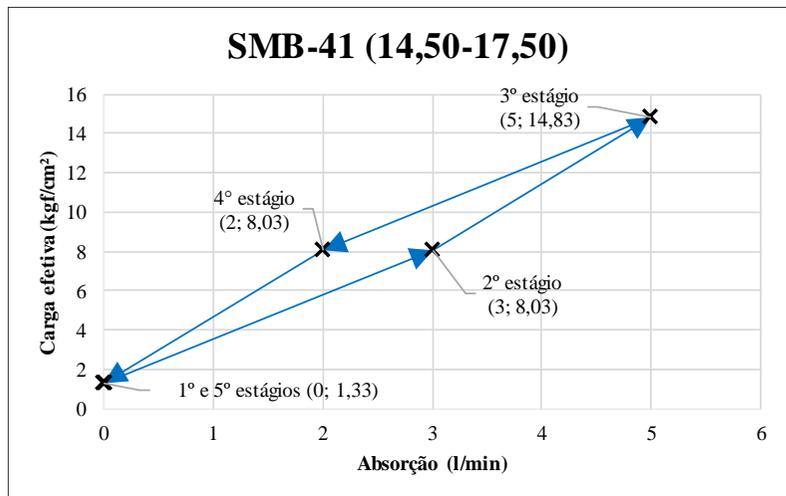
RQD associado: 20,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 2,50 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,88E-05	cm/s
	1,84	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO e FLUXO TURBULENTO (ABGE, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976).**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	3	1	0,124533001	1,29981E-05
3	5	1,666666667	0,112384806	1,17301E-05
4	2	0,666666667	0,083022001	8,6654E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,33	0,130428	0,00
2	3	8,03	0,787474	1,27
3	5	14,83	1,454326	1,15
4	2	8,03	0,787474	0,85
5	0	1,33	0,130428	0,00

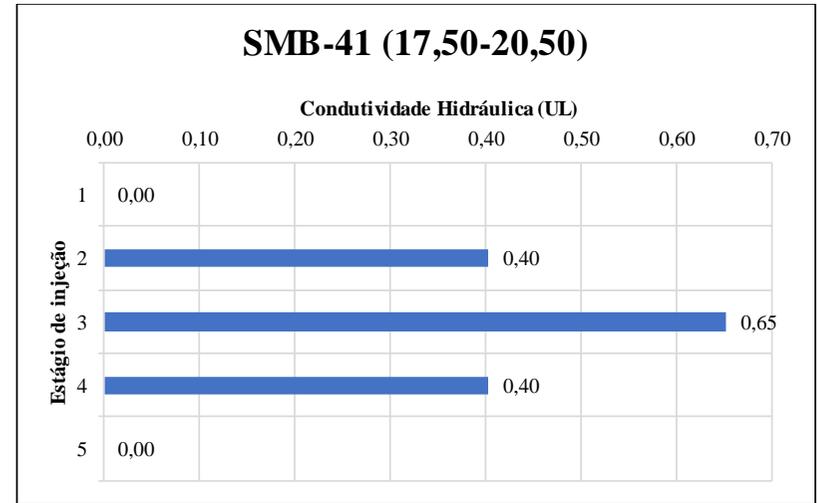
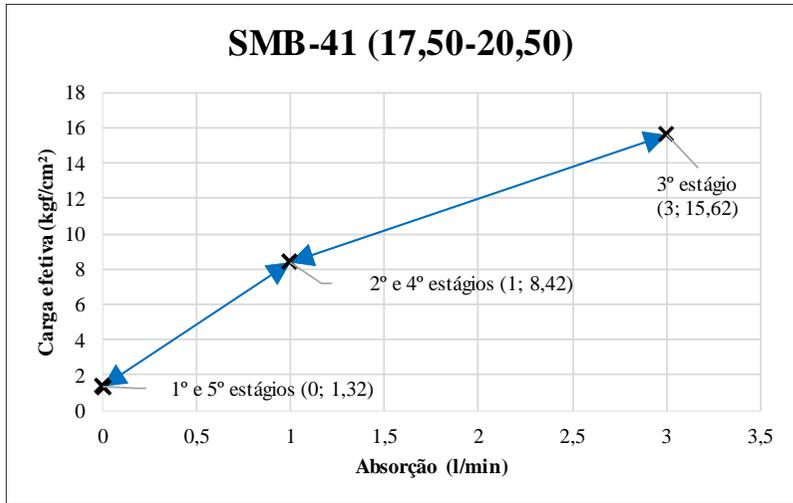
Condutividade hidráulica máxima:	1,30E-05	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	53,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	2,50 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,30E-05	cm/s
	1,27	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H2</b> ▶
Condições das fraturas:	<b>APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:  
 Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P<sub>0</sub>= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,039588282	4,13202E-06
3	3	1	0,064020487	6,68212E-06
4	1	0,333333333	0,039588282	4,13202E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,32	0,129448	0,00
2	1	8,42	0,82572	0,40
3	3	15,62	1,531799	0,65
4	1	8,42	0,82572	0,40
5	0	1,32	0,129448	0,00

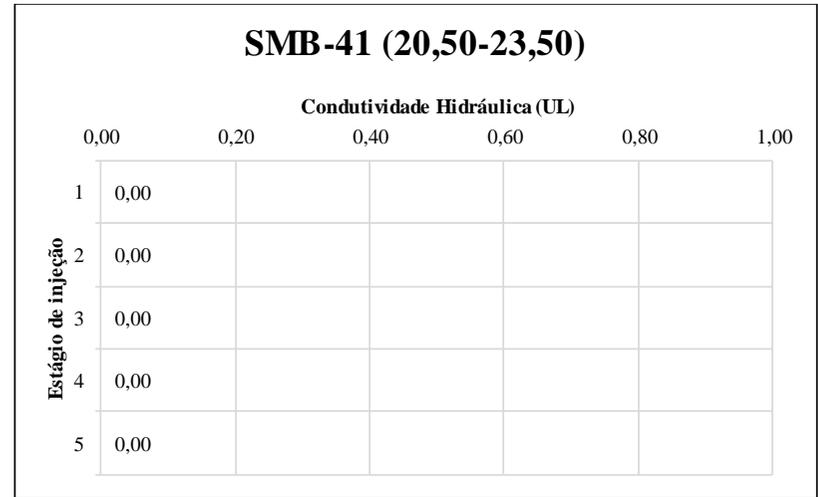
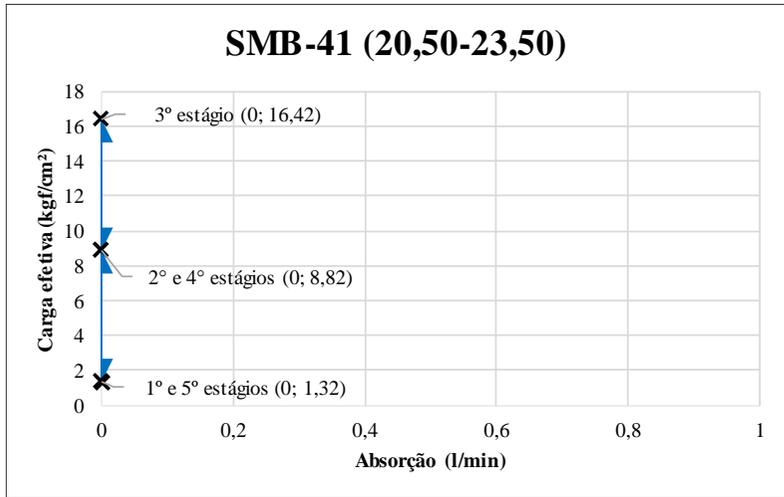
Condutividade hidráulica máxima:	6,68E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado: 68,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida	2,50 m
-----------------------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	6,68E-06	cm/s
	0,65	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H 1</b>
Condições das fraturas:	<b>MUITO APERTADAS</b>

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= injeção granítica (ombreira esquerda)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,32	0,129448	0,00
2	0	8,82	0,864947	0,00
3	0	16,42	1,610252	0,00
4	0	8,82	0,864947	0,00
5	0	1,32	0,129448	0,00

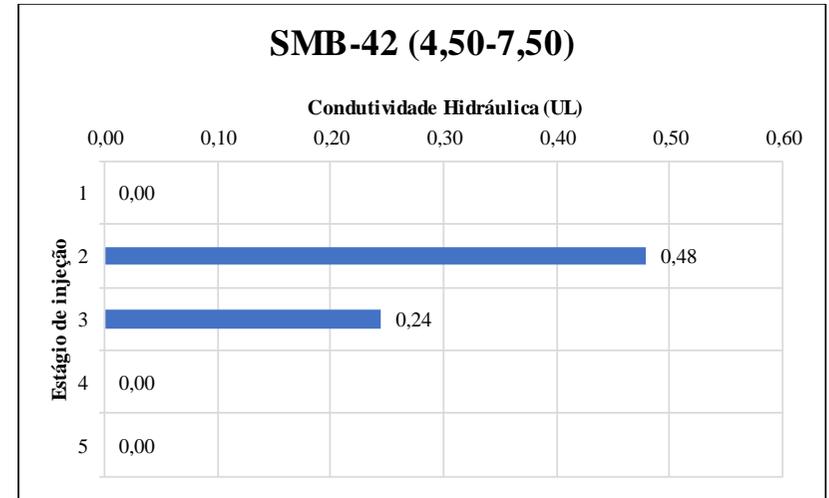
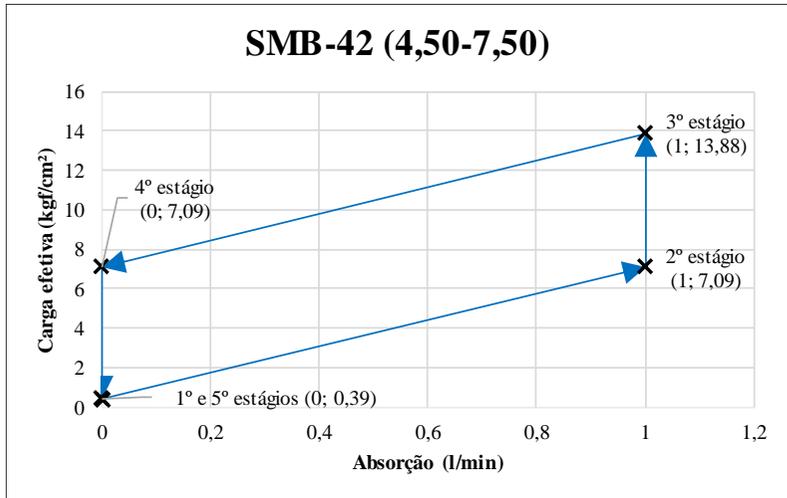
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 82,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 2,50 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,047014575	4,90713E-06
3	1	0,333333333	0,02401537	2,5066E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,39	0,038246	0,00
2	1	7,09	0,695291	0,48
3	1	13,88	1,361163	0,24
4	0	7,09	0,695291	0,00
5	0	0,39	0,038246	0,00

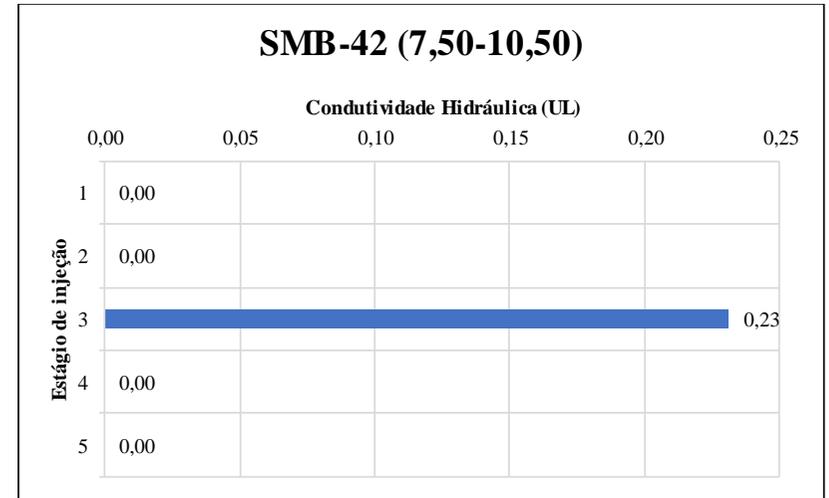
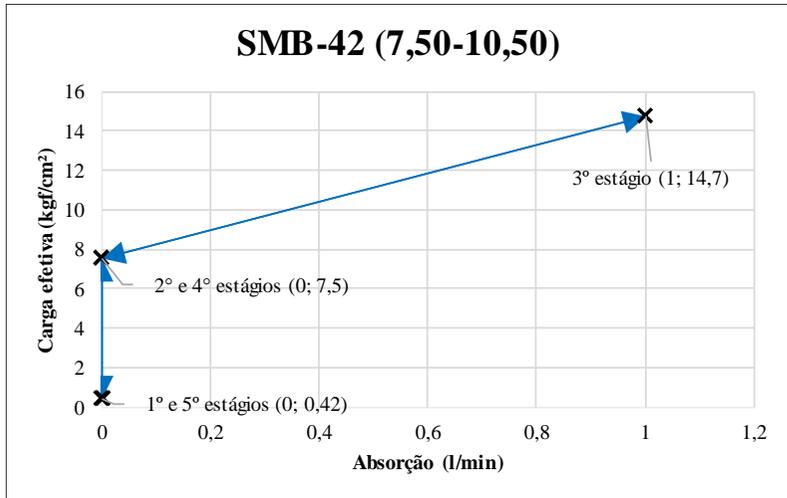
Condutividade hidráulica máxima:	4,91E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,50 m
84,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	4,91E-06	cm/s
	0,48	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,022675737	2,36677E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,42	0,041188	0,00
2	0	7,5	0,735499	0,00
3	1	14,7	1,441578	0,23
4	0	7,5	0,735499	0,00
5	0	0,42	0,041188	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	2,37E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

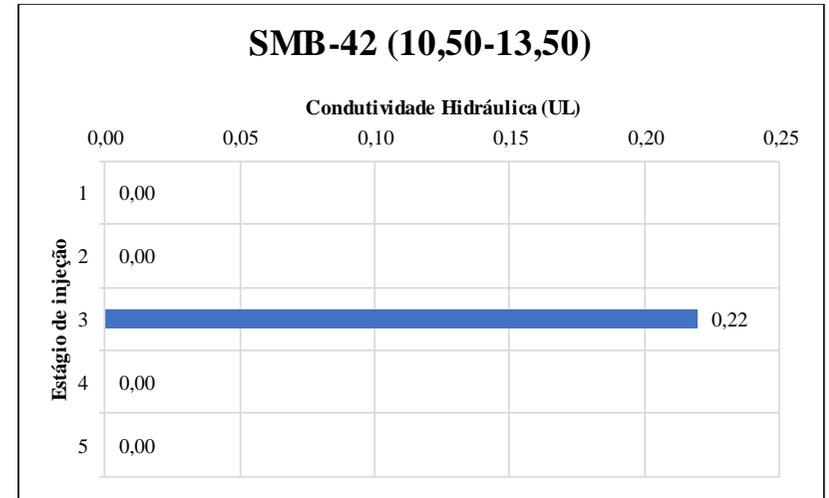
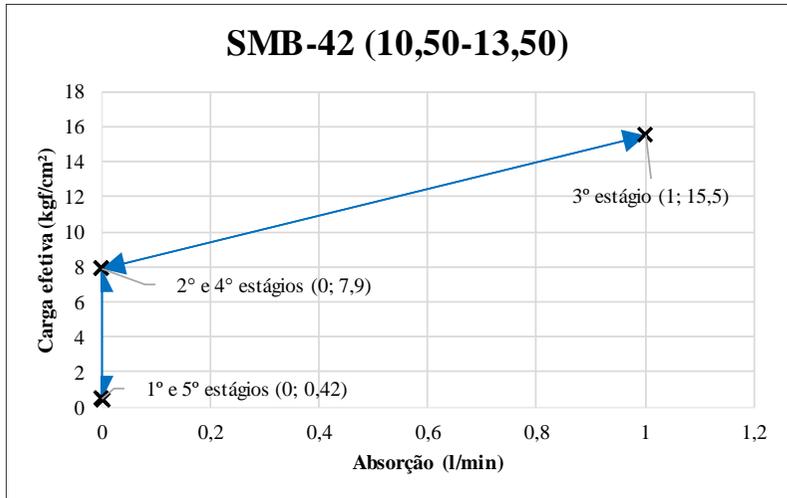
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,50 m
94,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,37E-06	cm/s
	0,23	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,021505376	2,24462E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,42	0,041188	0,00
2	0	7,9	0,774725	0,00
3	1	15,5	1,520031	0,22
4	0	7,9	0,774725	0,00
5	0	0,42	0,041188	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	2,24E-06	cm/s
-----------------------------------	----------	------

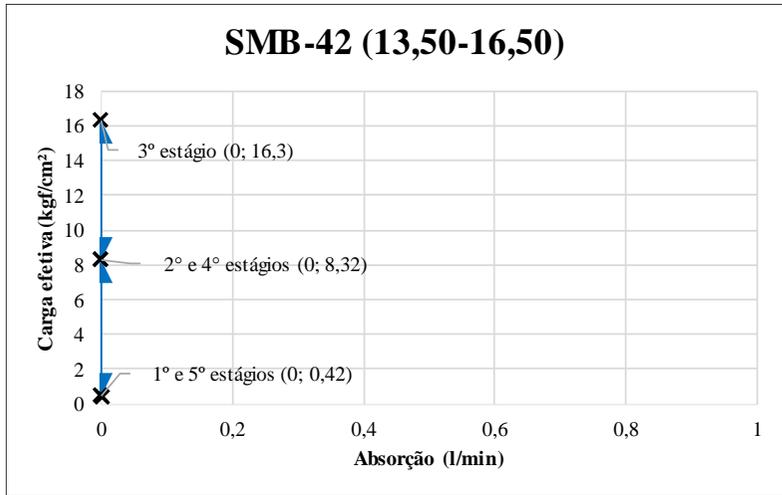
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,50 m
96,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,24E-06	cm/s
	0,22	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



**SMB-42 (13,50-16,50)**

**Condutividade Hidráulica (UL)**

	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
1	0,00					
2	0,00					
3	0,00					
4	0,00					
5	0,00					

Dados:  
 Litologia= maciço granítico (fundo do vale)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P<sub>0</sub>= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,42	0,041188	0,00
2	0	8,32	0,815913	0,00
3	0	16,3	1,598484	0,00
4	0	8,32	0,815913	0,00
5	0	0,42	0,041188	0,00

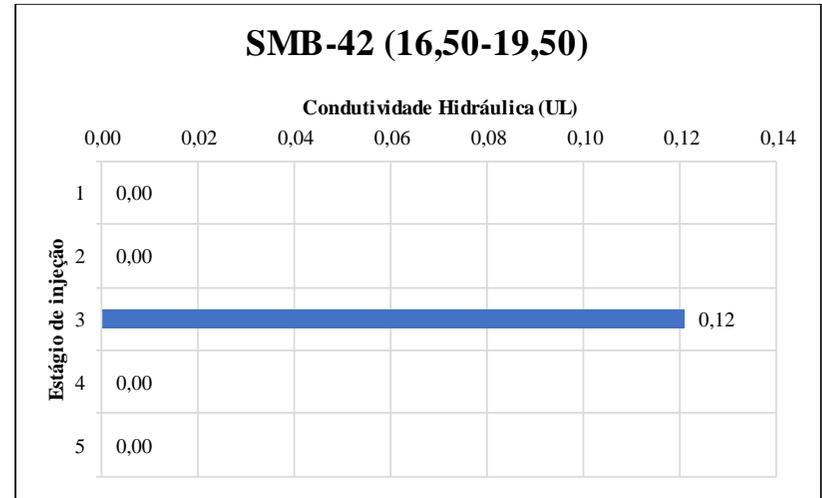
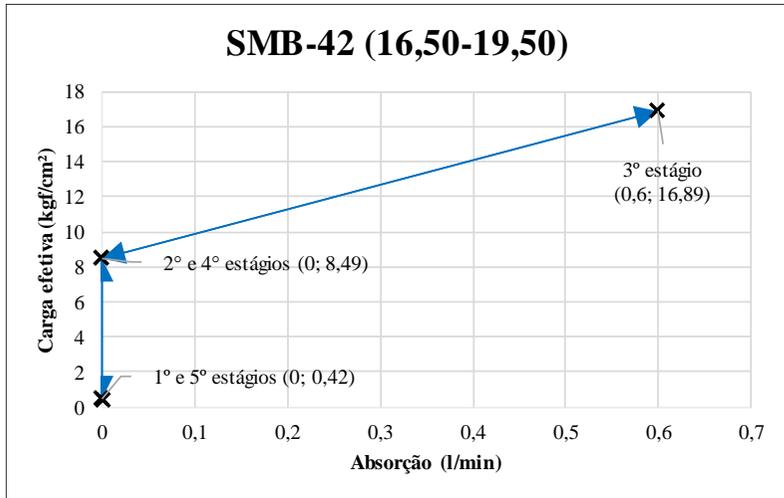
Condutividade hidráulica máxima: 0,00E+00 cm/s

RQD associado: 94,00%  
 Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 4,50 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

**CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:** HI ►  
 Condições das fraturas: **MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES**

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0,6	0,2	0,011841326	1,23594E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,42	0,041188	0,00
2	0	8,49	0,832585	0,00
3	0,6	16,89	1,656343	0,12
4	0	8,49	0,832585	0,00
5	0	0,42	0,041188	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	1,24E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

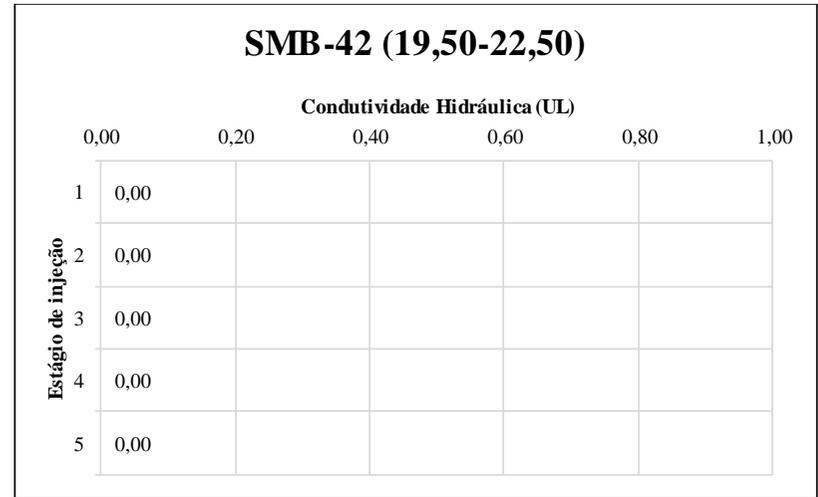
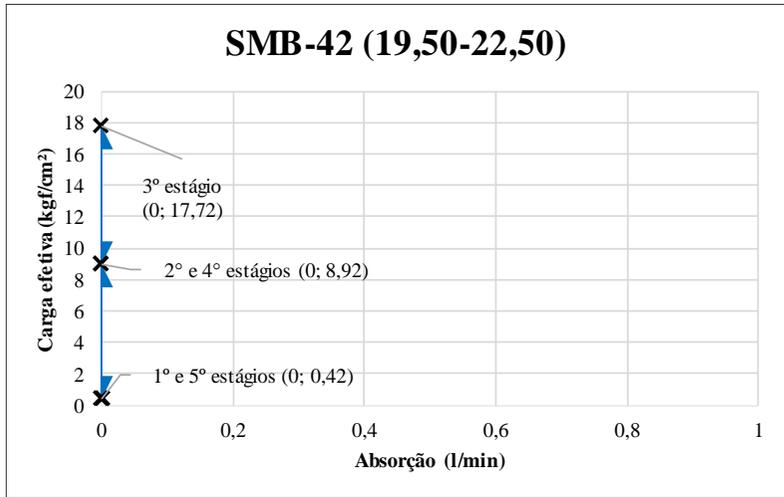
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,50 m
96,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	1,24E-06	cm/s
	0,12	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,42	0,041188	0,00
2	0	8,92	0,874753	0,00
3	0	17,72	1,737738	0,00
4	0	8,92	0,874753	0,00
5	0	0,42	0,041188	0,00

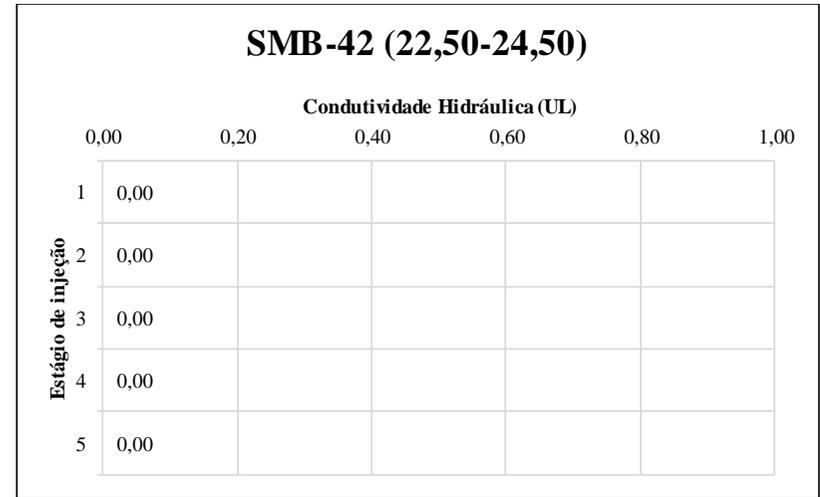
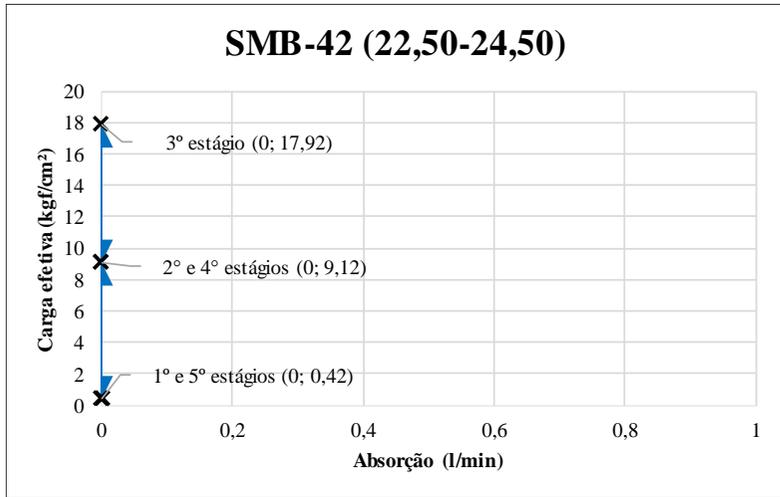
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,50 m
96,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,545172733 adimensional

Fator de forma= 9,36625E-05 adimensional

L= 2 m

P0= 1 MPa

$\alpha$ = 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,42	0,041188	0,00
2	0	9,12	0,894366	0,00
3	0	17,92	1,757352	0,00
4	0	9,12	0,894366	0,00
5	0	0,42	0,041188	0,00

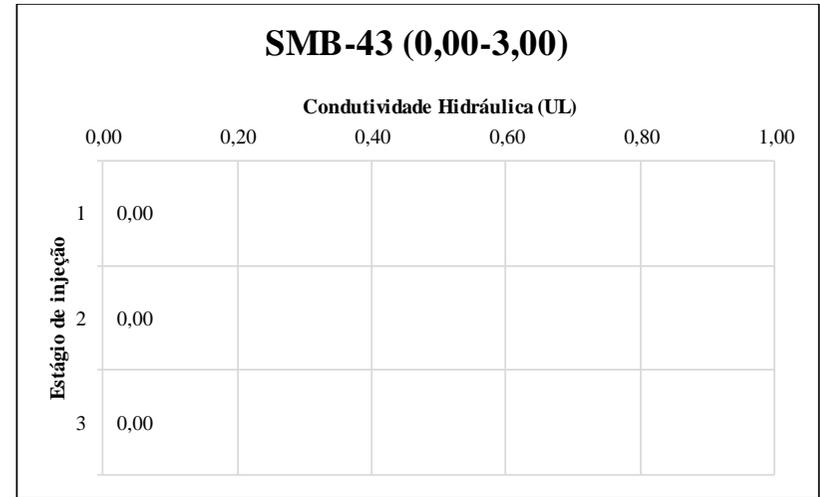
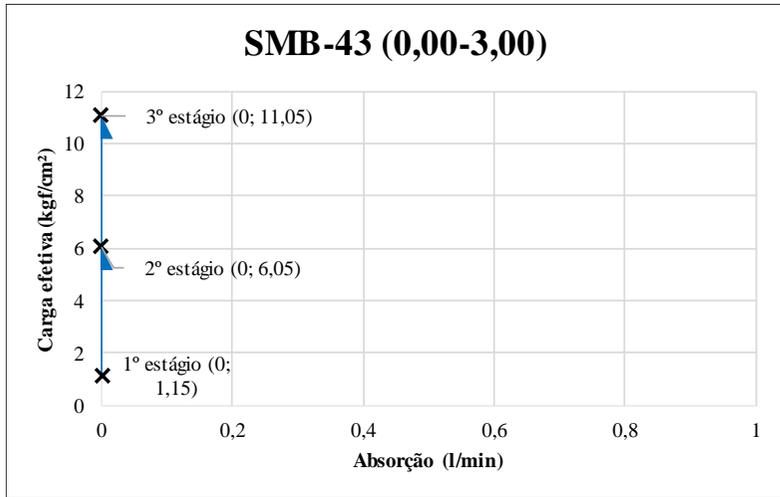
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	4,50 m
91,25%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	6,05	0,593302	0,00
3	0	11,05	1,083635	0,00

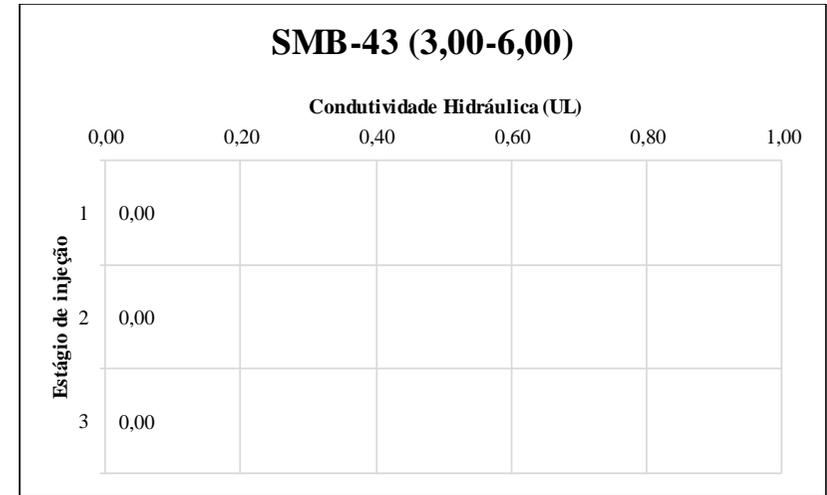
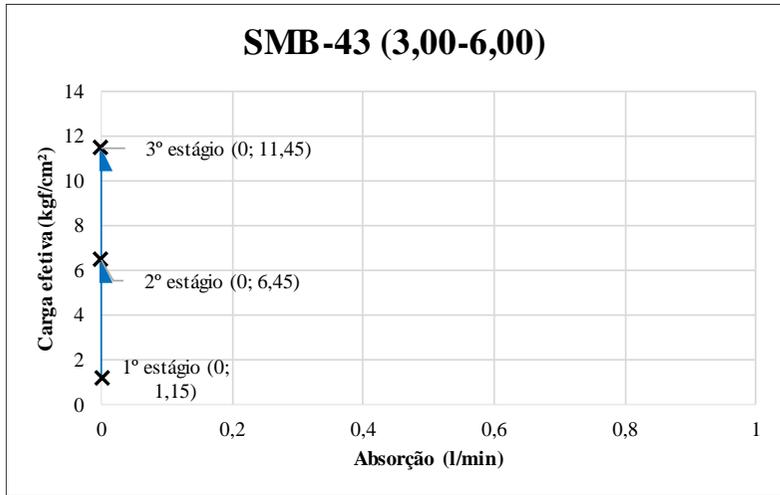
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 97,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	6,45	0,632529	0,00
3	0	11,45	1,122861	0,00

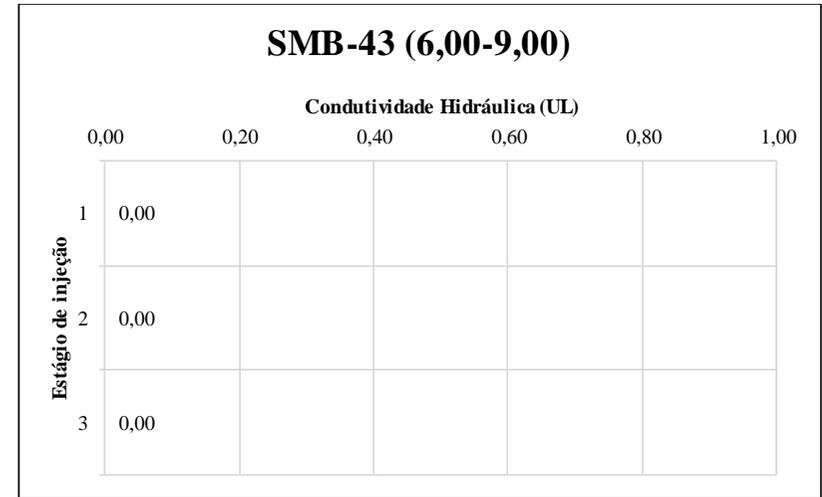
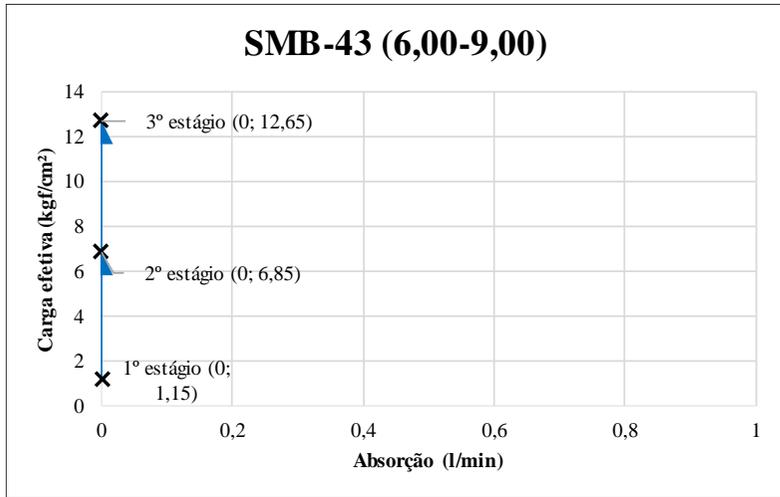
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 98,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	6,85	0,671756	0,00
3	0	12,65	1,240541	0,00

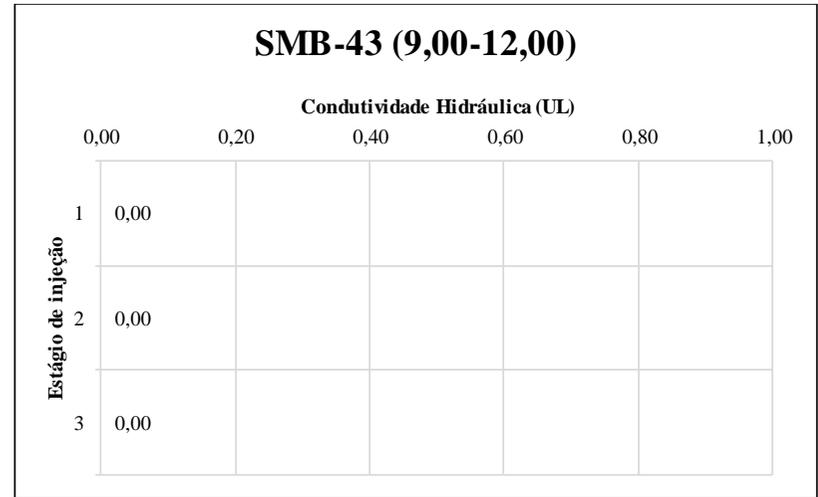
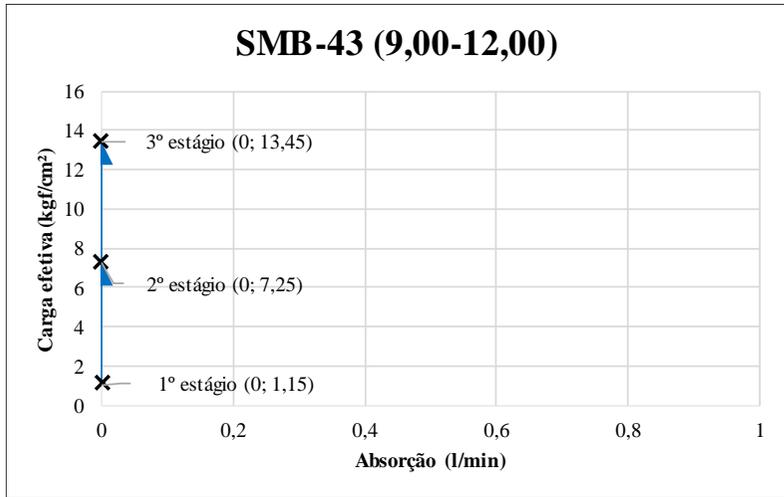
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 97,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P0= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	7,25	0,710982	0,00
3	0	13,45	1,318994	0,00

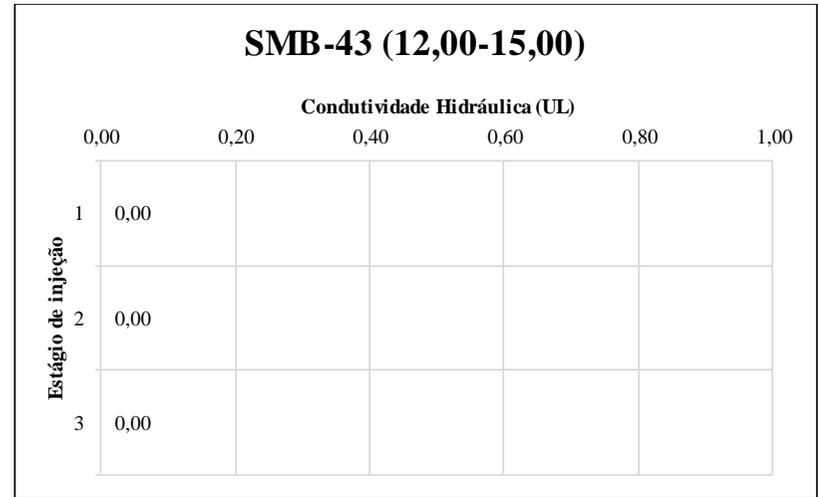
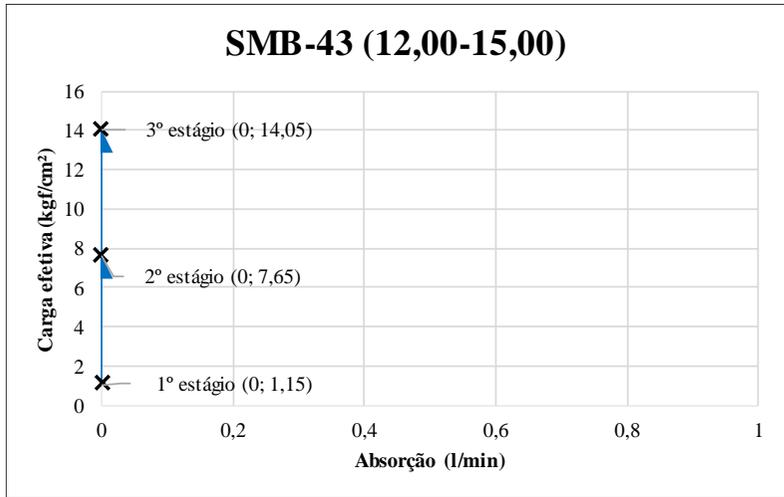
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 98,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	7,65	0,750209	0,00
3	0	14,05	1,377834	0,00

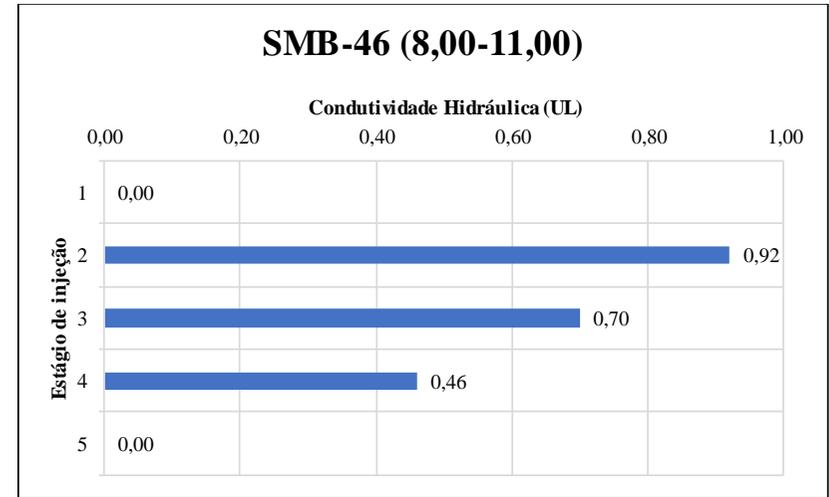
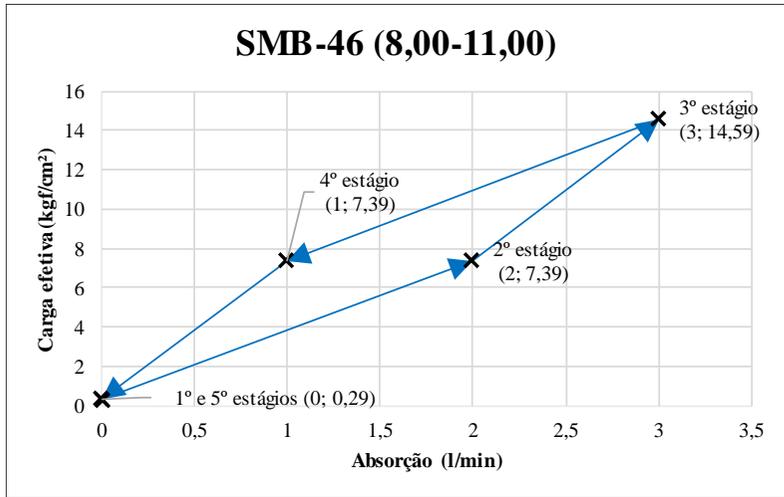
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado: 98,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	2	0,666666667	0,090211998	9,41585E-06
3	3	1	0,068540096	7,15386E-06
4	1	0,333333333	0,045105999	4,70793E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	2	7,39	0,724711	0,92
3	3	14,59	1,43079	0,70
4	1	7,39	0,724711	0,46
5	0	0,29	0,028439	0,00

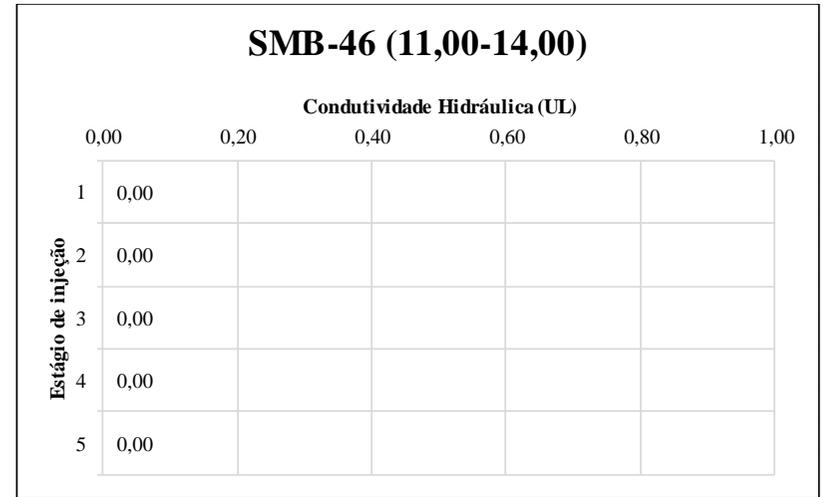
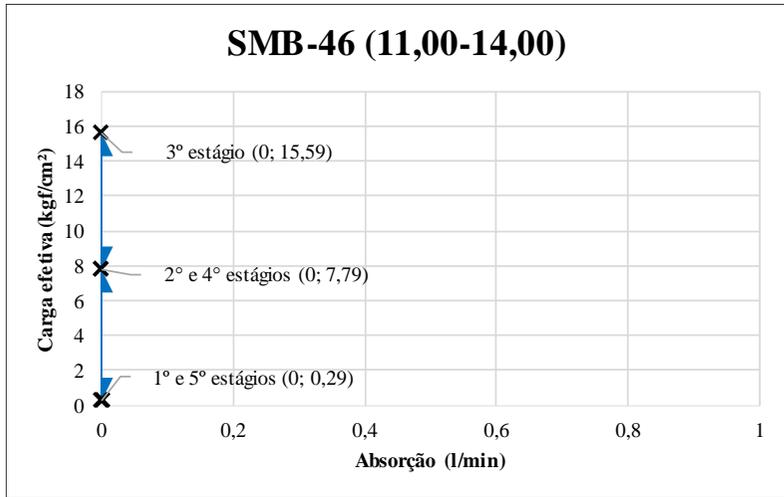
Condutividade hidráulica máxima:	9,42E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
96,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	9,42E-06	cm/s
	0,92	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	0	7,79	0,763938	0,00
3	0	15,59	1,528857	0,00
4	0	7,79	0,763938	0,00
5	0	0,29	0,028439	0,00

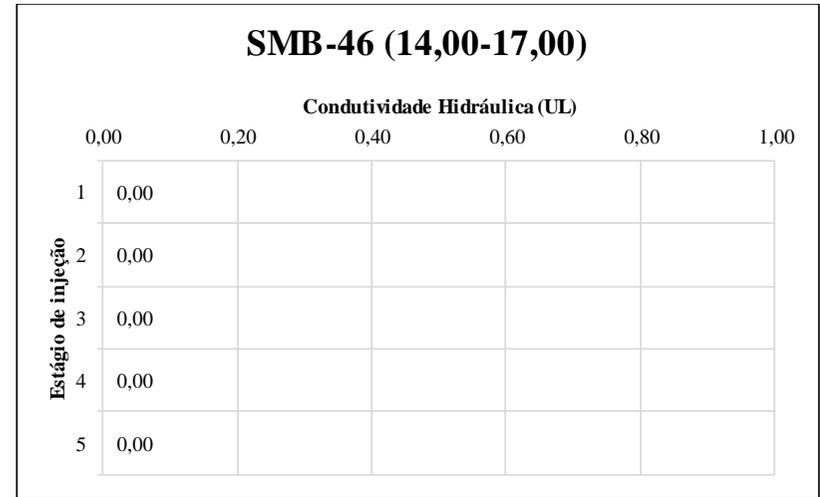
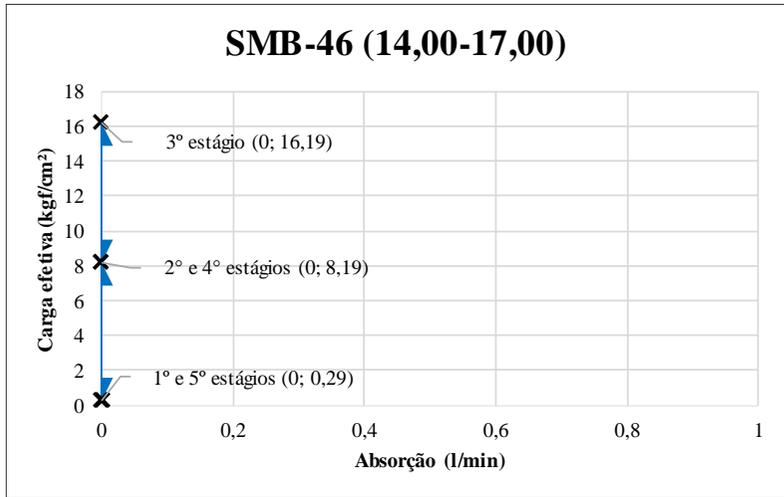
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
94,50%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	0	8,19	0,803165	0,00
3	0	16,19	1,587697	0,00
4	0	8,19	0,803165	0,00
5	0	0,29	0,028439	0,00

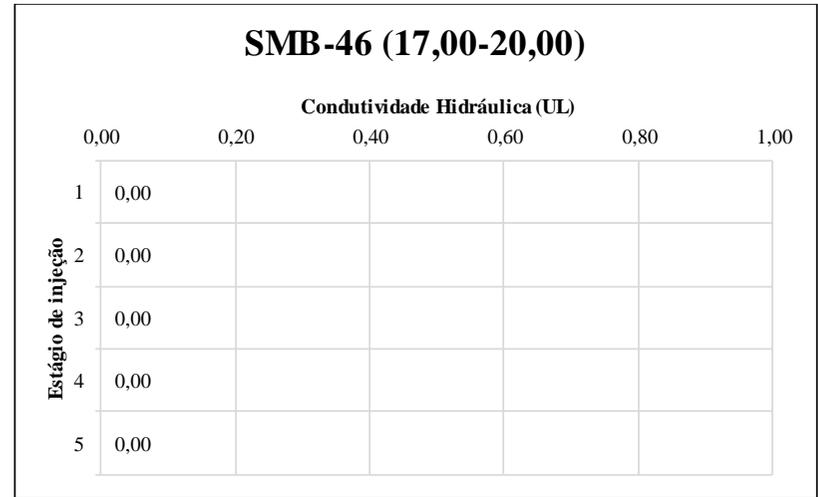
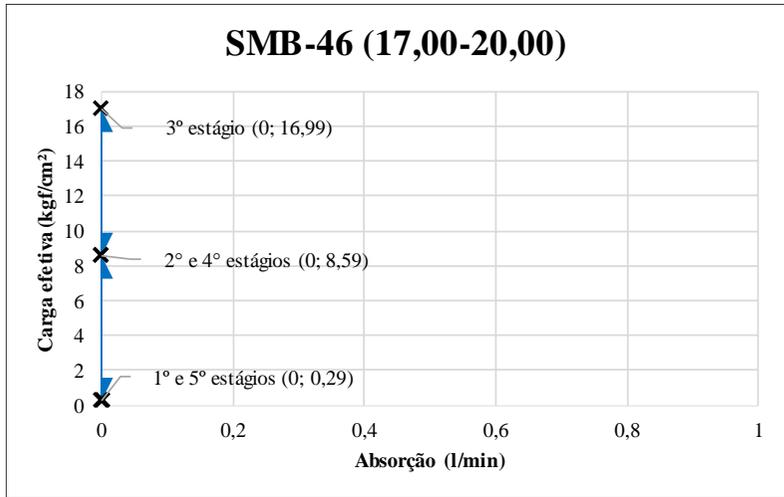
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:
95,50%	5,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:  
 Litologia= maciço granítico (fundo do vale)  
 Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)  
 Metade do diâmetro= 0,0381 m  
 Constante de forma= 3,950638 adimensional  
 Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m  
 P0= 1 MPa  
 α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	0	8,59	0,842391	0,00
3	0	16,99	1,66615	0,00
4	0	8,59	0,842391	0,00
5	0	0,29	0,028439	0,00

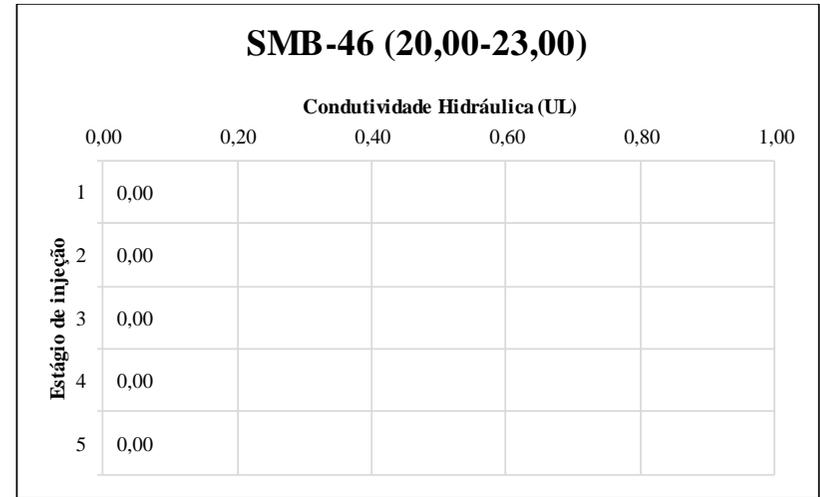
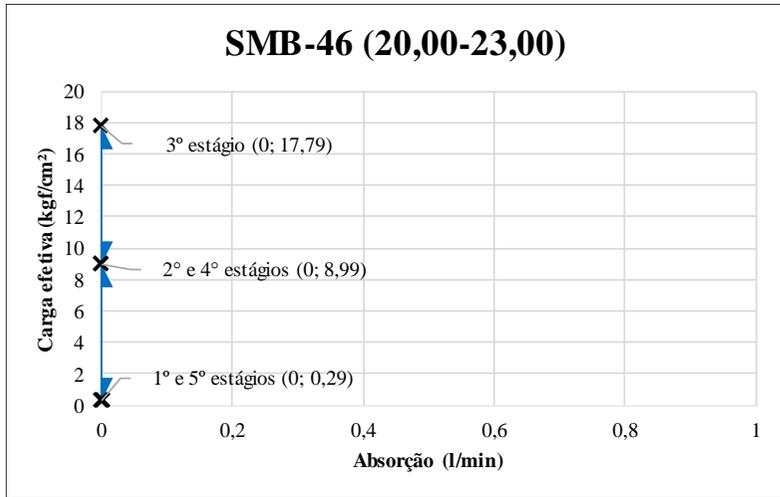
Conductividade hidráulica máxima: 0,00E+00 cm/s

RQD associado: 95,50%  
 Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 5,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

**CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:** H1 ►  
 Condições das fraturas: **MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES**

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	0	8,99	0,881618	0,00
3	0	17,79	1,744603	0,00
4	0	8,99	0,881618	0,00
5	0	0,29	0,028439	0,00

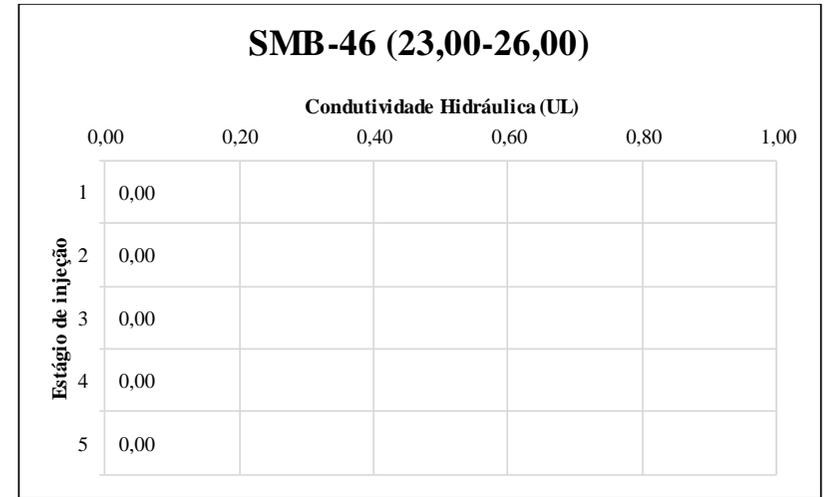
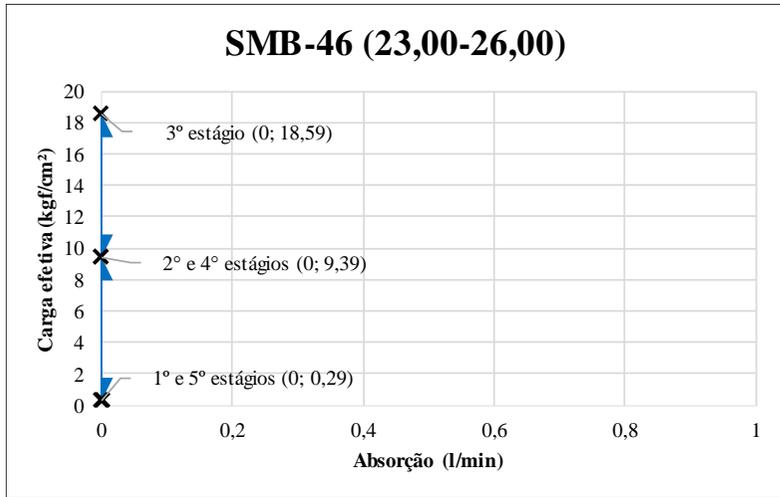
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:
94,00%	5,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	0	9,39	0,920844	0,00
3	0	18,59	1,823056	0,00
4	0	9,39	0,920844	0,00
5	0	0,29	0,028439	0,00

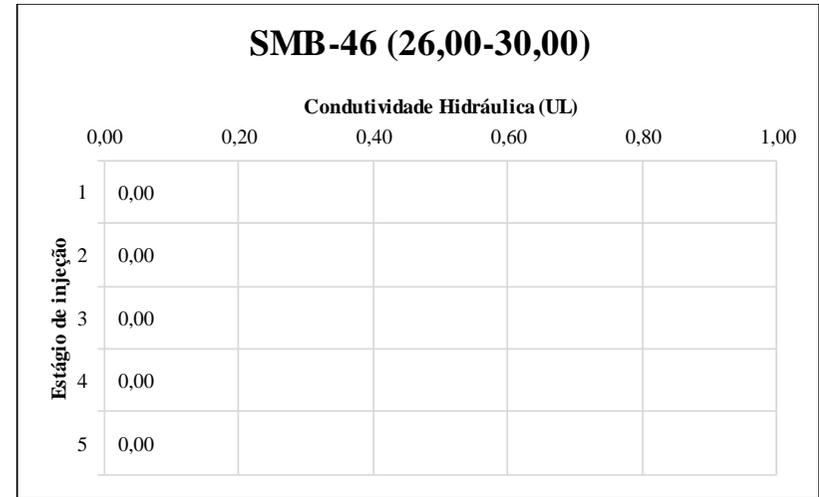
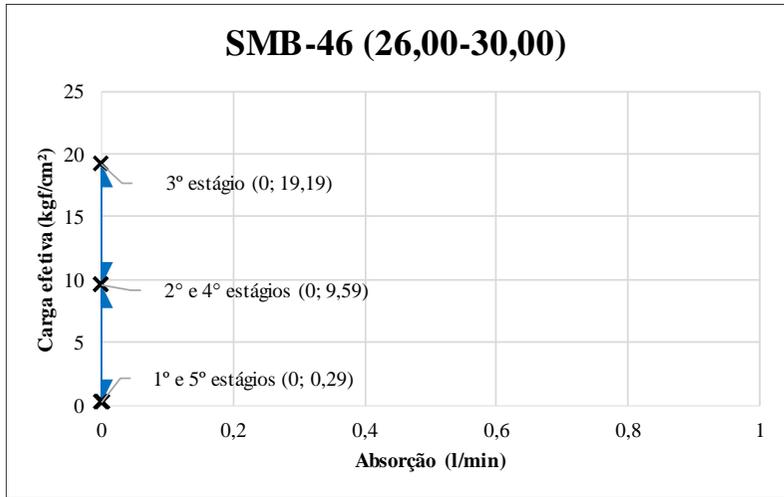
Condutividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:
88,50%	5,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 4,238320 adimensional

Fator de forma= 0,000112 adimensional

L= 4 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,29	0,028439	0,00
2	0	9,59	0,940458	0,00
3	0	19,19	1,881896	0,00
4	0	9,59	0,940458	0,00
5	0	0,29	0,028439	0,00

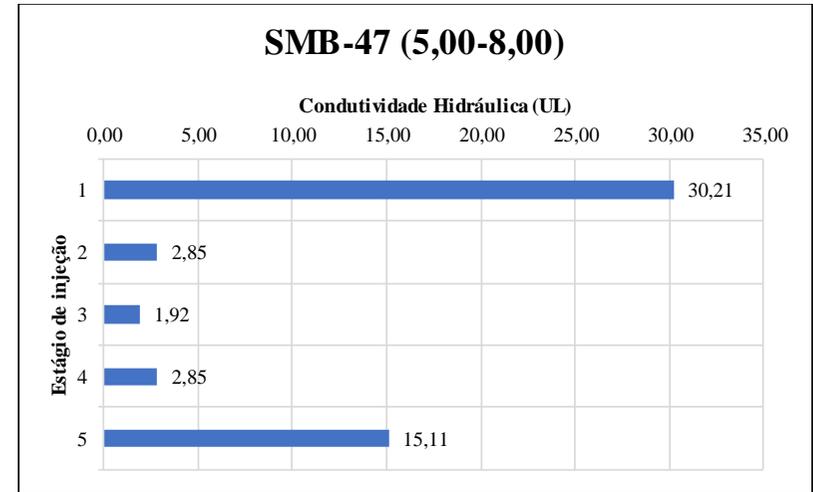
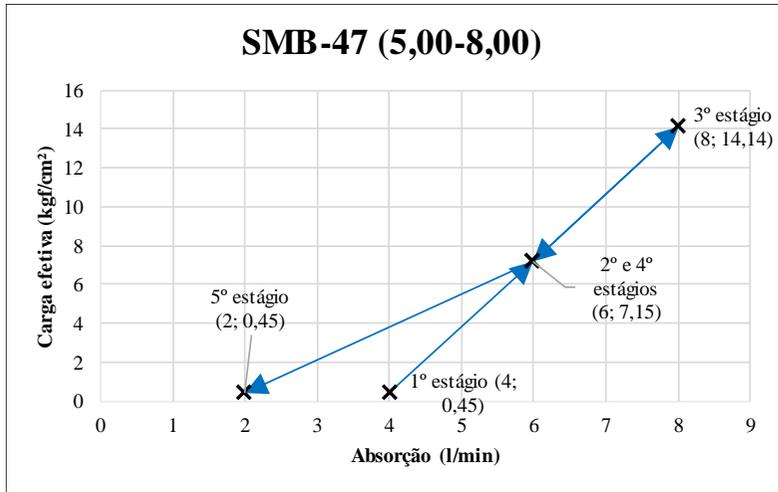
Conductividade hidráulica máxima:	0,00E+00	cm/s
-----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:
91,00%	5,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
<b>Condições das fraturas: MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	4	1,333333333	2,962962963	0,000309259
2	6	2	0,27972028	2,91957E-05
3	8	2,666666667	0,188590288	1,96841E-05
4	6	2	0,27972028	2,91957E-05
5	2	0,666666667	1,481481481	0,000154629

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	4	0,45	0,04413	30,21
2	6	7,15	0,701175	2,85
3	8	14,14	1,38666	1,92
4	6	7,15	0,701175	2,85
5	2	0,45	0,04413	15,11

Condutividade hidráulica máxima:	3,09E-04	cm/s
----------------------------------	----------	------

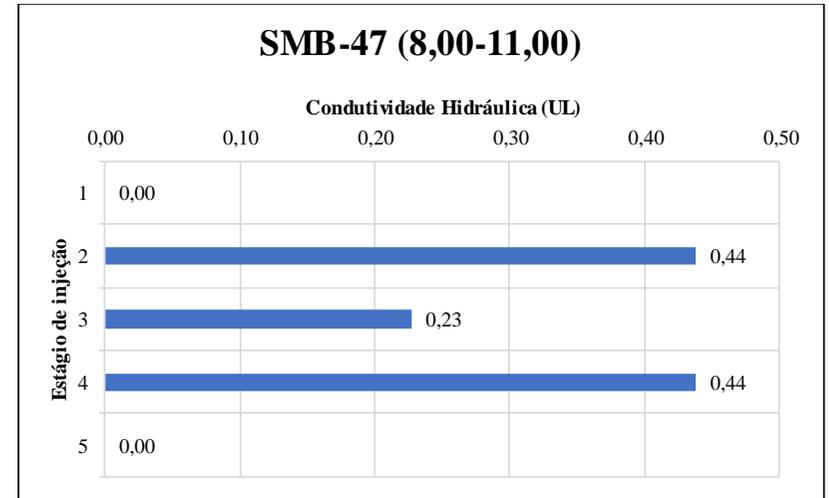
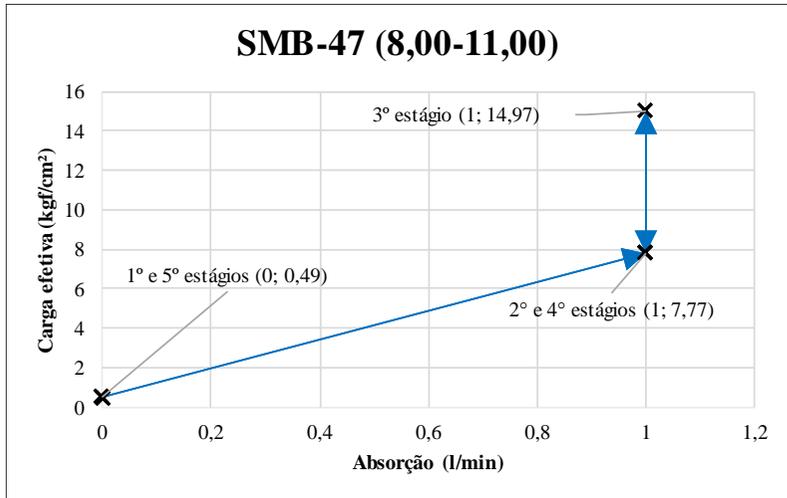
RQD associado:	68,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	3,09E-04	cm/s
	30,21	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H3</b> ▶
Condições das fraturas: <b>ALGUMAS ABERTAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**FLUXO TURBULENTO COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou TURBULENTO com PREENCHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,042900043	4,47768E-06
3	1	0,333333333	0,022266756	2,32409E-06
4	1	0,333333333	0,042900043	4,47768E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	7,77	0,761977	0,44
3	1	14,97	1,468056	0,23
4	1	7,77	0,761977	0,44
5	0	0,49	0,048053	0,00

Conductividade hidráulica máxima:	4,48E-06	cm/s
-----------------------------------	----------	------

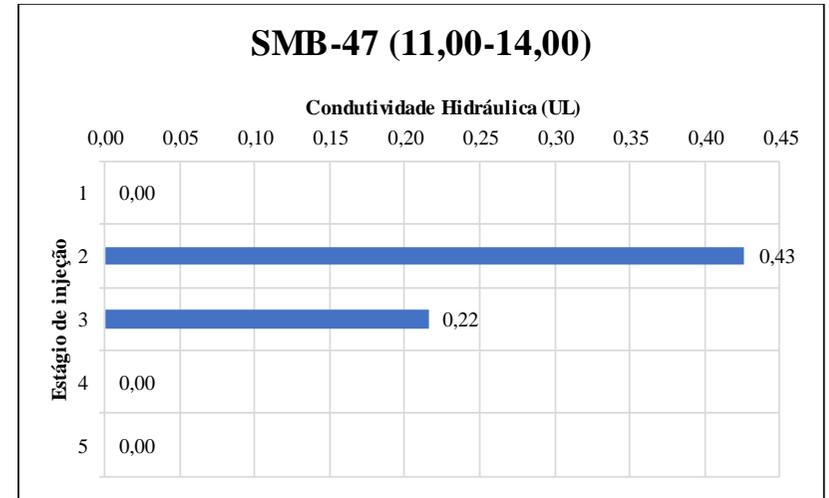
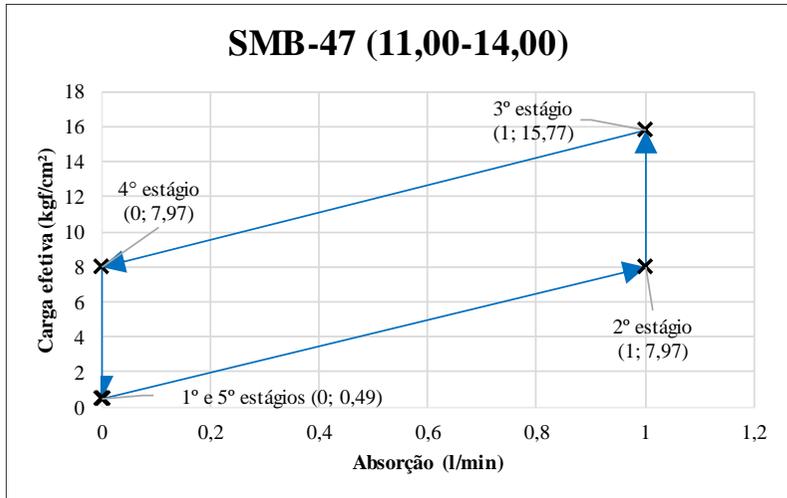
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
96,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	4,48E-06	cm/s
	0,44	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,041823505	4,36532E-06
3	1	0,333333333	0,02113718	2,20619E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	7,97	0,78159	0,43
3	1	15,77	1,546509	0,22
4	0	7,97	0,78159	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

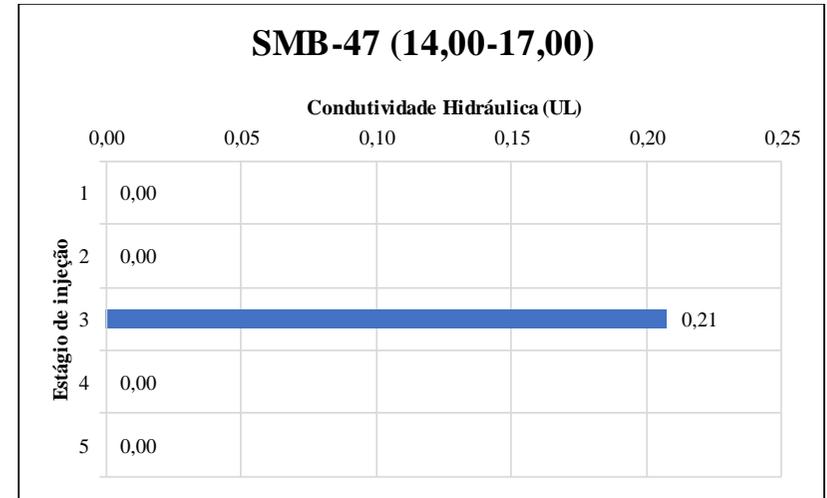
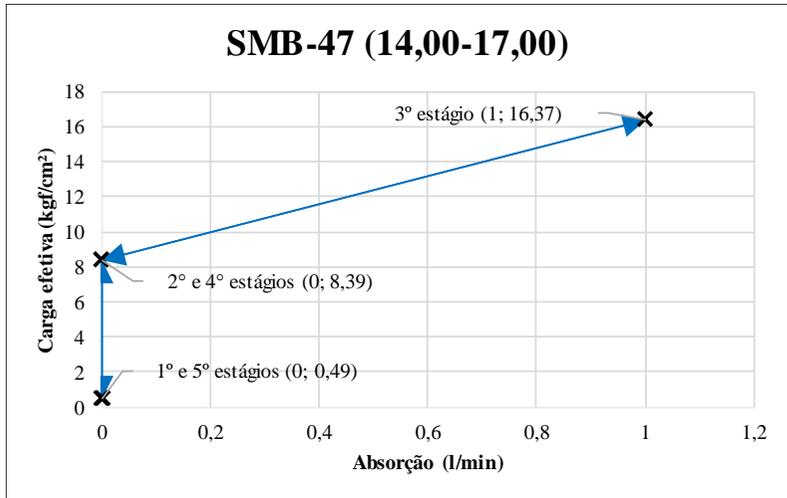
Conduividade hidráulica máxima: 4,37E-06 cm/s

RQD associado: 97,00% Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 5,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	4,37E-06 cm/s
	0,43 UL

**CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:** H1 ▶  
 Condições das fraturas: **MUITO APERTADAS**

Interpretação do comportamento: **DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	1	0,333333333	0,020362452	2,12533E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	0	8,39	0,822778	0,00
3	1	16,37	1,605349	0,21
4	0	8,39	0,822778	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	2,13E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

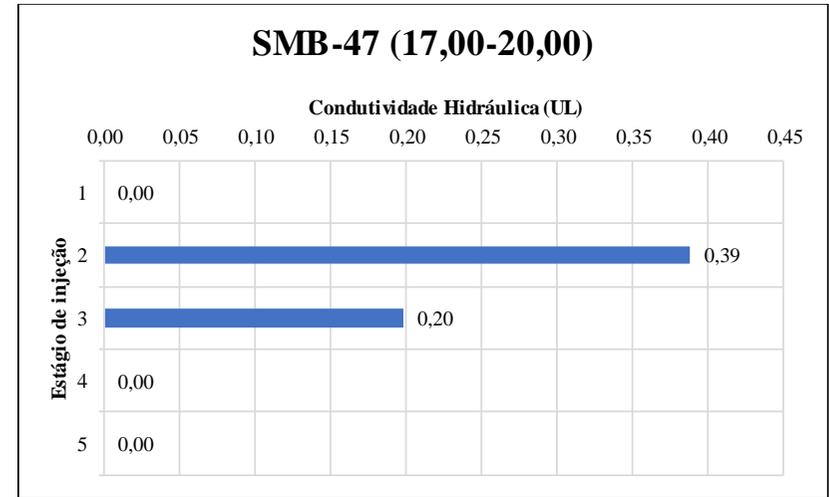
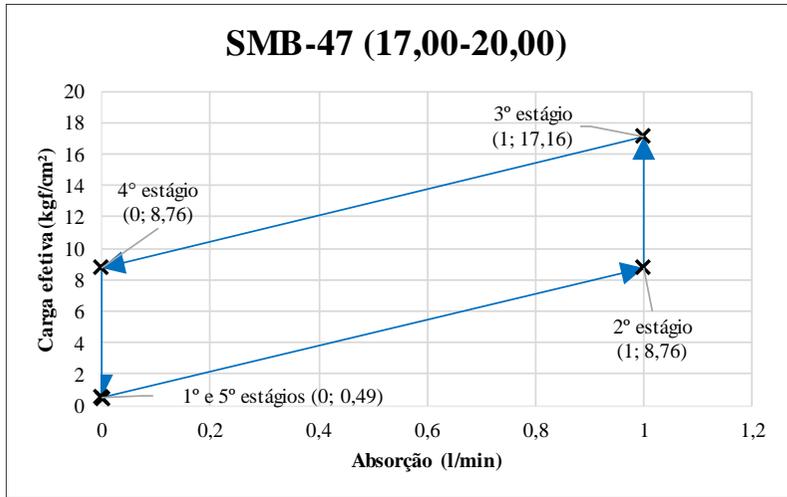
RQD associado:	84,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
----------------	--------	---	--------

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,13E-06	cm/s
	0,21	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,03805175	3,97164E-06
3	1	0,333333333	0,019425019	2,02748E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	8,76	0,859063	0,39
3	1	17,16	1,682821	0,20
4	0	8,76	0,859063	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

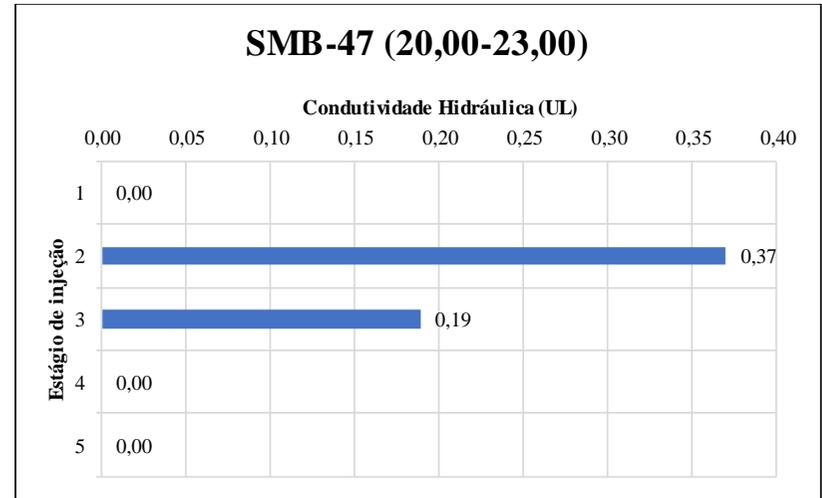
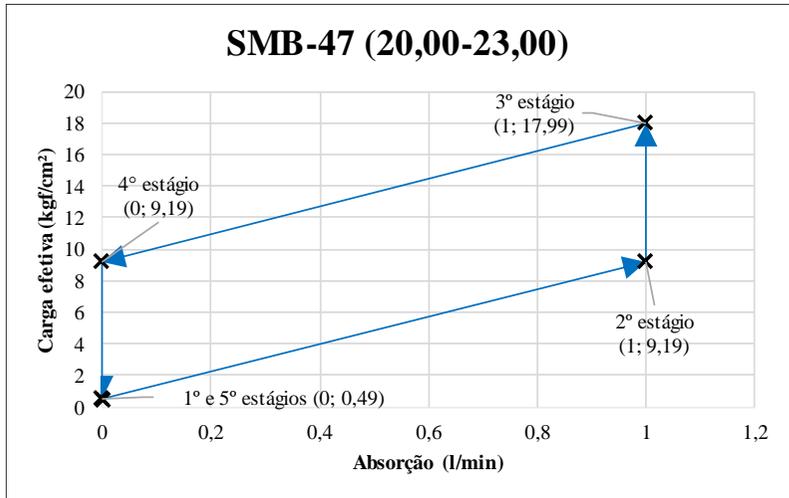
Condutividade hidráulica máxima:	3,97E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
98,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	3,97E-06	cm/s
	0,39	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,036271309	3,78581E-06
3	1	0,333333333	0,018528812	1,93394E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	9,19	0,901231	0,37
3	1	17,99	1,764216	0,19
4	0	9,19	0,901231	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

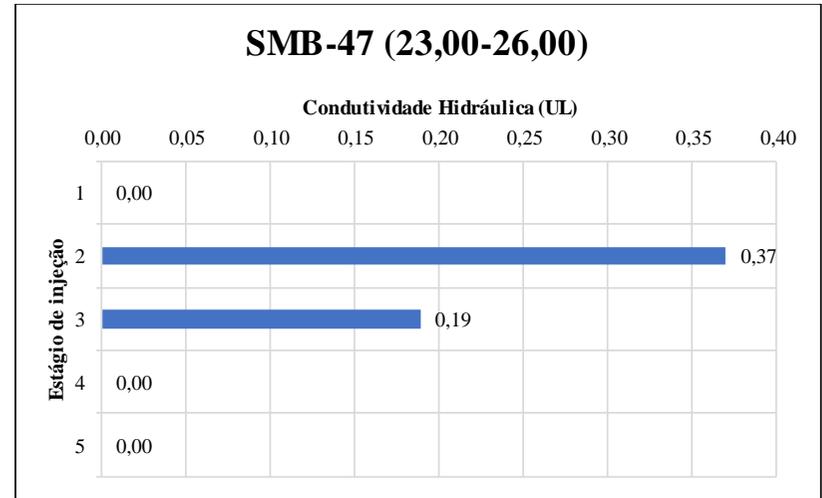
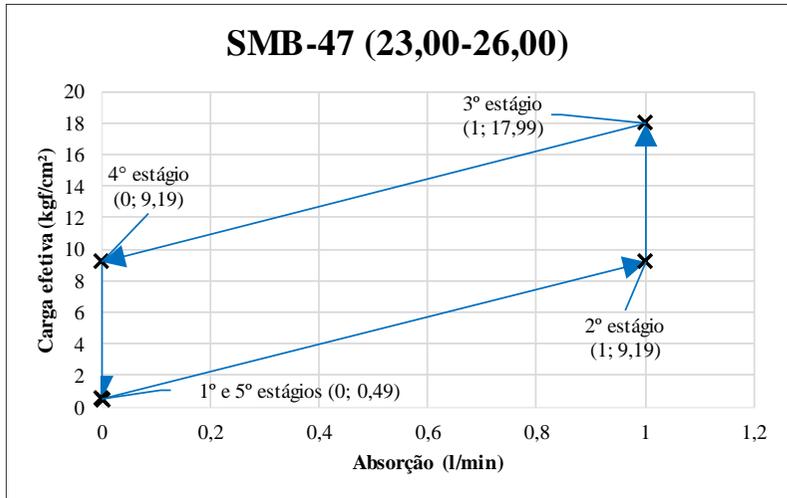
Condutividade hidráulica máxima:	3,79E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
94,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	3,79E-06	cm/s
	0,37	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,333333333	0,036271309	3,78581E-06
3	1	0,333333333	0,018528812	1,93394E-06
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	9,19	0,901231	0,37
3	1	17,99	1,764216	0,19
4	0	9,19	0,901231	0,00
5	0	0,49	0,048053	0,00

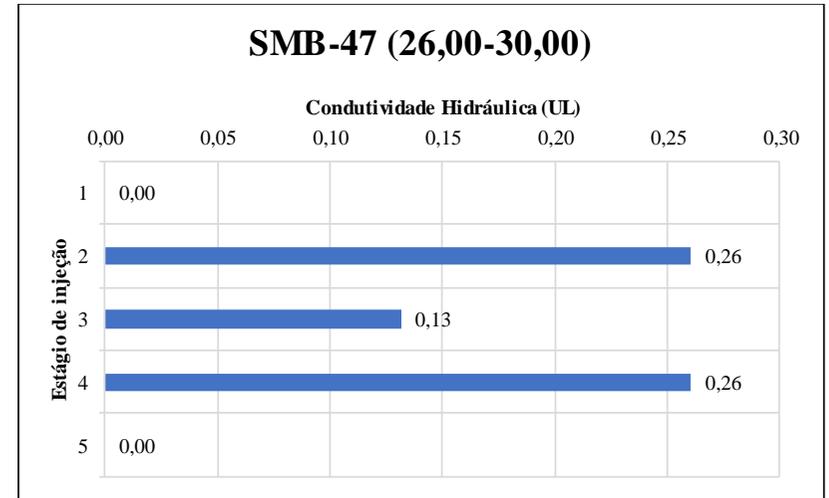
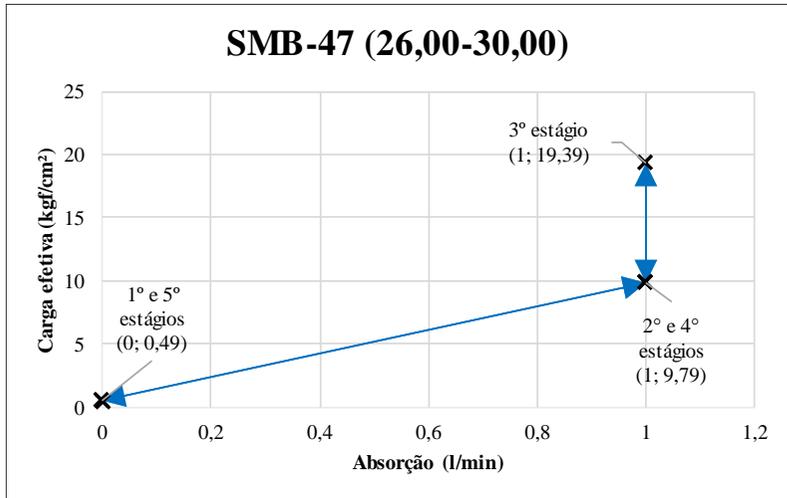
Condutividade hidráulica máxima:	3,79E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
96,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	3,79E-06	cm/s
	0,37	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:  
**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) COM FECHAMENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO com PREECHIMENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (fundo do vale)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 4,238320 adimensional

Fator de forma= 0,000112 adimensional

L= 4 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	1	0,25	0,025536261	2,85943E-06
3	1	0,25	0,012893244	1,44372E-06
4	1	0,25	0,025536261	2,85943E-06
5	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	0,49	0,048053	0,00
2	1	9,79	0,960071	0,26
3	1	19,39	1,901509	0,13
4	1	9,79	0,960071	0,26
5	0	0,49	0,048053	0,00

Condutividade hidráulica máxima:	2,86E-06	cm/s
----------------------------------	----------	------

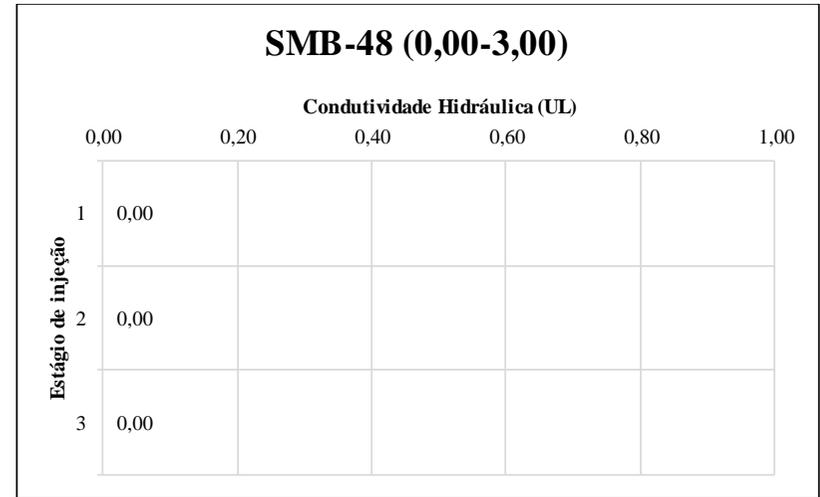
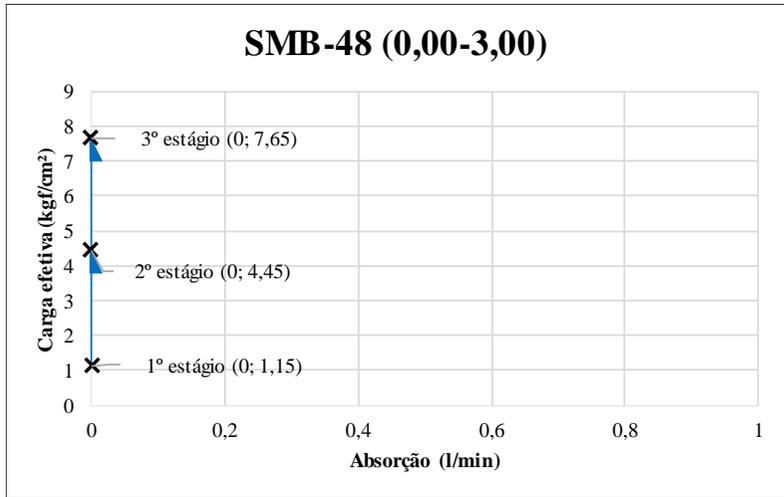
RQD associado:	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem:	5,00 m
97,00%		

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	2,86E-06	cm/s
	0,26	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b>
Condições das fraturas:	
<b>MUITO APERTADAS</b>	

Interpretação do comportamento:

**DE DEFORMAÇÃO (DA FISSURA) SEM ALTERAÇÃO com FLUXO TURBULENTO (OLIVEIRA, SILVA e JÚNIOR, 1975) ou EXPANSIVO e TURBULENTO (HOULSBY, 1976)**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	4,45	0,436396	0,00
3	0	7,65	0,750209	0,00

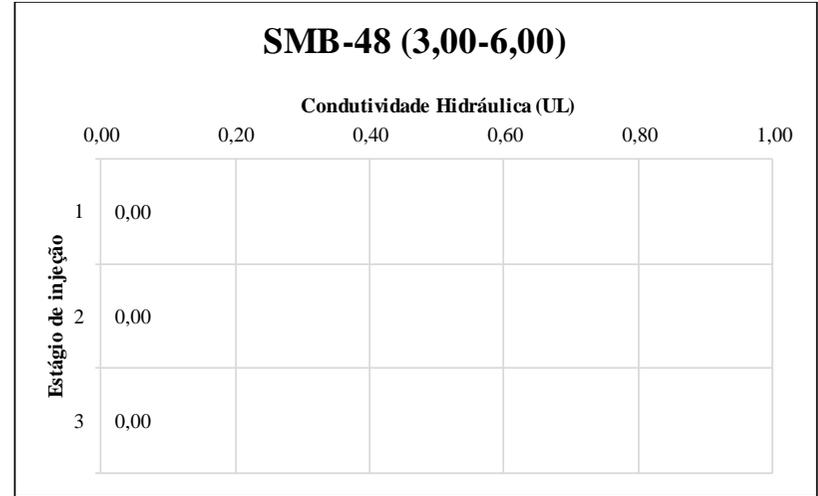
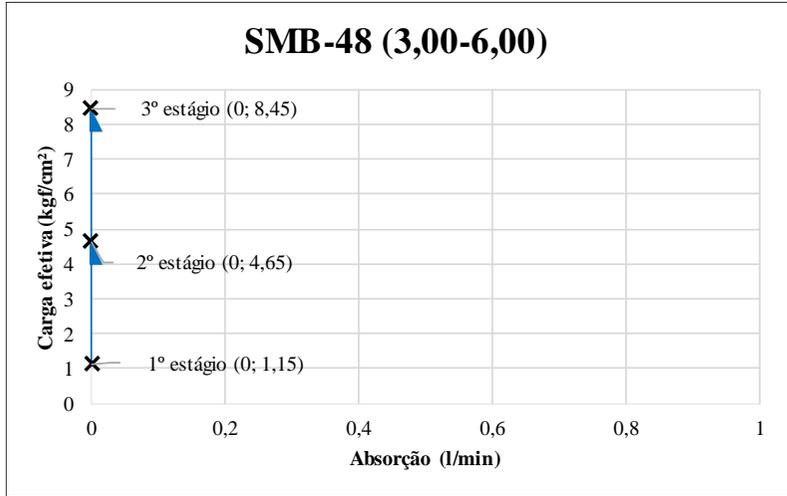
Conductividade hidráulica máxima:	0	cm/s
-----------------------------------	---	------

RQD associado: 99,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	4,65	0,456009	0,00
3	0	8,45	0,828662	0,00

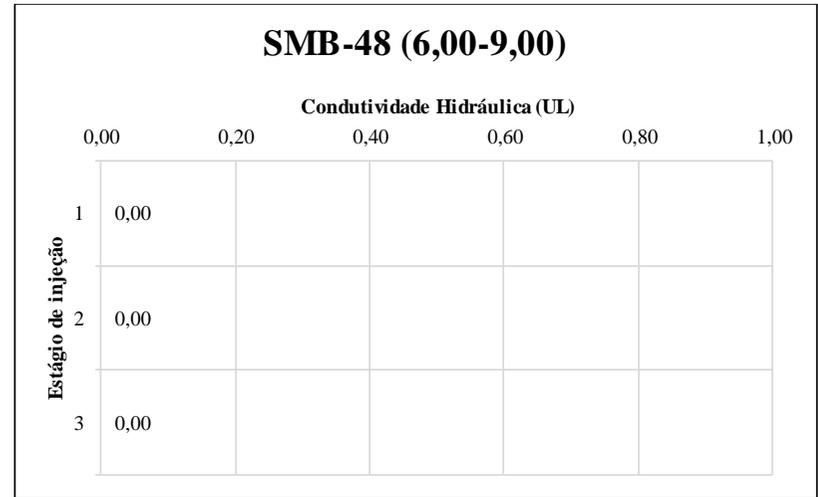
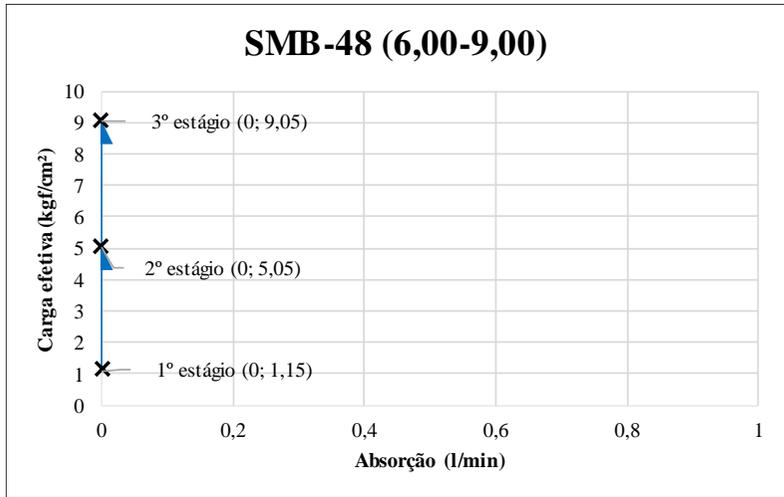
Conductividade hidráulica máxima:	0	cm/s
-----------------------------------	---	------

RQD associado: 98,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P0= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	5,05	0,495236	0,00
3	0	9,05	0,887502	0,00

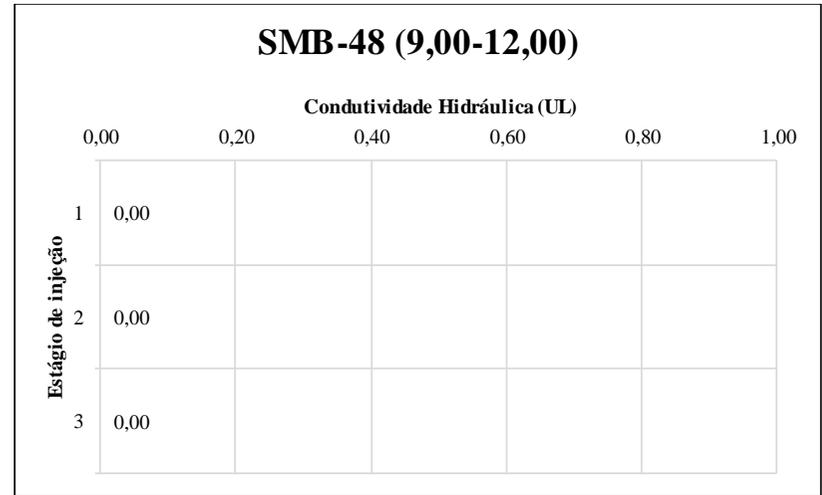
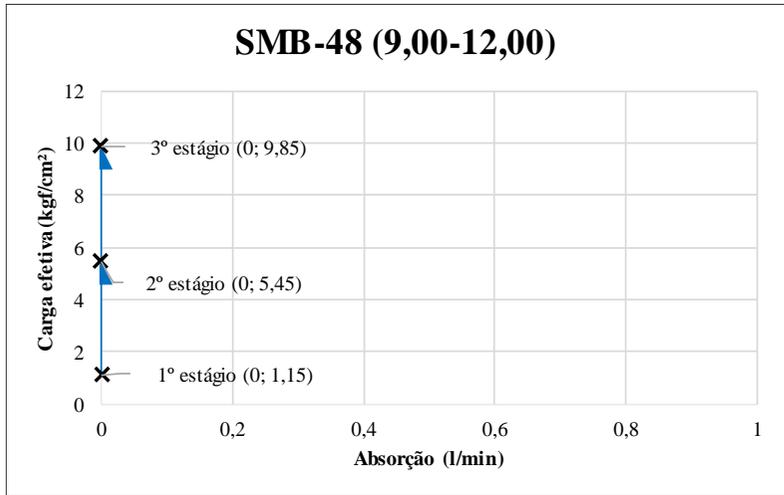
Conductividade hidráulica máxima:	0	cm/s
-----------------------------------	---	------

RQD associado: 98,50%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>HI</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	5,45	0,534462	0,00
3	0	9,85	0,965955	0,00

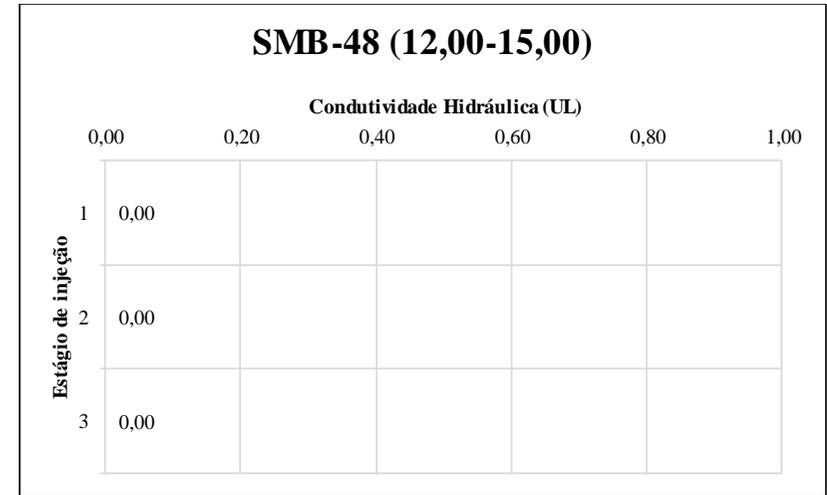
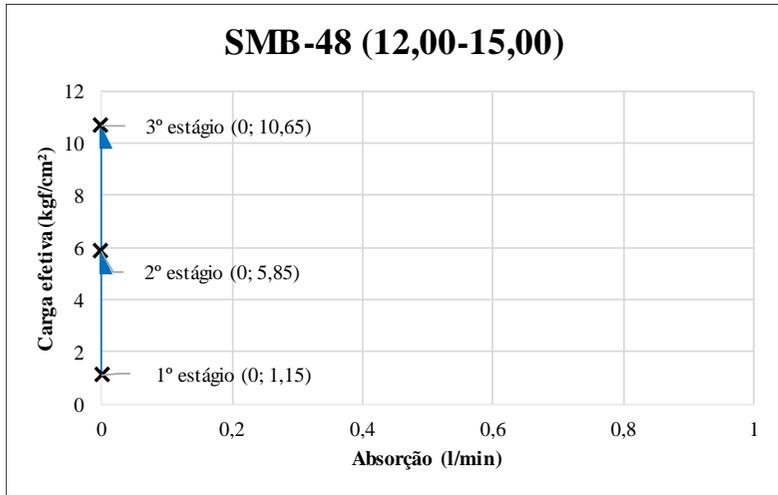
Conductividade hidráulica máxima:	0	cm/s
-----------------------------------	---	------

RQD associado: 96,00%	Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m
-----------------------	--

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00	cm/s
	0	UL

<b>CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:</b>	<b>H1</b> ▶
Condições das fraturas: <b>MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES</b>	

Interpretação do comportamento:  
**MACIÇO IMPERMEÁVEL**



Dados:

Litologia= maciço granítico (ombreira direita)

Diâmetro da perfuração= 0,0762 m (NX)

Metade do diâmetro= 0,0381 m

Constante de forma= 3,950638 adimensional

Fator de forma= 0,000104 adimensional

L= 3 m

P<sub>0</sub>= 1 MPa

α= 1 adimensional

Estágios	Q (l/min)	Qe (l/min/m)	Pe (l/min/m/Kgf/cm²)	K (cm/s)
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0

Estágios	Q (l/min)	Ce (Kgf/cm²)	Ce (MPa)	UL
1	0	1,15	0,112776	0,00
2	0	5,85	0,573689	0,00
3	0	10,65	1,044408	0,00

Condutividade hidráulica máxima: 0 cm/s

RQD associado: 99,50%  
Espessura de solo acima do topo rochoso na referida sondagem: 0,00 m

<b>VALOR REPRESENTATIVO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA=</b>	0,00E+00 cm/s
	0 UL

**CLASSIFICAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA REPRESENTATIVA:** H1 ►  
Condições das fraturas: **MUITO APERTADAS OU INEXISTENTES**

Interpretação do comportamento: **MACIÇO IMPERMEÁVEL**

## **Apêndice B**

### **CLASSIFICAÇÃO GEOMECÂNICA DAS SONDAGENS REALIZADAS NO DOMÍNIO DO MACIÇO GRANÍTICO**

Sondagem		SMB-33									
Trecho/Manobra		2,40-3,90	3,90-5,40	5,40-6,90	6,90-8,40	8,40-9,90	9,90-11,40	11,40-12,90	12,90-14,40	14,40-15,90	15,90-17,40
Resistência da rocha intacta		12	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		13	17	20	20	17	17	20	13	17	17
Espaçamento das fraturas		5	8	8	10	8	10	8	8	10	10
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	3	3	5	3	3	3	5	5	5
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		60	70	73	77	70	72	73	69	75	75

Sondagem		SMB-35										
Trecho/Manobra		1,60-3,10	3,10-4,60	4,60-6,10	6,10-7,10	7,10-8,50	8,50-10,00	10,00-11,50	11,50-13,00	13,00-14,50	14,50-15,80	15,80-16,60
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		13	5	5	20	13	20	20	20	20	20	17
Espaçamento das fraturas		15	5	5	15	8	10	15	15	20	20	20
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	3	5	5	5	5	5	5	5	6	6
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		73	55	57	82	68	77	82	82	88	89	86

Sondagem		SMB-36									
Trecho/Manobra		1,30-2,80	2,80-4,30	4,30-5,80	5,80-7,30	7,30-8,80	8,80-10,30	10,30-11,80	11,80-13,30	13,30-14,80	14,80-16,30
Resistência da rocha intacta		12	12	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		17	17	17	20	20	20	20	20	20	20
Espaçamento das fraturas		8	8	8	10	15	15	15	15	15	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	3	5	5	5	5	3	5	3	3	5
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	3	3	5	5	5	5	5	6	5
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		65	67	70	77	82	80	82	80	81	82

Sondagem		SMB-42									
Trecho/Manobra		4,50-6,00	6,00-7,50	7,50-9,00	9,00-10,50	10,50-12,00	12,00-13,50	13,50-15,00	15,00-16,50	16,50-18,00	18,00-19,50
Resistência da rocha intacta		12	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		17	17	20	20	20	20	20	20	20	20
Espaçamento das fraturas		5	8	10	15	15	15	15	15	20	20
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	5	5	5	5	5	5	6	6	6
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		64	72	77	82	82	82	82	84	89	89

Condições das fraturas		SMB-42			
Trecho/Manobra		19,50-21,00	21,00-22,50	22,50-24,00	24,00-24,50
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15
RQD		20	20	20	17
Espaçamento das fraturas		20	15	15	20
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6
	Rugosidade	6	5	6	6
	Preenchimento	6	6	6	6
	Alteração	6	5	5	6
Água subterrânea		10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0
Índice RMR		89	82	83	86

Sondagem		SMB-43									
Trecho/Manobra		0,00-1,50	1,50-3,00	3,00-4,50	4,50-6,00	6,00-7,50	7,50-9,00	9,00-10,50	10,50-12,00	12,00-13,50	13,50-15,00
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Espaçamento das fraturas		8	10	15	8	8	10	15	15	15	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Água subterrânea		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		78	82	87	80	80	82	88	87	87	87

Sondagem		SMB-46									
Trecho/Manobra		5,00-6,50	6,50-8,00	8,00-9,50	9,50-11,00	11,00-12,50	12,50-14,00	14,00-15,50	15,50-17,00	17,00-18,50	18,50-20,00
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		8	13	20	20	20	20	20	20	20	20
Espaçamento das fraturas		5	5	15	20	8	15	15	10	15	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	6	5	5	6	5	5	3	5	3	5
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	3	5	6	3	5	5	5	5	5
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		54	58	82	89	73	82	80	77	80	82

Sondagem		SMB-46						
Trecho/Manobra		20,00-21,50	21,50-23,00	23,00-24,50	24,50-26,00	26,00-27,50	27,50-29,00	29,00-30,00
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	15	15
RQD		20	20	20	17	20	17	17
Espaçamento das fraturas		15	15	10	8	8	15	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	5	6	6	5	5	5
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	5	5	5	6	6	6	6
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		82	82	78	74	76	80	80

Sondagem		SMB-47														
Trecho/Manobra		8,00-9,50	9,50-11,00	11,00-12,50	12,50-14,00	14,00-15,50	15,50-17,00	17,00-18,50	18,50-20,00	20,00-21,50	21,50-23,00	23,00-24,50	24,50-26,00	26,00-27,50	27,50-29,00	29,00-30,00
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		20	20	20	20	20	17	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Espaçamento das fraturas		15	20	15	15	15	8	15	15	15	15	15	20	15	20	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	6	5	3	5	6	5	5	3	5	3	5	6	6	5
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	5	6	5	5	5	3	5	5	5	3	5	5	5	6	5
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		82	89	82	80	82	71	82	82	80	80	80	87	83	89	82

Sondagem		SMB-48									
Trecho/Manobra		0,00-1,50	1,50-3,00	3,00-4,50	4,50-6,00	6,00-7,50	7,50-9,00	9,00-10,50	10,50-12,00	12,00-13,50	13,50-15,00
Resistência da rocha intacta		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
RQD		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Espaçamento das fraturas		8	15	15	15	10	15	15	8	8	15
Condições das fraturas	Persistência	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Abertura	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Rugosidade	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3
	Preenchimento	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	Alteração	3	5	5	5	5	5	5	3	5	5
Água subterrânea		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Direção e mergulho		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Índice RMR		73	80	82	80	77	80	82	71	75	80

## **Apêndice C**

### **MÓDULOS DE DEFORMABILIDADE E RELAÇÕES $E_c/E_m$**

<b>Sondagem SMB-32</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
0,20-0,85	59	18	1,11
0,85-2,35	77	54	0,37
2,35-3,95	80	60	0,33
3,95-5,20	87	74	0,27

<b>Sondagem SMB-48</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
0,00-1,50	73	46	0,43
1,50-3,00	80	60	0,33
3,00-4,50	82	64	0,31
4,50-6,00	80	60	0,33
6,00-7,50	77	54	0,37
7,50-9,00	80	60	0,33
9,00-10,50	82	64	0,31
10,50-12,00	71	42	0,47
12,00-13,50	75	50	0,40
13,50-15,00	80	60	0,33

<b>Sondagem SMB-31</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
3,00-4,50	68	36	0,55
4,50-5,00	87	74	0,27
5,00-6,00	77	54	0,37
6,00-7,50	82	64	0,31
7,50-8,00	89	78	0,25

<b>Sondagem SMB-33</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
2,40-3,90	60	20	1,00
3,90-5,40	70	40	0,50
5,40-6,90	73	46	0,43
6,90-8,40	77	54	0,37
8,40-9,90	70	40	0,50
9,90-11,40	72	44	0,45
11,40-12,90	73	46	0,43
12,90-14,40	69	38	0,52
14,40-15,90	75	50	0,40
15,90-17,40	75	50	0,40

<b>Sondagem SMB-35</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
1,60-3,10	73	46	0,43
3,10-4,60	55	10	2,00
4,60-6,10	57	14	1,42
6,10-7,10	82	64	0,31
7,10-8,50	68	36	0,55
8,50-10,00	77	54	0,37
10,00-11,50	82	64	0,31
11,50-13,00	82	64	0,31
13,00-14,50	88	76	0,26
14,50-15,80	89	78	0,25
15,80-16,60	86	72	0,27

<b>Sondagem SMB-36</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
1,30-2,80	65	30	0,66
2,80-4,30	67	34	0,58
4,30-5,80	70	40	0,50
5,80-7,30	77	54	0,37
7,30-8,80	82	64	0,31
8,80-10,30	80	60	0,33
10,30-11,80	82	64	0,31
11,80-13,30	80	60	0,33
13,30-14,80	81	62	0,32
14,80-16,30	82	64	0,31

<b>Sondagem SMB-42</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
4,50-6,00	64	28	0,71
6,00-7,50	72	44	0,45
7,50-9,00	77	54	0,37
9,00-10,50	82	64	0,31
10,50-12,00	82	64	0,31
12,00-13,50	82	64	0,31
13,50-15,00	82	64	0,31
15,00-16,50	84	68	0,29
16,50-18,00	89	78	0,25
18,00-19,50	89	78	0,25
19,50-21,00	89	78	0,25
21,00-22,50	82	64	0,31
22,50-24,00	83	66	0,30
24,00-24,50	86	72	0,27

<b>Sondagem SMB-43</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
0,00-1,50	78	56	0,35
1,50-3,00	82	64	0,31
3,00-4,50	87	74	0,27
4,50-6,00	80	60	0,33
6,00-7,50	80	60	0,33
7,50-9,00	82	64	0,31
9,00-10,50	88	76	0,26
10,50-12,00	87	74	0,27
12,00-13,50	87	74	0,27
13,50-15,00	87	74	0,27

<b>Sondagem SMB-46</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
5,00-6,50	54	8	2,50
6,50-8,00	58	16	1,25
8,00-9,50	82	64	0,31
9,50-11,00	89	78	0,25
11,00-12,50	73	46	0,43
12,50-14,00	82	64	0,31
14,00-15,50	80	60	0,33
15,50-17,00	77	54	0,37
17,00-18,50	80	60	0,33
18,50-20,00	82	64	0,31
20,00-21,50	82	64	0,31
21,50-23,00	82	64	0,31
23,00-24,50	78	56	0,35
24,50-26,00	74	48	0,41
26,00-27,50	76	52	0,38
27,50-29,00	80	60	0,33
29,00-30,00	80	60	0,33

<b>Sondagem SMB-47</b>			
<b>Trecho</b>	<b>Índice RMR</b>	<b>Módulo de deformabilidade (GPa)</b>	<b>Ec/Em</b>
8,00-9,50	82	64	0,31
9,50-11,00	89	78	0,25
11,00-12,50	82	64	0,31
12,50-14,00	80	60	0,33
14,00-15,50	82	64	0,31
15,50-17,00	71	42	0,47
17,00-18,50	82	64	0,31
18,50-20,00	82	64	0,31
20,00-21,50	80	60	0,33
21,50-23,00	80	60	0,33
23,00-24,50	80	60	0,33
24,50-26,00	87	74	0,27
26,00-27,50	83	66	0,30
27,50-29,00	89	78	0,25
29,00-30,00	82	64	0,31

### **Nota dos autores**

A realização deste trabalho não possui qualquer tipo de vinculação a interesses políticos ou econômicos. Em seu escopo está inserido apenas a aplicação dos principais conceitos e critérios da Geologia Aplicada e Geologia de Barragens ao estudo de caso. Além disto, não possui caráter determinístico, devendo o projeto ser alvo de maiores discussões, afim de prover à sociedade, em especial aquela que vive às margens da barragem, o máximo possível de informações a respeito do empreendimento e de sua segurança. Desta forma, exime-se de quaisquer consequências relativas à utilização das discussões e conclusões aqui apresentadas.