



GOVERNO DO
ESTADO DO CEARÁ
Secretaria dos Recursos Hídricos

CONTRATO Nº 002/SRH/CE/2012



PROJETO EXECUTIVO DO 1º TRECHO
JATI / RIO CARIÚS DO CINTURÃO
DE ÁGUAS DO CEARÁ - CAC

RELATÓRIO FINAL - TEXTO
RELATÓRIO FINAL DOS SERVIÇOS
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO - VOLUME IV/VI

TOMO I/II



AGOSTO / 2015



0		30/10/2013		B	
Emissão Inicial					
REVISÃO Nº	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	DESCRIÇÃO DAS REVISÕES		
TIPO DE EMISSÃO	(A) PRELIMINAR		(D) PARA COTAÇÃO	(G) CONFORME CONSTRUIDO	
	(B) PARA APROVAÇÃO		(E) PARA CONSTRUÇÃO	(H) CANCELADO	
	(C) PARA CONHECIMENTO		(F) CONFORME COMPRADO	(I) DE TRABALHO	
 VBA TECNOLOGIA E ENGENHARIA					
PROJETO:			DATA:		
PROJETISTA:			DATA:		
VERIFICAÇÃO:			DATA:		
APROVAÇÃO:			DATA:		
					
GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ SECRETARIA DOS RECURSOS HÍDRICOS - SRH CINTURÃO DE ÁGUAS DO CEARÁ – CAC PROJETO EXECUTIVO DO TRECHO 1 – JATI-CARIUS					
SERVIÇOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO					
Título	RELATÓRIO FINAL DOS SERVIÇOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DATA (04/2015)				
	DATA	RUBRICA	APROVAÇÃO	DATA	RUBRICA
PROJETISTA			SRH-CE		
DESENHISTA			SRH-CE		
VERIFICADO					
			CLIENTE: SRH-CE		
	DOCUMENTO Nº: CAC.PE-T1-REL-GRT1.RMG-GEO-001				REVISÃO
	PROJETISTA: VBA TECNOLOGIA E ENGENHARIA S/A				0
	CLIENTE: SRH-CE				



APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

O presente documento: RELATÓRIO FINAL DOS SERVIÇOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO- Nº: CAC. PE-T1-REL-GRT1.RMG-GEO-001, reúne e sintetiza as informações coletadas de campo e laboratórios e estudos desenvolvidos para o Projeto Executivo do Cinturão de Águas do Ceará – CAC.

O Projeto do Cinturão de Águas do Ceará – CAC, por meio de canais e estruturas correlatas, objetiva transferir determinadas vazões d'água, advindas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), através do Eixo Norte para o estado do Ceará, com a finalidade de distribuí-las nas principais bacias hidrográficas do estado, alargando as áreas beneficiadas com potencialização dos benefícios, refletindo diretamente na economia e sobretudo no bem estar da população.

O PISF, conforme projetado, transferirá determinada vazão d'água para o Ceará na localidade de Jati, para transferência às bacias do Médio e Baixo Jaguaribe, sendo armazenadas na barragem do Castanhão. Desta forma a integração do PISF com o CAC permitirá que as vazões captadas em Jati possam ser aduzidas em canais gravitários para as principais bacias do Estado: Salgado, Alto, Médio e Baixo Jaguaribe, Banabuiu, Curu, Acaraú e Coreaú. Apenas no seu último trecho, no Ramal do Litoral, o sistema exigirá bombeamento para a transferência de vazões.

Em todas as bacias citadas, serão utilizados açudes existentes ou a construir, com capacidade de acumulação superior a 50 hm³, para armazenamento d'água e regularização de vazões. A partir do sistema de canais e dos reservatórios, será garantido o abastecimento para as populações, a indústria, o turismo, a dessedentação animal e agricultura irrigada, nesta ordem de prioridade.

Entre outras, algumas diretrizes básicas orientaram o desenvolvimento do projeto do CAC:

a) Abrangência Geral do Sistema Adutor

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF) tem, entre seus grandes méritos, o atendimento de parcela significativa da demanda d'água do Ceará, com plena garantia.

O CAC ensejará a melhor distribuição das águas transpostas, possibilitando o crescimento mais harmônico das economias locais em todas as bacias do estado, pela possibilidade do abastecimento humano e da implantação de vários polos de desenvolvimento, e ainda tornar a distribuição das vazões transpostas a mais abrangente possível, para atender às bacias e sub-bacias do todo o estado, de forma equilibrada, sendo portanto uma macrodiretriz que orientou todo o trabalho de formulação e consolidação das alternativas.

b) Condição Gravitária do Sistema

O Projeto do Cinturão de Águas do Ceará foi concebido seguindo a macrodiretriz de distribuição das vazões transpostas do Rio São Francisco às principais bacias hidrográficas do Ceará de forma gravitacional.

Conforme citado, na alternativa de referência está previsto somente o bombeamento para o Ramal do Litoral, na tomada d'água do Projeto de Irrigação Baixo Acaraú, localizada na barragem Santa Rosa, já construída e em operação.

A construção do Trecho 1 Jati/Cariús do Cinturão de Águas do Ceará – CAC será realizada de acordo com o processo licitatório constituído de 5 lotes, sendo os Lotes 1 a 4 compostos por canais e sifões e o Lote 5 específico de túneis e obras correlatas, com extensão de 145,322Km, cortando oito municípios em trechos variados conforme Quadro a seguir.

Trecho 1 do CAC: Municípios e extensões abrangentes por Lote

LOTE 1			
Município	Estaca		Extensão (km)
	Inicial	Final	
Jati	0+000	8+860	8,860
Brejo Santo	8+860	10+840	1,980
	13+160	18+140	4,980
	22+920	38+750	15,830
Porteiras	10+840	13+160	2,320
	18+140	22+920	4,780
TOTAL			38,750
LOTE 2			
Município	Estaca		Extensão (km)
	Inicial	Final	
Brejo Santo	38+750	40+900	2,150
Abaíara	40+900	50+680	9,780
Missão Velha	50+680	73+700	23,020
Barbalha	73+700	75+140	1,440
TOTAL			36,390
LOTE 3			
Município	Estaca		Extensão (km)
	Inicial	Final	
Barbalha	75+140	96+220	21,080
Crato	96+220	111+080	14,860
TOTAL			35,940
LOTE 4			
Município	Estaca		Extensão (km)
	Inicial	Final	
Crato	111+080	144+360	33,280
Nova Olinda	144+360	145+321,85	0,961
TOTAL			34,241



ÍNDICE

ÍNDICE

APRESENTAÇÃO	
1 - INTRODUÇÃO	9
2 - GEOLOGIA REGIONAL	14
2.1 - GEOMORFOLOGIA	14
2.2 - HISTÓRICO DA GEOLOGIA REGIONAL	16
2.3 - GEOLOGIA ESTRUTURAL	17
2.4 - ESTRATIGRAFIA	19
3 - LOTE 1	23
3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	23
3.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	23
3.2.1 - INTRODUÇÃO	23
3.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO	25
3.2.3 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE	36
4 - LOTE 2	45
4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	45
4.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	45
4.2.1 - INTRODUÇÃO	45
4.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO	45
4.2.3 - DEPÓSITOS COLUVIONARES	49
4.2.4 - DEPÓSITOS ALUVIONARES	50
4.2.5 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE	51
5 - LOTE 3	112
5.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	112
5.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	112
5.2.1 - INTRODUÇÃO	112
5.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO	112
5.2.3 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE	115
5.2.4 - SOLUÇÃO DE PROJETO EM SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA	119
6 - LOTE 4	123
6.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	123
6.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS	123
6.2.1 - INTRODUÇÃO	123
6.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO	123
6.2.3 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE	140
7 - LOTE 5	148
7.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	148
7.2 - TÚNEL SÍTIO ALTO 1	148
7.2.1 - INTRODUÇÃO	148
7.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	149
7.2.3 - CONTENÇÕES E SUPORTES	151
7.2.4 - MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULO	155
7.3 - TÚNEL SÍTIO ALTO 2	157
7.3.1 - INTRODUÇÃO	157
7.3.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	157
7.3.3 - CONTENÇÕES E SUPORTES	160
7.3.4 - MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULO	160
7.4 - TÚNEL VENEZA	161
7.4.1 - INTRODUÇÃO	161
7.4.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	161
7.5 - TÚNEL CABACEIRA	164
7.5.1 - INTRODUÇÃO	164

7.5.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	164
7.6 - TÚNEL ARAJARA.....	169
7.6.1 - INTRODUÇÃO	169
7.6.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	169
7.7 - TÚNEL BOA VISTA	171
7.7.1 - INTRODUÇÃO	171
7.7.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	172
7.8 - TÚNEL CRUZEIRO	173
7.8.1 - INTRODUÇÃO	173
7.8.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	174
7.9 - TÚNEL PAI MANÉ	176
7.9.1 - INTRODUÇÃO	176
7.9.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	176
7.10 - TÚNEL CARNAÚBA	179
7.10.1 - INTRODUÇÃO	179
7.10.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA	179
8 - PROSPECÇÕES	182
8.1 - INTRODUÇÃO.....	182
8.2 - MAPEAMENTOS GEOLÓGICOS	182
8.3 - LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS.....	182
8.3.1 - APRESENTAÇÃO.....	182
8.3.2 - QUANTITATIVOS DE SERVIÇOS	183
8.3.3 - PRODUTOS	183
8.3.4 - CONCLUSÕES	185
8.4 - SONDAgens MECÂNICAS	186
8.5 - SONDAgens MANUAIS	186
8.6 - ENSAIOS LABORATORIAIS.....	190
9 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E JAZIDAS.....	194
9.1 - MATERIAS TERROSOS E CONTROLE TECNOLÓGICO DOS ATERROS.....	194
9.1.1 - CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DOS SOLOS PARA ATERROS COMPACTADOS	194
9.1.2 - PISTAS EXPERIMENTAIS	194
9.1.3 - SOBRE AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ATERROS COMPACTADOS DO CAC	198
9.2 - PEDREIRAS	199
9.3 - MATERIAIS GRANULARES E ARENOSO (AREAIS)	199
9.4 - JAZIDAS TERROSAS	200
10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	204
11 - MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULO.....	210
11.1 - LOTE 3 – TRECHO KM 85.000 A 89.000: PRESENÇA UMA CAMADA DE SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA	210
12 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	220

ANEXOS

ANEXO I - MAPAS GEOLOGICOS

ANEXO II - TÚNEIS MEMÓRIA DE CÁLCULO

ANEXO III - LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

ANEXO IV - QUANTITATIVOS DE SONDAGEM

ANEXO V - ENSAIOS LABORATORIAIS



1 - INTRODUÇÃO

1 - INTRODUÇÃO

Os Estudos de Engenharia, realizados anteriormente no contexto dos estudos para projeto executivo do CAC, são compostos por seis relatórios:

- Relatório dos Critérios de Formulação e Estudos Básicos de Alternativas;
- Relatório Setorial da Formulação de Alternativas;
- Relatório de Dimensionamento e Orçamento das Alternativas;
- Relatório da Alternativa Selecionada do CAC;
- Relatório do Anteprojeto do 1º Trecho Jati-Cariús.
- Relatório do Projeto Básico do 1º Trecho Jati-Cariús: Volume I – Memorial Descritivo e o presente documento,
- Relatório do Projeto Executivo do 1º Trecho Jati-Cariús: Volume I – Memorial Descritivo

Os relatórios estão intrinsecamente ligados entre si, pois tratam do desenvolvimento das alternativas, desde o estabelecimento de critérios de formulação, passando pela otimização dos traçados sob diversas óticas, pelo dimensionamento e orçamentação e chegando até a seleção da alternativa de referência para a elaboração do anteprojeto do Trecho 1.

No primeiro relatório, “Relatório dos Critérios de Formulação e Estudos Básicos de Alternativas”, são apresentados os critérios para a formulação e desenvolvimento das alternativas e iniciados os estudos de alternativas, com base nas diretrizes do Edital e nas indicações da Proposta da VBA, bem como nos critérios estabelecidos com este objetivo. Ao final, é apresentado um traçado preliminar de referência, em planta e perfil, na escala 1:100.000, com a finalidade principal de servir de base e de ligação para o relatório seguinte.

No segundo relatório, “Relatório Setorial da Formulação de Alternativas”, são formuladas as alternativas de acordo com os critérios e condicionantes definidos no relatório anterior, com base nas diretrizes do Edital e nas indicações da Proposta da VBA. O relatório traz a consolidação otimizada das alternativas de engenharia, confirmada por inspeções regionais das áreas e locais específicos de obras especiais e de traçados. Apresenta-se a consolidação preliminar otimizada do arranjo geral das alternativas, em planta e perfil na escala 1:100.000.

No terceiro relatório, “Relatório de Dimensionamento e Orçamento das Alternativas”, as alternativas estudadas são dimensionadas e orçadas para que possam ser hierarquizadas e dentre elas selecionada a melhor.

No quarto relatório, “Relatório da Alternativa Selecionada do CAC”, é definida a alternativa ótima para o Projeto; elabora-se o modelo de otimização e operação do Projeto; dimensiona-se e consolida-se a alternativa de referência para a elaboração do Projeto.

No “Relatório do Anteprojeto do 1º Trecho Jati-Cariús” é apresentado o Anteprojeto do Trecho 1, que começa na tomada d’água no lago da barragem de Jati, em sua ombreira esquerda, e termina na travessia do rio Cariús.

O relatório do Projeto Básico consiste em uma revisão, atualização e ajuste do Projeto Básico anteriormente desenvolvido pela SRH, com o objetivo de inserir no mesmo as informações dos estudos já executados no âmbito do contrato supracitado de detalhamento do Projeto Executivo.

Os ajustes mencionados ao projeto Básico compreenderam em síntese as seguintes ações:

- Revisão a partir da topografia em escala 1:2.000, dos volumes de escavação e aterro, bem como a compensação entre os mesmos e quantificação global e localizada da necessidade de jazidas de empréstimo e bota-fora ao longo da obra;
- Revisão da planilha de orçamento do projeto (tomando com referência a planilha do Projeto Básico), de forma a refletir as alterações dos ajustes efetuados nos projetos geométricos e de terraplenagem iniciais feitos para o Projeto Executivo em elaboração;
- Revisão das especificações técnicas do projeto (tomando como referência as especificações do Projeto Básico) de forma a introduzir ajustes em função do novo projeto de terraplenagem;

Revisão e ajuste, com base nos Projetos Gerais Geométrico e de Terraplenagem em escala 1:2.000 feitos para o Projeto Executivo, dos projetos de canais, sifões, túneis e obras correlatas.

Estudos preliminares, concepção e traçado preliminar do CAC – Cinturão de Águas do Ceará tiveram origem, no final dos anos 90, quando a VBA desenvolvia para o Ministério de Integração Nacional, os estudos de Inserção Regional do PTRSF - Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional.

O Cinturão das Águas do Ceará – CAC é um sistema adutor extenso, com cerca de 1300 km, totalmente gravitatório, com previsão de canais em corte e aterro, com passagens em talvegues e travessias de divisores de água, contemplando obras especiais como túneis e sifões. Da forma como está concebido está subdividido da seguinte forma:

- Trecho 1, que começa na barragem Jati e termina na bacia do rio Cariús, com 145,321 km de extensão, com vazão máxima de 30m³/s, objeto do presente projeto básico;
- Trecho 2, que começa na travessia do rio Cariús e termina na passagem do divisor de águas das bacias dos rios Jaguaribe e Poti, com 271,00 km com vazão máxima de 30m³/s;
- Ramal 1, que começa no final do Trecho 2 e deriva vazões para a bacia do Banabuiú, com 53,00km, com vazão máxima de 5m³/s



- Trecho 3, com 137 km, começa no divisor de águas das bacias dos rios Jaguaribe e Poti e termina no ponto de derivação dos Ramais Leste e Oeste, com vazão máxima de 25m³/s;
- Ramal 2, que deriva vazões para a bacia do Banabuiú, através do rio Quixeramobim, com 20km de extensão, com vazão máxima de 10m³/s;
- Ramal Oeste, com 180,49km de extensão para transferir vazões para as bacias do Acaraú e do Coreaú, com vazão máxima de 15m³/s;
- Ramal Leste, com 210,17km, para derivar vazões para as bacias do Acaraú, Litoral e do Curu, com vazão máxima de 8m³/s;
- Ramal do Litoral, com início na barragem Santa Rosa no rio Acaraú e término no Complexo Industrial e Portuário do Pecém, com dois subtrechos, com vazão máxima de 6m³/s.

Esta divisão do CAC em trechos e ramais foi utilizada na elaboração do projeto e para a implantação das obras, sem prejuízo para a concepção geral do empreendimento, tendo o Governo do Estado assumido a implantação do Trecho 1 – Jati/Cariús, cujo projeto básico elaborado pela VBA, precedeu ao presente relatório. (Fotos 1.1 e 1.2).



Foto 1 - Barragem de Jati em construção



Foto 2 - Vale do rio Cariús

Desta forma o presente documento: RELATÓRIO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO FINAL - Nº: CAC.PE-T1-REL-GRT1.PJE-MMD-001-R00, consta no seu desenvolvimento dos seguintes capítulos:

1. Introdução: Textualmente o leitor, em síntese, toma conhecimento do histórico e evolução do projeto do CAC;
2. Geologia Regional: Constitui-se uma compilação de estudo, publicações e trabalhos anteriores, sobretudo os de âmbito científico nacional, desenvolvidos pela CPRM, complementados com as informações de campo de profissionais e colaboradores da VBA, ajustados à escalado projeto;
3. Lote 1: Detalhamento da geologia e geotecnia, a níveis regional e local, de abrangência do referido trecho contratual;
4. Lote 2: Aspectos da geologia e geotecnia, a níveis regional e local, de abrangência do trecho, objeto deste contrato;



5. Lote 3: A geologia e geotecnia a níveis regional e local, específicos do trecho correspondente ao contrato;
6. Lote 4: Aspectos da geologia e geotecnia a níveis regional e local, de abrangência do referido trecho contratual;
7. Lote 5: Aspectos da geologia e geotecnia\geomecânica, a níveis regional e local, de abrangência dos sub-trechos, que limitam as obras subterrâneas (de 13 túneis) e estruturas interligadas e correlatas, específicas, que compõem o contrato;
8. Prospecções para Projeto: Apresentação, em síntese, dos estudos e prospecções de campo, laboratório e escritório usados no desenvolvimento dos projetos
9. Materiais de Construção – Jazidas: Apresentação, em síntese, dos estudos e prospecções de campo e ensaios de laboratório, visando o uso nas estruturas de terra e rocha do CAC;
10. Considerações Finais: Focaliza aspectos relevantes do projeto, recomendações e conclusões no âmbito do projeto executivo;
11. Memória Técnica e de Cálculos: Apresentação de metodologias aplicadas nos estudos e cálculos, em particular da estabilidade de taludes, contenções e suportes dos túneis, estes objetos de relatórios específicos do projeto executivo, emitidos ao cliente e em arquivo da VBA;
12. Referências Bibliográficas: Documentos, publicações, artigos, relatórios consultados e utilizados no desenvolvimento do projeto
13. Anexos: Referem-se aos que compõem e complementam o texto do presente documento, e ainda consta uma listagem dos documentos não inclusos mas que complementam o relatório, a exemplos de desenhos e memórias técnicas\cálculos.



2 – GEOLOGIA REGIONAL

2 - GEOLOGIA REGIONAL

2.1 - GEOMORFOLOGIA

A história geológica da Bacia do Araripe se inicia com a fragmentação de Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul, no Neo-Jurássico/Eo-Cretáceo. O conjunto de eventos de rifteamento continental, decorrentes de estiramento litosférico e consequente subsidência de uma área denominada Depressão Afro-Brasileira, deu origem a várias bacias do tipo rifte no interior do nordeste brasileiro.

Os distintos embaciamentos gerados no Nordeste representam parte da cobertura, preservada como remanescentes da distribuição dos depósitos individuais, originalmente muito mais amplos, em pequenas bacias (Assine, 2007).

A Bacia do Araripe destaca-se, dentre as demais bacias interiores do Nordeste, por sua extensão em área e amplitude estratigráfica. Seu registro é o mais completo dentre as bacias interiores do Nordeste compreendendo as fases Pré-rifte, Rifte e Pós-rifte da evolução do oceano Atlântico Sul. Assim, fica evidente sua importância na compreensão geostórica das demais bacias em âmbito regional, tanto de interior (e.g. Souza, Iguatu e Jatobá) quanto de margem (e.g. Potiguar, Pernambuco-Paraíba e Sergipe-Alagoas) (Paula Freitas, A B L & Borghi, L, UNESP, SP 2011).

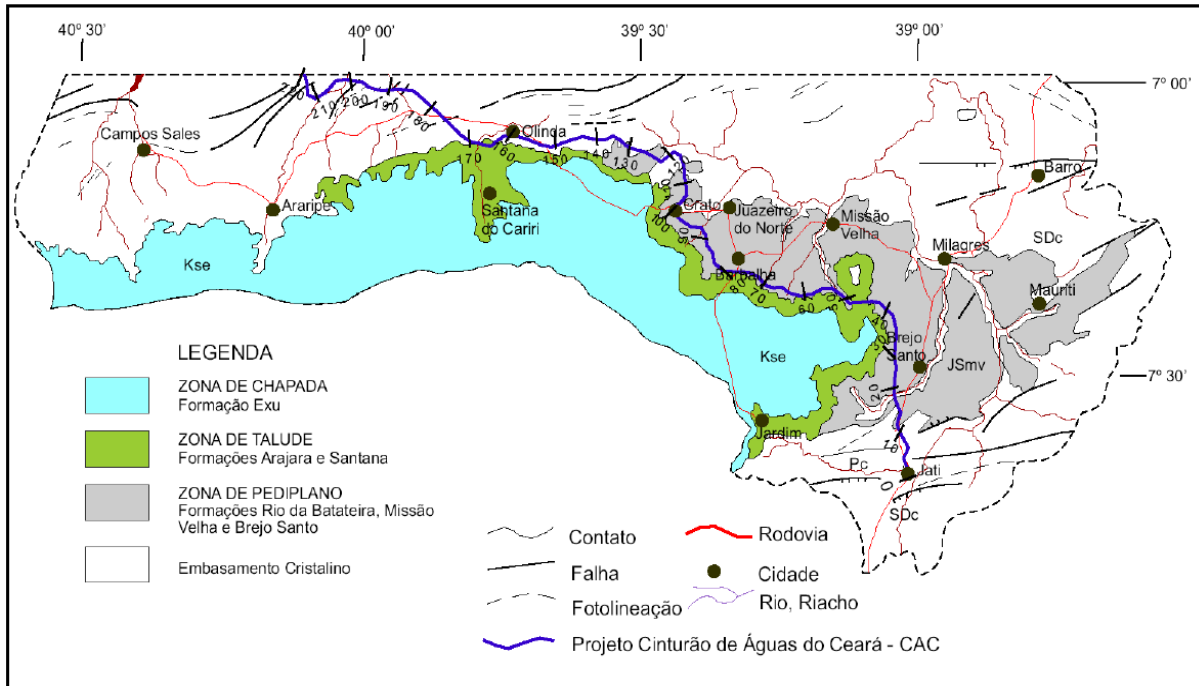
Localizada na Província Borborema, no Nordeste do Brasil, a Bacia do Araripe se desenvolveu em consequência de uma série de eventos geológicos precedentes e/ou à ruptura do Gondwana e subsequente abertura do Atlântico Sul (Ponte ET AL. 1991; Matos 1992; Assine 2007).

Implantado em terrenos pré-cambrianos da Zona Transversal da Província Borborema, a sul do Lineamento Patos, a Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste e a que apresenta, dentre elas, história geológica mais complexa. A sua localização é dividida pelos estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, recobrando uma área de 7200 km². Seu arcabouço estratigráfico é constituído por sequências limitadas por discordâncias regionais, que representam o registro fragmentário de embaciamentos gerados em ambientes tectônicos distintos (Assine 2007).

A Bacia do Araripe se destaca na geomorfologia da região pela ocorrência da chapada homônima, uma feição geomorfológica alongada na direção E-W, de topo plano mergulhando suavemente para oeste, e limitada por escarpas erosivas (Assine 2007).

No trecho Jati-Cariús podem ser reconhecidas três zonas geomorfológicas distintas com características peculiares do ponto de vista de litologia, relevo, clima, hidrologia e vegetação: Zona de Chapada, Zona de Talude e Zonas de Pediplano. (**Figura 2.1**).

Figura 2.1 - Zonas Fisiográficas da Parte Leste da Bacia do Araripe



Fonte: Avaliação Ambiental da Região do Cariri - CPRM – Serviço Geológico do Brasil – 1996

- a) **Zona de Chapada ou Chapada do Araripe:** constituída pelos arenitos da Formação Exu, apresenta relevo tabular e plano, formando uma extensa “mesa” limitada em quase toda sua extensão por escarpas abruptas, de contornos irregulares e desníveis consideráveis, que chegam a ultrapassar 300 metros. Dois segmentos podem ser individualizados nesta zona: o primeiro, localizado no limite entre os estados de Pernambuco e Ceará, estende-se na direção EW, cobrindo uma superfície com aproximadamente 180 quilômetros de comprimento e largura variável entre 30 e 50 quilômetros, constituindo o divisor de água das bacias hidrográficas dos rios São Francisco ao sul e Jaguaribe ao norte.

Na porção mais ocidental da bacia, nos limites dos estados de Pernambuco, Ceará e Piauí, esta zona sofre uma inflexão de noventa graus e estende-se, na direção NS, por cerca de 60 quilômetros com largura média de 20 quilômetros, constituindo-se, assim, outro segmento que funciona como o divisor de águas das bacias hidrográficas dos rios São Francisco, a leste e Parnaíba, a oeste. As altitudes da chapada, no primeiro segmento, decrescem no sentido EW, atingindo elevação máxima (1.000m) e mínima (700m). A ausência quase total de drenagem no topo da chapada está diretamente relacionada às características do solo que a recobre, pois sendo o mesmo procedente de arenitos, apresenta-se bastante uniforme, essencialmente arenoso, poroso e permeável, não oferecendo, portanto, quaisquer condições para o desenvolvimento de uma boa rede de drenagem.

A vegetação nativa é uniforme, densa e de médio a grande porte. Devido às características do solo, extensas áreas encontram-se cultivadas, destacando-se lavouras de mandioca, largamente utilizada em alimentos da região. O traçado do CAC está fora dessa feição morfológica.



- b) **Zona de Talude:** margeia o sopé da chapada e inclui, geologicamente, unidades litológicas das formações Arajara (siltitos e arenitos argilosos e/ou caulínicos) e Santana (margas, folhelhos e calcários, contendo níveis intercalados de gipsita). O solo de baixa acidez, derivado desta associação litológica, é espesso, pouco permeável e bastante fértil, com drenagem relativamente densa e ramificada. No contato entre as formações Exu (na base da escarpa) e Arajara e no âmbito desta última formação, existem centenas de exutórios naturais de água (fontes), responsáveis pelo desenvolvimento da vegetação exuberante exibida por esta feição fisiográfica. O traçado do CAC não intercepta esta feição.
- c) **Zona de Pediplano:** bem representada na porção cearense da bacia, constitui uma “vasta depressão, emoldurada, ao sul, pelas falésias escarpadas da Chapada do Araripe (a reconhecida Serra do Araripe) e, ao norte-nordeste, pelas encostas dos arenitos siluro-devonianos da Formação Mauriti” (Ponte 1991). A sua área de domínio se desenvolve desde a região do Crato – Juazeiro do Norte – Barbalha – Missão Velha, até os municípios de Abaiara, Milagres e Mauriti a leste, e Brejo Santo, Porteirias e Jardim ao sul, mostrando uma topografia, com altitude média em torno de 400 metros, caracterizada por morros alongados entremeados por vales amplos de fundo plano.

As litologias predominantes no Vale do Cariri, como é chamado, relacionam-se às formações Brejo Santo e Missão Velha (Jurássico), Abaiara e Rio da Batateira (Cretáceo), estando este conjunto balizado ora pelos arenitos da Formação Mauriti ora pelas rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano. Os solos formados das unidades litológicas têm composição argilo-sílica-arenosa (Formações Rio da Batateira e Abaiara), arenosa (Formação Missão Velha) ou argilosa (Formação Brejo Santo) e a vegetação nativa, onde preservada, é tipicamente de caatinga. O principal curso d’água que drena o vale é o Rio da Batateira, cujos riachos tributários são alimentados pelas fontes localizadas nas vertentes da Chapada do Araripe. Decorrente das características do solo e presença de mananciais d’águas subterrâneas e superficiais, a agricultura é bem desenvolvida, apresentando extensas áreas cultivadas com cana-de-açúcar, feijão, milho, arroz, dentre outras culturas.

2.2 - HISTÓRICO DA GEOLOGIA REGIONAL

A história geológica da Bacia do Araripe se inicia com a fragmentação de Gondwana e a abertura do Oceano Atlântico Sul, no Neo-Jurássico/Eo-Cretáceo. O conjunto de eventos de *rifteamento* continental, decorrentes de estiramento litosférico e consequente subsidência de uma área denominada Depressão Afro-Brasileira, deu origem a várias bacias do tipo rifte no interior do nordeste brasileiro.

Os distintos embaciamentos gerados no Nordeste representam parte da cobertura, preservada como remanescentes da distribuição dos depósitos individuais, originalmente muito mais amplos, em pequenas bacias (Assine, 2007).

A origem da Margem Continental brasileira está diretamente relacionada às manifestações da separação do Supercontinente Gondwana Ocidental e a consequente abertura do Oceano Atlântico Sul, iniciada no Jurássico Superior. Este processo de ruptura culminou com a separação dos continentes Sul-Americano e Africano, sendo de grande

importância para a compreensão da estruturação de toda a margem Equatorial Atlântica e a origem das bacias sedimentares brasileiras.

Destes processos de ruptura do Supercontinente Gondwana e do rifteamento Eocretáceo se originaram as diversas Bacias Interiores do Nordeste do Brasil, das quais fazem parte as Bacias Araripe, Rio do Peixe e Iguatu, dentre outras de menor tamanho e importância (Souza-Lima&Hansi Jr. 2003), distribuídas ao longo do designado Trend Cariri-Potiguar.

O Embasamento da Bacia do Araripe pertence à Região de Dobramentos do Nordeste, ou Província Borborema. Uma entidade Pré-Cambriana com estruturação bastante complexa, dominada por intensos dobramentos, segmentada por grandes lineamentos e por intrusões batólitos ígneos, em sua maioria granitóides (Bizziet al.2003).

Distinguem-se, no Embasamento da Província Borborema, dois tipos de domínios Pré-Cambrianos:

1. Terrenos metassedimentares e metavulcanos sedimentares, ou “sistemas de dobramentos” e;
2. Terrenos gnássico-migmatíticos.

As faixas metassedimentares alternam com os terrenos gnássico-migmatíticos. Os lineamentos são feições marcantes e características da região, expressos por zonas cataclásticas e miloníticas, normalmente delimitando os terrenos supracitados (Santos&Brito-Neves, 1984).

Na Província Borborema se destaca a “Zona Transversal”, uma extensa zona com estruturas orientadas na direção geral leste-oeste, que se estende desde a região litorânea dos Estados da Paraíba e Pernambuco até a parte oriental do Estado do Piauí, onde é recoberta pelos estratos sedimentares da Sinéclise do Parnaíba. Esta é limitada ao sul pelo Lineamento Pernambuco e, ao norte, pelo Lineamento Patos ou Paraíba, do qual fazem parte extensas zonas de cisalhamento, como as de Malta, Aurora, Faria de Brito e Tatajuba (Ponte&Ponte Filho 1996).

Segundo Matos (1999), as Bacias Interiores do Nordeste se formaram em regiões onde as zonas de cisalhamento apresentam forma sigmoidal, com inflexões de NE para E-W (Neocomiano). Os lineamentos NE da área foram reativados como falhas normais, enquanto que as zonas de cisalhamento transcorrentes Neoproterozóicas foram utilizadas para o balanceamento mecânico entre blocos adjacentes.

Neste contexto, o formato sigmoidal da megazona de cisalhamento de Patos propiciou esforços transtracionais gerando sub-bacias associadas a pontos de inflexão das falhas Pré-Cambrianas. Em escala de bacia, se desenvolveram novas falhas de transferência, geralmente de direção NW, responsáveis pelo balanceamento local de tensões na crosta (Matos 1999).

2.3 - GEOLOGIA ESTRUTURAL

O estagio Rife na Bacia do Araripe resulta do tectonismo Eocretáceo (Neocomiano), conhecido como “Reativação Wealdeniana”. Suas estruturas se encontraram expostas superficialmente no Vale do Cariri, sendo também evidenciadas em levantamentos

graviméticos e sísmicos, sob a Chapada do Araripe. Na literatura são identificadas duas sub-bacias: a Sub-Bacia Leste, ou Sub-Bacia do Cariri, e a Sub-Bacia Oeste, ou Sub-Bacia de Feitoria ou de Serrolândia, separas por um alto estrutural interposto, denominado *Horstde Dom Leme*.

Figura 2.2 - Esboço Geológico simplificado

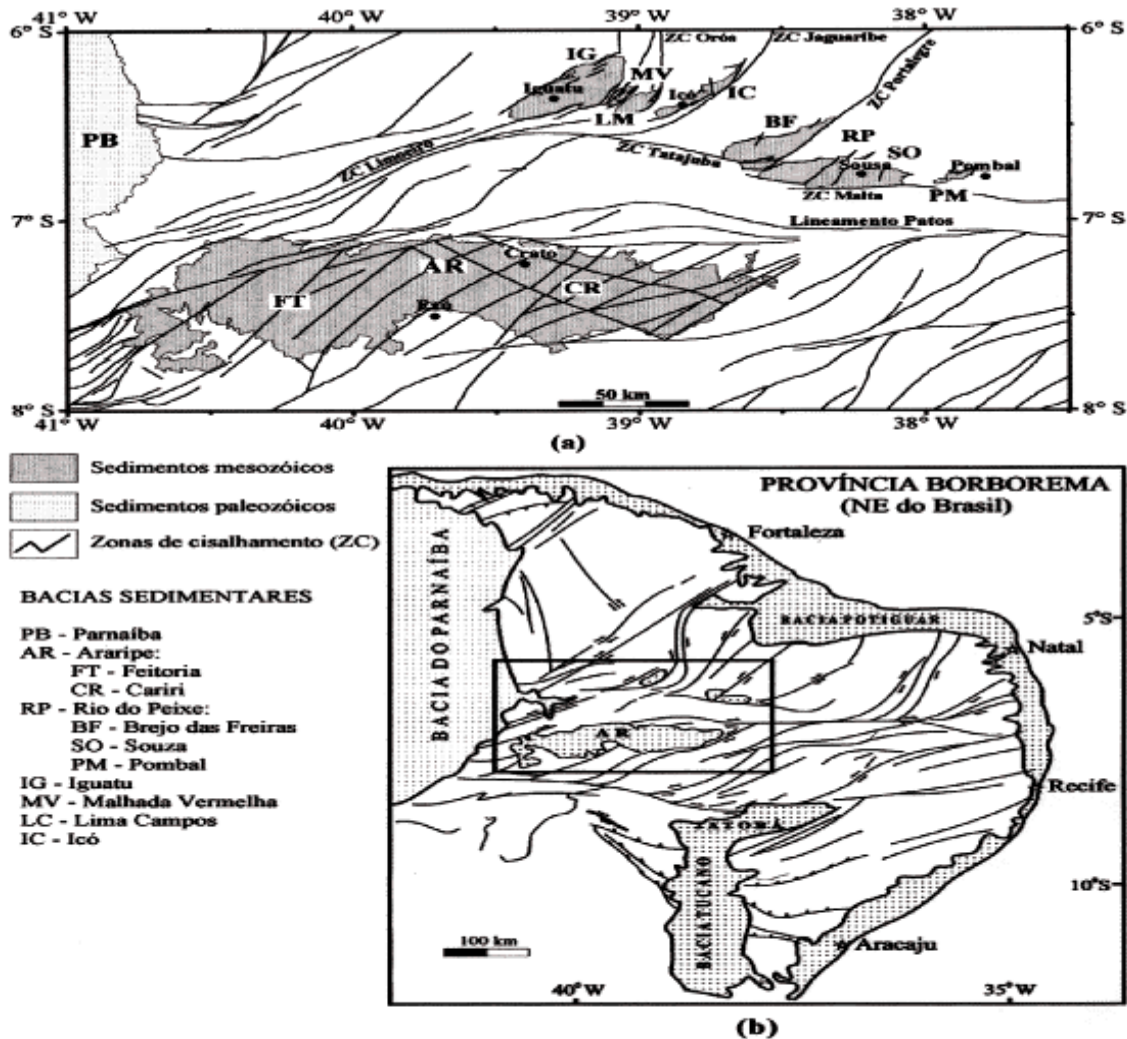


Figura 1- Esboço geológico simplificado (a) e localização geográfica das bacias rifte do Vale do Cariri no contexto da Província Borborema (b). Adaptado dos mapas geológicos do Projeto Rio Jaguaribe (Brasil. MME - DNPM, 1979), do Projeto Radambrasil - Folha Jaguaribe - Natal (Brasil. MME - DNPM, 1981), Jardim de Sá (1994) e Ponte & Ponte Filho (1996).

Os referidos compartimentos configuram uma zona de rifte com aproximadamente 170 km de comprimento no sentido leste-oeste e largura variável de 30 a 50 km (Ponte & Ponte-Filho 1996; Matos 1992, 1999). As unidades fundamentais são “grabens” assimétricos, com orientação NE-SW. Nas duas sub-bacias, os falhamentos podem ser agrupados em três conjuntos:

1. um conjunto, dominante, com direção NE;
2. um conjunto com direção E-W e
3. um conjunto com orientação NW.

O conjunto de falhamentos de direção NE-SW, que limita as sub-bacias e os seus principais blocos estruturais internos, é formado por falhas normais, planares, que obedecem à orientação principal da trama estrutural do embasamento. Muitas delas apresentam continuidade com zonas de cisalhamento Pré-Cambrianas; incluem-se nesse conjunto as falhas de Serrolândia, de Dom Leme, do Crato e de Barbalha, entre outras.

O conjunto de falhas de direção E-W concorda com os trends dos lineamentos limítrofes da Zona Transversal. Tal é o caso da Falha do Barro, parte do ramo principal do Lineamento Patos, e da Falha do Sítio dos Moreiras, em parte subparalela ao Lineamento Pernambuco (Ponte & Ponte Filho 1996).

Os falhamentos com orientação NW-SE são pouco freqüentes na trama estrutural do embasamento Pré-Cambriano, porem muito importantes na arquitetura da zona de rifte do Araripe. Incluem-se nesse conjunto as falhas de Missão Velha e Porteiras, interpretadas como fraturas de cisalhamento, que teriam atuado como falhas de transferência durante a evolução do rifteamento na bacia (Ponte & Ponte Filho 1996).

Em sua arquitetura, a Sub-Bacia Cariri foi descrita como um conjunto de quatro grabens colaterais assimétricos, com orientações que variam de N40° -55°E, separados por três horsts que formam cristais intrabaciais, limitados por falhas normais planares. Os grabens unitários recebem as designações de Crato-Juazeiro, Missão Nova, Jenipapeiro e Serrote da Cacimbas-Palestina. Os horsts interpostos são nomeados como Barbalha, Abaiara e Brejo Santo-Mauriti. As maiores profundidades estimadas nos levantamentos gravimétricos são da ordem de 1400 m e se encontram no Grabem de Crato-Juazeiro (Ponte & Ponte Filho 1996).

A geometria interna da Bacia de Feitoria aparenta ser formada por dois grabens assimétricos, colaterais, com orientação N40°E e mergulhos de polaridades similares, para NW. Limita-se a leste, com o horts de Dom Leme, pela falha homônima e, sudoeste, na região de Ipubi, com forma de um homoclinal, enquanto a extremidade nordeste aparenta ser limitada por falha, na região de Santana do Cariri. A profundidade máxima estimada nos levantamentos sísmicos é de 1850m a 1900 m (Ponte & Ponte Filho 1996).

2.4 - ESTRATIGRAFIA

O estudo estratigráfico da Bacia do Araripe remonta a 1913, com o trabalho pioneiro de Small; desde então, surgiram diversas propostas de colunas litoestratigráficas. Esta forma ascitações da estratigrafia desta Bacia se restringem aos trabalhos de Ponte & Ponte Filho (1996), Valença et al. (2003) e Assine (1992, 2007). A Bacia do Araripe é a mais extensa das bacias interiores do Nordeste do Brasil (Fig. 1). Sua área de ocorrência não se limita à Chapada do Araripe, estendendo-se também pelo Vale do Cariri, num total de aproximadamente 9.000 km².

O trabalho pioneiro sobre sua geologia é o de Small (1913), que subdividiu o registro sedimentar em quatro unidades (conglomerado basal, arenito inferior, calcário Santana e arenito superior). Estudos sistemáticos foram realizados somente a partir da década de 60, um período de profícuos trabalhos, como os desenvolvidos por professores e alunos da Universidade Federal de Pernambuco, de que resultaram publicações como as de Beurlen (1962, 1963). Este autor redefiniu as unidades estabelecidas por Small, denominando-as de


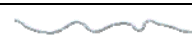

Formações Cariri, Missão Velha, Santana e Exu, para as quais estimou uma espessura sedimentar total de cerca de 850 m. Dentre as unidades litoestratigráficas da bacia, a Formação Santana é estratigraficamente a mais complexa e também a mais estudada, não só pelas extensas jazidas de gipsita, mas principalmente por se constituir no principal jazigo brasileiro, famoso em todo mundo, sobretudo pela rica fauna preservada ictiolítica em concreções carbonáticas. (ASSINE, 1992).

Com base nas análises estratigráficas realizadas, ficou evidenciado que as rochas preservadas na Bacia do Araripe constituem o registro fragmentário de bacias histórica e geneticamente distintas, separadas no tempo e parcialmente superpostas no espaço, sendo agrupadas em quatro seqüências estratigráficas limitadas por discordâncias regionais (Assine 1992, 2007; Ponte & Ponte Filho 1996; Ponte et al. 1997), designadas como “Tectonossequências” por esses últimos autores.

Segundo os autores citados, as Tectonossequências e respectivas discordâncias delimitadoras na Bacia do Araripe são:

1. A Tectonossequência Paleozóica (corresponde à Tectonossequência Beta, de Ponte et al. 1997), de provável idade siluriana, é representada pela Formação Mauriti e se encontra sobreposta ao embasamento pré-cambriano ao longo da Discordância Pré-Fanerozóica;
2. A Tectonossequência Pré-Rifte, de idade Neojurássica, limitada na base pela Discordância Pré-Neojurássica, é composta pelas Formações Brejo Santo e Missão Velha;
3. A Tectonossequência SinRifte, representada pela Formação Abaiara, de idade Eocretáceo, é limitada na base pela Discordancia Pré-Neocomiana e, no topo, pela Discordância Pré-Aptiana;
4. A Tectonossequência Pós-Rifte, de idade Mesocretácea, apresenta forma tabular, com camadas horizontais, estendendo-se discordantemente tanto sobre as tectonossequências mais antigas, como sobre o embasamento cristalino Pré-Cambriano.

Quadro 2.1 - Resumo das unidades estratigráficas e discordâncias descritas por Ponte & Ponte Filho (1996) e Ponte et al. (1997)

Idade	Formação	Discordância	Tectonossequência
Mesocretáceo	Exu		Pós-Rifte
	Araripina		
	Santana		
	Barbalha		
		Pré-Aptiana	
Eocretáceo	Abaiara		Sin-Rifte
		Pré-Neocomiana	
Neojurássico	Missão Velha		Pré-Rifte
	Brejo Santo		
		Pré-Neojurássica	



Idade	Formação	Discordância	Tectonossequência
Siluriano	Mauriti		Beta
		Pré-Fanerozóica	
	Embasamento		

Quadro 2.2 - Síntese da litoestratigrafia da Bacia do Araripe (modificado de Assine, 1992, 2007)

Sequência Pós-Rifte	Formação Exu	Formação Araripina	Formação Santana	Formação Rio Bateiras/ Barbalha	Formação Abaiaira	Formação Missão Velha	Formação Mauriti	Embasamento Cristalino																					
									Sequências Rifte	Sequências Pré-Rifte	Sequência Beta																		
	Os arenitos fluviais recobrem em discordância erosiva a Formação Araripina em alguns locais com pequeno ângulo.	Na porção oeste da bacia, o arranjo estratigráfico é de ciclos granodrecrescência ascendente, com delgados níveis de conglomerado e/ou arenitos conglomeráticos na base, superpostos por arenitos grossos com estratificação cruzada tabular e acanalada, dispostos em sets decimétricos a métricos. Fácies pelíticas de planície de inundação, ocasionalmente ocorrem intercaladas nos arenitos, às vezes preenchendo canais abandonados.	Na porção leste da bacia, os arenitos são mais grossos e imaturos, com maior frequência de níveis conglomeráticos, apresentando estratificações cruzadas tabulares e/ou acanaladas, numa associação característica de sistema fluvial entrelaçado.	O padrão de paleocorrentes obtido nos arenitos indica mergulho deposicional para oeste, numa mudança paleogeográfica notável ao padrão das sequências anteriores.																									
	Formação Araripina	É constituída por ritmos compostos por arenitos finos e lamitos, de colorações avermelhadas, arrozeadas e amarelas; neles ocorrem intercalados corpos lenticulares de arenitos médios a grossos.	Estruturas de sobrecarga, como pseudonódulos e almofadas, e estruturas em chama, são comuns na associação, sendo a presença de truncamentos na estratificação uma característica marcante, constituindo discordâncias angulares internas à unidade.	Os truncamentos internos e as deformações existentes na seção heterolítica sugerem tectônica sindeposicional. Este evento tectônico mesoalbioano afetou os estratos subjacente da Formação Santana.	Formação Santana	Esta formação foi inicialmente dividida em três membros: Crato, Ipubi e Romualdo.	O membro Crato apresenta, numa parte inferior, folhelhos calcíferos, interestratificados com calcários laminados. A ampliação dos sistemas lacustres indica condições de baixa energia nos ambiente deposicional.	Sobre os calcários laminados, em associação com folhelhos verdes e/ou pretos (pirobetuminosos), estão presentes evaporitos. Os evaporitos são interpretados como originados em ambientes costeiros (supra maré), sujeitos a variações relativas do nível do mar, em condições de clima árido a semi-árido e são atribuídos ao Membro Ipubi.	No membro Romualdo, na sua porção inferior, encontra-se arenitos conglomeráticos na base, apresentando nítido padrão de afinamento textural para o topo. São fácies de canais fluviais, indicativas de fluxos torrenciais episódicos. Também ocorrem lamitos verdes calcíferos que apresentam fósseis não marinhos, como ostracodes de água doce.	Encontra-se também abundantes concreções carbonáticas, frequentemente fossilíferas, que ocorrem em meio à fácies de folhelhos calcíferos esverdeados, ricos em ostracodes. As concreções apresentam um total de 18 espécies marinhas.	No membro Romualdo superior, interdigitados aos folhelhos, paulatinamente voltam a ocorrer siltitos e arenitos com fósseis de água doce, caracterizando condições regressivas ao final da sequência.	Formação Rio Bateiras/ Barbalha	Fácies areníticas com intercalações de argilitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados. Os arenitos são finos a médios, com grãos subarredondados a subangulares, em geral bastante friáveis, argilosos e micáceos, às vezes seixosos e/ou portadores de feldspatos caulinizados e bolas de argilas. A estratificação cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, também ocorrem feições sigmoidais.	Representam o final de um evento de redução paulatina de energia do ambiente fluvial, inicialmente restrito e caracterizado por águas rasas e pouco oxigenadas (Eh redutor).	Formação Abaiaira	Na base, apresenta folhelhos siltíticos e siltitos vermelhos e verdes-claros, com intercalações lateralmente descontínuas de camadas decimétricas de arenitos finos e lâminas de calcários argilosos. Para o topo, intercalados com folhelhos siltíticos esverdeados, ocorrem lentes métricas de arenitos quartzosos finos a muito grossos, com níveis conglomeráticos, onde se encontram fragmentos de madeira silicificada.	No topo ocorrem arenitos finos a médios, com grãos subarredondados, em sets decimétricos a métricos, com estratificação cruzada tabular tangencial na base, sendo comuns estruturas convolutas formadas por deformação penecontemporânea.	Os litotipos são de origem continental. Os folhelhos e siltitos de tonalidades avermelhadas, presentes na base da unidade, são interpretados como produto de sistemas lacustres rasos/plâncies aluviais, sendo sucedidos por arenitos fluviais, em direção ao topo. Os folhelhos esverdeados e os bioespátios (ostracodes), entremeados aos arenitos, são o registro de lagos efêmeros adjacentes aos canais, originados nas várzeas como consequência de inundações.	Formação Missão Velha	É constituída por arenitos quartzosos, por vezes feldspáticos e/ou caolínicos, localmente conglomeráticos, portadores de abundantes troncos e fragmentos de madeira silicificada, atribuídas à conífera Dadoxylon Benderi.	Os arenitos se apresentam em sets decimétricos, com estratificação cruzada tabular e/ou acanalada, desenvolvidas em planícies fluviais de sistemas entrelaçados, caracterizado por canais rasos e de alta energia.	Formação Brejo Santo	Composta por folhelhos e argilitos vermelhos, siltitos, calcíferos e localmente, verde-claros. Ocorrem intercalações de camadas decimétricas a métricas de arenitos finos a médios, e delgadas lâminas de calcário argiloso, ricos em ostracodes.	O registro de formas exclusivamente não-marinhas indica sedimentação continental, em depressões amplas e rasas, onde se desenvolveram sistemas aluviais/lacustres caracterizados por condições oxidantes, em ambientes propícios à formação de camadas vermelhas (red beds).	Formação Mauriti	É caracterizada por arenitos imaturos, de granulometria média a muito grossa, com grão angulares a subangulares. Ocorrem níveis de ortoconglomerados, sendo comuns na base, onde incluem fragmentos líticos do embasamento e clastos de feldspatos róseos bem preservados.	Apresentam estratificações cruzadas de médio a grande porte, tabulares e, secundariamente, acanaladas, em sets com espessuras decimétricas a métricas. São interpretadas como originadas em sistemas fluviais entrelaçados (braided), com escassa representação da fração pelítica de planície de inundação.	Embasamento Cristalino	Caracteriza-se por um conjunto de rochas vulcanossedimentares e metamórficas, constituído por uma associação de micaxistos, filitos, quartzitos, calcários metamórficos, metassiltitos, podendo surgir partes ígneas de natureza granítica em forma de stocks e batólitos cortando a sequências vulcanossedimentar, conforme os estudos de França et alii, 1980 e Gomes et alii, 1981 – Projeto RADAMBRASIL.



3-LOTE 1

3 - LOTE 1

3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Lote 1 com extensão 38,750 Km é constituído pelas obras civis da captação e adução, incluindo também o fornecimento e montagem dos sifões do subtrecho 1.1 que inicia na captação no açude Jati e termina no trecho de canal 9.1 a montante do túnel Sitio Alto 1.

Os subtrechos de acordo com os tipos de obras estão discriminados no Quadro 3.1, a seguir.

Quadro 3.1 – Localização e Extensão das Obras Componentes do Lote 1

	Obra	Inicial	Final	Extensão	Extensão (km)	Extensão acumulada	EXTENSÃO DAS OBRAS					EXTENSÃO TOTAL / FRENTE (KM)	VOLUMES DE CORTE (M ³)	VOLUMES DE ATERRO (M ³)	
							CANAIS		SIFÕES		TÚNEIS				
							QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE				EXTENSÃO - INCLUSIVE EMBOQUE/DESEMBOQUE (M)
Lote 1	Captação														
	Canal 01	0,00	506,87	506,87	0,51	0,51									
	Sifão 1 - BR-116 (1)	506,87	1.108,60	601,73	0,60	1,11									
	Canal 02	1.108,60	1.794,94	686,34	0,69	1,79	3	6,44	3	1,11			7,56	593.440,76	395.236,31
	Sifão 2 - Jardim	1.794,94	2.035,00	240,06	0,24	2,04									
	Canal 03	2.035,00	4.662,71	2.627,71	2,63	4,66									
	Sifão 3 - Beleza	4.662,71	5.408,55	745,84	0,75	5,41									
	Canal 04	5.408,55	8.537,79	3.129,24	3,13	8,54									
	Sifão 4 - BR-116 (2)	8.537,79	8.665,14	127,35	0,13	8,67									
	Comporta de Controle 1 (CC1)	8.665,14	8.672,14	7,00	0,01	8,67									
Canal 05	8.672,14	10.736,00	2.063,86	2,06	10,74	3	7,56	3	5,51			13,07	962.433,90	831.356,50	
Sifão 5 - BR-116 (3)	10.736,00	10.856,00	120,00	0,12	10,86										
Canal 06	10.856,00	12.965,40	2.109,40	2,11	12,97										
Sifão 6 - Ferrovia (TLISA)	12.965,40	13.925,39	959,99	0,96	13,93										
Canal 07	13.925,39	19.251,14	5.325,75	5,33	19,25										
Sifão 7 - Porteiras (CE-397)	19.251,14	21.734,34	2.483,20	2,48	21,73	1	0,01	1	8,63			8,65	364.491,60	549.726,60	
Comporta de Controle 2 (CC2)	21.734,34	21.741,34	7,00	0,01	21,74										
Canal 08.1	21.741,34	30.373,80	8.632,46	8,63	30,37										
Comporta de Controle 3 (CC3)	30.373,80	30.380,80	7,00	0,01	30,38										
Canal 08.2	30.380,80	32.800,00	2.419,20	2,42	32,80	3	47,12	0	0,00			47,12	1.647.884,70	1.438.264,60	
Canal 09.01	32.800,00	38.750,00	5.950,00	5,95	38,75										
SUB-TOTAL				38.750,00	38,75	284,91	10,00	61,14	7,00	15,25	0,00	0,00	76,39	3.568.250,96	3.214.584,01

Para localização em planta do canal e divisão dos Lotes 1 a 4 ao longo do traçado do CAC, ver Figura 3.1.

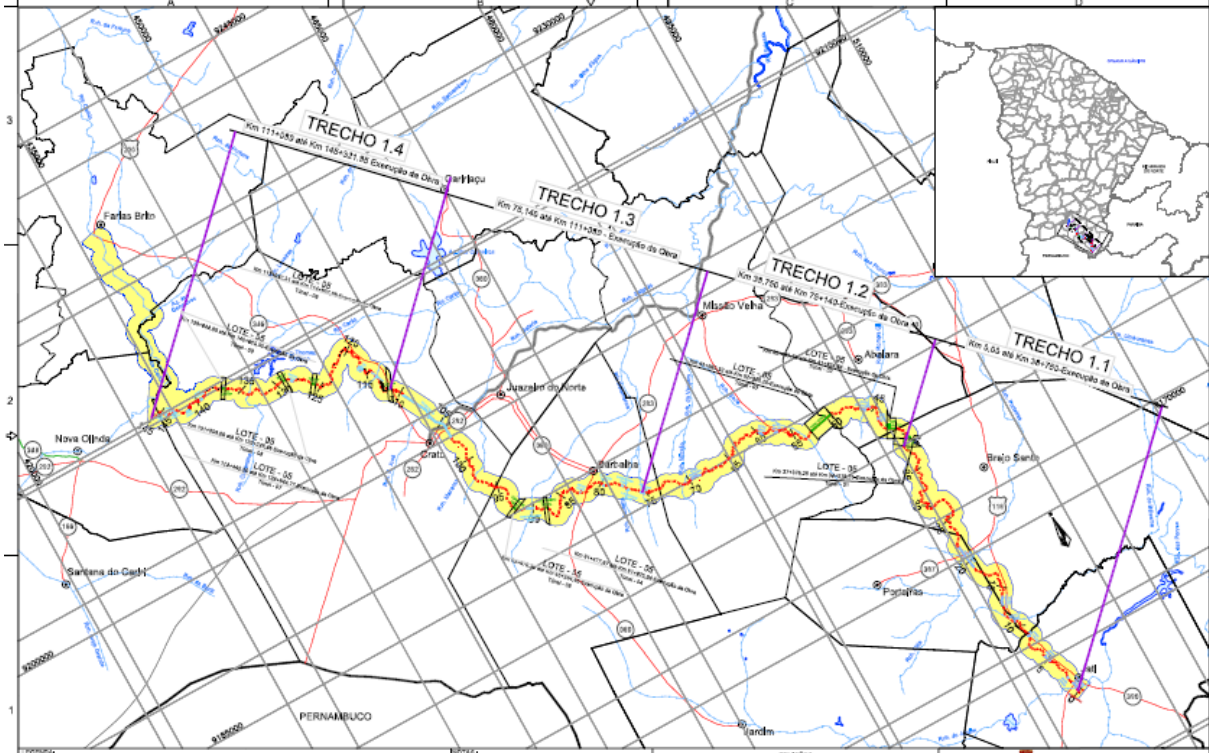
3.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

3.2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, com o canal situado entre os km 0+000(montante) e o km 38+750, que para melhor entendimento da distribuição dos litotipos e características geológico-geotécnicas ao longo do traçado, foram subdivididos em trechos crescentes do estaqueamento, em quilômetros.

Um perfil tipo dos Lotes 1 e 2, representativo das encostas, com predominância de arenitos, em que o traçado do canal adutor foi ajustado à melhor situação técnica-econômica, em termos de estabilidade e balanço de materiais, apresenta as seguintes características geotécnicas:

**Figura 3.1 – Trecho 1 Jati/Cariús do Cinturão de Águas do Ceará – CAC:
Divisão dos Lotes 1 a 4, Correspondentes aos Trechos de Projeto 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4**



- Cobertura coluvionar: Solo arenoso, pouco silto-argiloso, pouco plástico, compactidade média a muito compacto, em cores fortes amarela e amarela avermelhada, fragmentos e blocos de arenito compactos, as vezes silicificados, por vezes fortemente litificados, ou mesmo em processos formacionais mais recentes de laterização, com tamanho que vão desde fragmentos finos a pedras de mão, e mais marcantes nas dimensões de blocos e matacões. Estes últimos podem ocorrer aparentes na superfície do terreno, ou imerso na camada e envoltos pelo solo, típicos dos coluvionamentos, sendo ainda comum o acúmulo destes materiais no pé das encostas, característicos de talus. Embora apresente pequena espessura, ordem de 1 a 3m, têm importante função de estabilização natural da encosta, onde somam também as atividades animal e vegetal.
- Solo residual de arenito, com texturas de areia predominantemente fina, pouco silto-argiloso (finos menor que 20%), pouca a nenhuma plasticidade, compactidade mediana, em cores amarela avermelhada (na transição com o colúvio), amarela em tons tendendo à clara localmente branca (ou cinza clara), com espessura variável de poucos até 15m. A partir de 5m de profundidade são visíveis as estruturas da rocha, crescendo a compactidade e transicionando para a rocha mãe.
- Arenito, de textura fina a média em camadas estratificadas métricas e centimétricas, com matriz e ou cimento diversificados (félsico, carbonático, feldspático, mixto ou simplesmente silto-argiloso), que dão origem à condição de friável, ou rocha branda, caracterizada como rocha pouco coerente (C3) a incoerente (C4), conforme Quadro 3.2.

Quadro 3.2 – Determinação do Grau de Coerência de Rochas.

Siglas	Denominações	Características da rocha
C1	Coerente	Material que só pode ser fragmentado pelo martelo dando origem a fragmentos cortantes, sem produção de pó.
C2	Medianamente coerente	Material que só pode ser fragmentado pelo martelo originando fragmentos com produção de pó.
C3	Pouco coerente	Material que ao ser percutido pelo martelo, reduz-se a pó.
C4	Incoerente	Material que pode ser esfarelado com a pressão dos dedos.

Citado por Mesquita (2008), Soares (1991) considerou as rochas denominadas no meio geotécnico de brandas, aquelas cujos valores de resistência à compressão simples estão situados na faixa entre 0,5 e 20 MPa. Na falta de ensaios de resistência a compressão simples de amostras representativas dos arenitos, uma das alternativas é utilizar o Quadro 3.3, recomendado pela ISRM (1981).

Quadro 3.3 - Estimativa da resistência da rocha (ISRM,1981)

Descrição		Identificação de campo	Valor Aprox. de σ_c (MPa)
R0	Rocha extremamente fraca	Marcada com a unha	0,25 - 1,0
R1	Rocha muito fraca	Esmigalhada com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete.	1,0 - 5,0
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada com dificuldade com canivete e marcas podem ser feitas com a ponta do martelo de geólogo.	5,0 - 25
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com golpes de martelo de geólogo.	25 - 50
R4	Rocha resistente	As amostras necessitam de mais que um golpe com martelo de geólogo para ser fraturada.	50 - 100
R5	Rocha muito resistente	As amostras necessitam de muitos golpes com martelo de geólogo para ser fraturada.	100 - 250
R6	Rocha extremamente resistente	As amostras podem somente ser lascadas com martelo de geólogo.	> 250

3.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO

Trecho Km 0+000 até 6+460:

A partir da área da captação e no trecho compreendido entre o km 0+000 até o km 6+460, o canal atravessa um maciço rochoso constituído por micaxistos e filitos, com intercalações de veios milimétricos a centimétricos de quartzo branco, ondulados, concordantes com a foliação, associados à Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), pertencente ao Grupo Cachoeirinha. Esta litologia apresenta tonalidades cinzentas a esverdeadas em corte fresco, com a presença de sericita, muscovita e biotita. Pontualmente, próximo da Est. 3+310, ocorre uma camada de 5 a 7 m de espessura de metarenitos, com muscovita, de cor bege e de textura fina, com resistência maior que a rocha circundante.

Esta formação apresenta um solo de alteração de pequena espessura, constituído de argila silto-arenosa de baixa plasticidade de cor marrom, com abundantes pedregulhos angulosos de quartzo e micaxisto, de diâmetro compreendido entre 5 e 15 cm.

As sondagens realizadas no eixo, mostraram que esta formação tem um nível superficial de 1,0 a 1,7 m de profundidade de rocha friável (saprolito) extremadamente a muito alterada e pouco coerente, e extremadamente fraturada. No fundo dos vales, a exemplo, no riacho Jardim, nas proximidades da Est. 1+840 (Foto 3.1 e Foto 3.2), ocorre rocha praticamente sã e coerente.



Foto 3.1 - Corte em micaxisto e filito, localizado próximo do estaqueamento 1+200

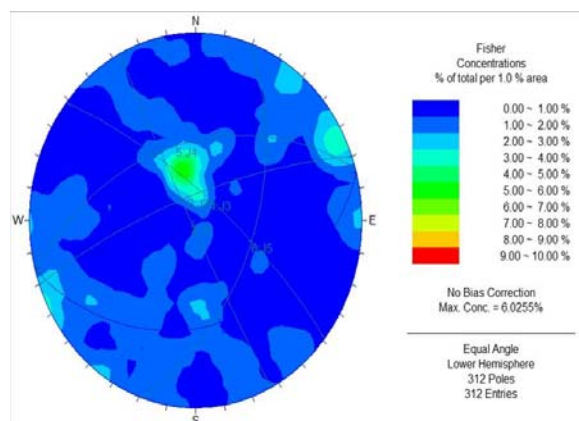


Foto 3.2 - Micaxisto são com veios de quartzo, no fundo do vale, local do Sifão Jardim

Relativo aos aspectos estruturais, a Formação Santana dos Garrotes apresenta foliação (xistosidade) bem definida e cinco famílias de juntas e diaclasamento, algumas de alta persistência. Em geral, esta foliação apresenta uma orientação NE-SW e E-W (concordante com o “trend” regional) com mergulho variável entre 15° a 85° para S e N, cuja divergência é originada pelas fraturas características de rochas metamórficas, e micropregamentos tipo “chevron”.

A atitude média medidas ao longo do eixo do canal é de 31°/165° (Mergulho\Direção do mergulho), conforme estereogramas das discontinuidades principais (Figuras 3.2, 3.3 e 3.4). A foliação e a xistosidade estão representada no Estereograma dos polos dos planos da Figura 3.5.

Figura 3.2 - Estereograma geral dos polos de 312 planos medidos da foliação e xistosidade



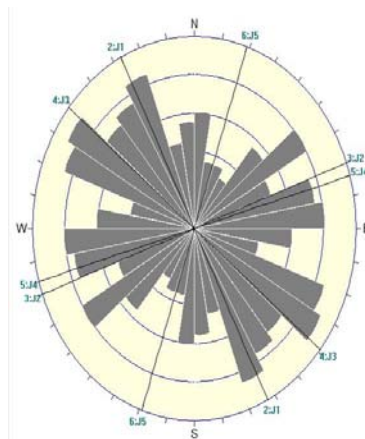


Figura 3.3 - Diagrama de rosetas da direção da foliação e xistosidade, correspondente da Figura 3.2.

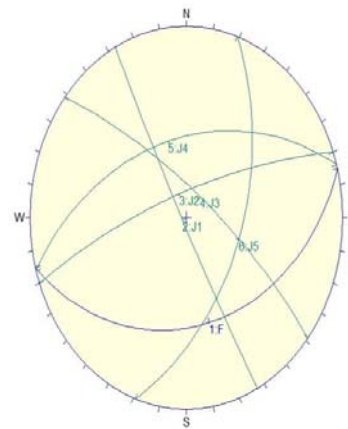
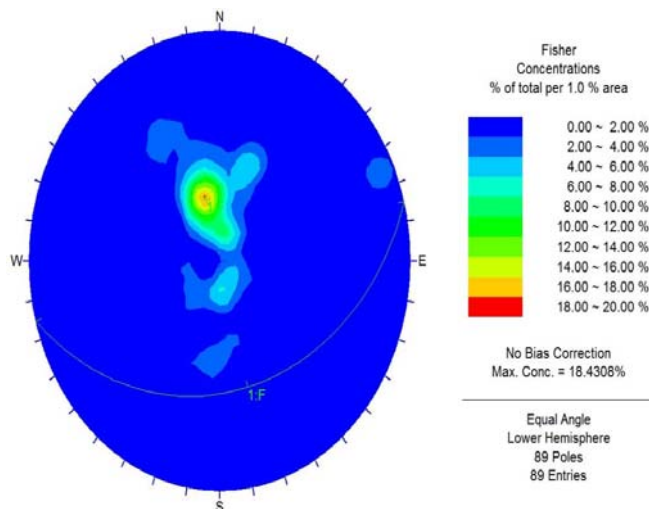


Figura 3.4 - Projeção estereográfica das discontinuidades principais, inclusive a foliação (F)

Orientations	
ID	Dip / Direction
1	31 / 165
2	87 / 243
3	75 / 340
4	74 / 039
5	45 / 344
6	51 / 109

Equal Angle
Lower Hemisphere
312 Poles
312 Entries

Figura 3.5 - Estereograma dos polos dos planos representativos da foliação e xistosidade



Os mapeamentos ao longo da faixa do canal complementados com uso e análises dos estereogramas, em linhas gerais verificou-se:

- Os taludes com inclinação para Sul em geral apresentam problemas de estabilidade planar, a exemplo do km 3+500 observado no Projeto Básico, e solucionado no Projeto Executivo;
- Taludes com mergulho para o SE ocasionam formação de pequenas cunhas localizadas, com forte componente planar, a exemplos dos trechos km 1+480 - 1+620 e 3+520 - 3+600;
- Cortes com mergulho para E-NE são neutros, ou seja, a xistosidade é perpendicular a direção destes, entretanto podem ocorrer cunhas de pequeno volume a favor da diaclase de alta persistência J1 (com mergulho subvertical e perpendicular à foliação). Taludes com orientação NW-N e NE não apresentam problemas de estabilidade.

Em linhas gerais foram constatados:

- Seis famílias de discontinuidades (incluindo a foliação) com grande persistência (>20m) e espaçamento de até 0,80 m. Nos horizontes de rocha extremadamente a muito alterada o espaçamento diminui para 10 a 20 cm;
- Alto grau de faturamento (F4-F5) com RQD entre 0 e 40% (maciço muito pobre a pobre);
- Padrão de fraturamento diferenciado nos cortes analisados. Predominam a foliação (F) e as juntas (J1 e J2). Outras ocorrem com presença irregular com formação de pequenas cunhas, susceptíveis a escorregamentos;
- Presença de desmoronamento gravitário (ravelling), definido como ruptura do terreno quando um material de baixa resistência ao cisalhamento é descomprimido, com formação de blocos e fragmentos;
- Formação localizada de cunhas, a partir de juntas secundárias.
- Horizonte de rocha extremadamente a muito alterado e extremadamente fraturado nos primeiros 1,5 a 3,0 metros de profundidade, com juntas e preenchimentos argilosos. Escorregamentos pontuais destes materiais, atuam no contato com a rocha são como superfície de deslizamento (Foto 3.3). Podendo nestes contatos ocorrer infiltrações d'água, decorrente da rocha são ser praticamente impermeável;
- Os micaxistos e filitos sofrem intemperismo elevado a longo prazo, causado entre outros pela infiltração d'água nas fraturas;
- Localmente os filitos apresentam plano de foliação liso, com indícios de espelho de falha (Foto 3.4);
- Problemas de estabilidade planar ocasionados, em geral, quando a foliação (xistosidade) e a orientação dos cortes são paralelos.



Foto 3.3 - Escorregamento de solo residual e rocha extremadamente alterada na Transnordestina.



Foto 3.4 - Lote 1: Rugosidade lisa em filitos no sifão BR-116 (1)

Foram mapeados quatro corpos ígneos (plutônicos) inseridos na Formação Santana dos Garrotes, nos trechos Km 1+160-1+400; 2+690-2+860; 4+170 e 4+290-4+320, constituídos de granitos e granodioritos de granulação fina a meia, com estruturas e texturas magmáticas, pertencentes ao Grupo Supersuíte Granitoide Sin-Tardi-Orogênico. Na Foto 3.5 mostra a transição entre a Formação Santana dos Garrotes e os granitos citados.



Foto 3.5 - Lote 1: Transição micaxisto e granitos

Do ponto de vista estrutural, estes corpos graníticos, têm uma disposição espacial irregular dentro da Formação Santana dos Garrotes, com diaclasamento bastante caótico, no entanto, observou-se com frequência duas juntas transversais de grande persistência.

Quanto ao grau de alteração, o trecho (km 1+160 a 1+400), apresenta um nível superficial de solo de alteração com cerca de até 2 metros de espessura, com presença de corpos graníticos que podem atingir 1,5 m de diâmetro, envoltos em uma matriz de areia grossa; no km 2+760 mostraram-se são e coerentes (Foto 3.6).



Foto 3.6 - Lote 1: Afloramento superficial de granito são no estaqueamento km 2+760

Trecho km 6+460 até 8+500:

A partir do estaqueamento 6+460 até 8+500, a Formação Brejo Santo (J3vb), sobrepõem-se discordantemente aos micaxistos e filitos da Formação Santana dos Garrotes. Neste trecho encontra-se a escavação mais importante dos primeiros 20 km do canal, atingindo profundidade superior a 20 m na zona mais elevada. As sondagens rotativas (11) e à percussão (4) executadas, apresentam uma variabilidade longitudinal e transversal muito importante em um espaço relativamente curto (550 m), tendo sondagens inteiramente em rochas pouco coerentes a coerentes (Formação Santana dos Garrotes) e sondagens em solos e rochas sedimentares friáveis (Formação Brejo Santo).

Na zona mais superficial é comum uma camada de pedregulhos e seixos arredondados de arenitos avermelhados envoltos em matriz de areia argilosa, com espessura inferior a dois metros, com ótimas características geotécnicas para aterros e revestimentos.

Sob a Formação Santana dos Garrotes, discordante ocorre a Formação Brejo Santo constituída por folhelhos e argilitos vermelhos, siltitos, calcíferos, localmente em cores verde-claros. A espessura desta Formação é muito variável sendo a máxima na estaca km 6+530 (SR-11, superior a 15 metros) e nula nas sondagens rotativa SR-10 (6+417) e SR-12 (6+621). Caracteriza um depósito sedimentar (paleo relevo) muito acidentado, com existência de uma bacia entre as últimas duas sondagens.

Os ensaios de laboratório realizados caracterizaram um solo argiloso de plasticidade média, avermelhado, com densidade seca máxima Proctor Normal $\gamma_{max} = 14,12$ a $15,30$ kN/m³, CBR=1-3 e uma expansão de 2,48 a 5,62%, não sendo adequado para uso nos aterros compactados.



Foto 3.7 - Lote 1: Vista argilito escavado da Formação Brejo Santo

A Formação Brejo Santo apresenta uma estratificação sub-horizontal, com níveis de 10 a 30 cm de espessura, plásticos e untuosos quando molhados, e duro quando secos, estando sujeitos à contração volumétrica, localmente com teor de matéria orgânica. Os argilitos tendem a formar planos com superfícies espelhadas as vezes com slickensides, com baixo ângulo de atrito. A exposição destes materiais às condições intempéricas, sobretudo os siltitos,

condiciona o desenvolvimento do processo denominado empastilhamento, com aparecimento sobre o terreno exposto de pequenos fragmentos milimétricos a centimétricos, com forma aproximada discoide.

Sob a Formação sedimentar do Jurássico, em sequência, ocorrem as rochas do embasamento cristalino, com camadas centimétricas de metassiltito cinza, com intercalações de filito cinza escuro, bem representado na sondagem SR-12: Rocha pouca a medianamente alterada (A2-A3), medianamente coerente (C2) com recuperação entre 75% e 100%.

Ensaio de compressão simples realizados em seis corpos de prova de testemunhos da sondagem rotativa SR-11, localizado na Estaca 6+530, apresentaram valores de resistência entre 18,55 e 33,50 MPa.



Foto 3.8 - Lote 1: Ocorrência superficial de metassiltito

As atitudes medidas em afloramentos superficiais foram analisadas em projeção estereográfica (Figuras 3.6 e 3.7), tendo sido identificadas seis famílias de descontinuidades. O plano principal (foliação ou xistosidade) ocorre ortogonalmente aos dois taludes principais, considerados taludes neutros, portanto estáveis. Localmente podem ocorrer pequenas massas rochosas em forma de cunhas ou blocos isolados instáveis, típicos dos arenitos.

Figura 3.6 – Lote 1: Estereograma dos polos dos planos das principais descontinuidades

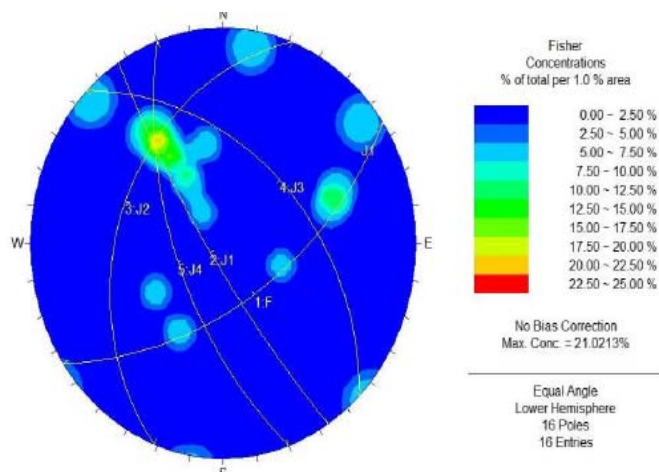
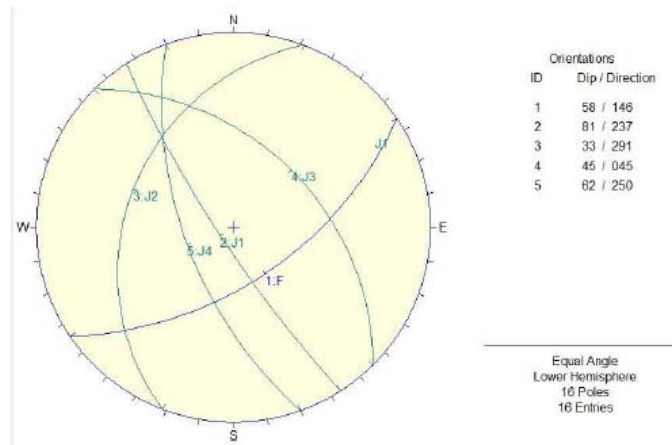


Figura 3.7 - Lote 1: Projeção estereográfica das descontinuidades principais.



Trecho km 8+500 até 13+860:

A partir do estaqueamento 8+500 (Sifão BR-116 (2)) até 13+860 (Final do Sifão Ferrovia), ocorre a Formação Missão Velha, localmente atravessada discordantemente pelos depósitos aluvionares do Quaternário (Foto 3.9).



Foto 3.9 - Contato discordante entre depósitos aluvionares e arenitos da Formação Missão Velha

Os poços de inspeção realizados nos dois cortes mais importantes deste trecho, PE-1 (corte 9+100 até 9+800) e PE-2 (12+100 até 12+560), detectaram uma camada superficial de solo residual de 8 a 10 metros de espessura caracteriza como areia argilosa ou siltosa (SC-SM) de baixa plasticidade, avermelhada, prevendo-se sua utilização nos aterros compactados do canal. Sondagem à percussão com ensaios de penetração (SPT), indicaram tratar-se de solo medianamente compacto a compacto, com um ângulo de atrito estimado de 31° a 32°, segundo correlação proposta por Bowles.

Sob o solo residual, ocorrem os arenitos friáveis da Formação Missão Velha com estratificação sub-horizontal, em camadas de 50 a 200 cm espessura, sendo comum a presença de estratificação cruzada de pouca persistência, interceptando os planos de acamamento, e poucas diaclases. Os arenitos friáveis são facilmente desagregáveis com formação de uma areia pouco siltosa, sem plasticidade, compacta (SPT = 19 a 40), de cor esbranquiçada.

Trecho km 13+860 até 13+970:

Neste trecho ocorre um corpo plutônico intrusivo nos metassedimentos da Formação Santana dos Garrotes, constituído de granitoides porfíricos, de textura média a grossa, em forma de blocos e matacões maciços, com colorações cinza claro e cinza escuro e esverdeado, mostrando uma certa alinhamento dos minerais, com textura cataclástica, evidenciada pelos porfiroblastos de feldspatos em forma de augens orientados e rotacionados.

O corte da ferrovia Transnordestina (Foto 3.9) mostra o produto do intemperismo, onde na maior parte do subtrecho ocorrem blocos e matacões soltos, dispersos na encosta, instáveis, caracterizando um depósito típico de tálus. As seis sondagens rotativas executadas nesta área confirmaram as observações de campo, com rocha apresentando estados variados do grau de alteração e coerente.



Foto 3.10 - Lote 1: Matacões soltos envolvidos por granito alterado

As características dos materiais mencionados, com encostas íngremes e presença de matacões soltos no trecho (**Foto 3.11**), bem como a proximidade da Ferrovia Transnordestina, condicionaram o ajuste do eixo do canal e o projeto de um sifão de aproximadamente 1km de comprimento, cortando o fundo do vale.



Foto 3.11 – Matacões de granito envoltos em rocha alterada e solo, e superficialmente soltos.

Trecho km 13+970 até 17+300

Desde o km 13+970 até 17+300, ocorrem arenitos correspondentes na Formação Mauriti (Sm). Trata-se de arenitos de granulometria média a grossa, às vezes micro conglomerático, com pedregulhos isolados de quartzo angulares a subangulares (**Foto 3.11**). Esta Formação gera encostas muito íngremes. Nesta área o solo é pouco espesso e ocorrem grandes blocos e afloramentos superficiais de arenito de elevada coerência e compacto.

As estratificações são geralmente cruzadas de médio porte, tabulares planares e secundariamente acanalada, em sets com espessuras decimétricas a métricas. São interpretadas como originadas em sistemas fluviais entrelaçados (braided), com escassez acentuada da fração pelítica de planície de inundação.

Ao contrário de outras Formações de arenitos, esta tem um grau de coerência C3 a C1 pouco coerentes a coerentes, originando encostas íngremes (**Foto 3.12**).



Foto 3.11 - Lote 1: Arenito de textura grossa, microconglomerático, da Formação Mauriti



Foto 3.12 – Encosta de elevada inclinação próxima na estaca 16+500

Por outro lado, as atitudes obtidas no eixo, mostraram uma estratificação bastante regular, com atitude (Dip\DipDirection) 20°/353°, e diaclasamento subvertical de grande persistência (Figuras 3.8 e 3.9).

Ensaio de compressão simples realizados em corpos de prova da sondagem SR-31 apresentaram resistência de 17,38 a 23,98 MPa em arenitos poucos alterados (A2), e em corpos de prova da sondagem SR-32, 8,98 a 9,67 Mpa, em arenito medianamente alterado (A3).

Devido à forte inclinação das encostas e após análises geomecânica do maciço rochoso neste trecho, recomendou-se a utilização da seção tipo de projeto 3, com inclinação de 1 (H): 1 (V), com bermas de 5 metros de largura a cada 10 metros de altura. Excepcionalmente, nos cortes mais profundos, 15+320 a 15+600 e 15+780 á 15+920, previu-se a seção de projeto 7, com inclinação até a primeira berma do corte é de 1 (H): 2 (V).

Figura 3.8 - Lote 1: Projeção estereográfica das descontinuidades principais

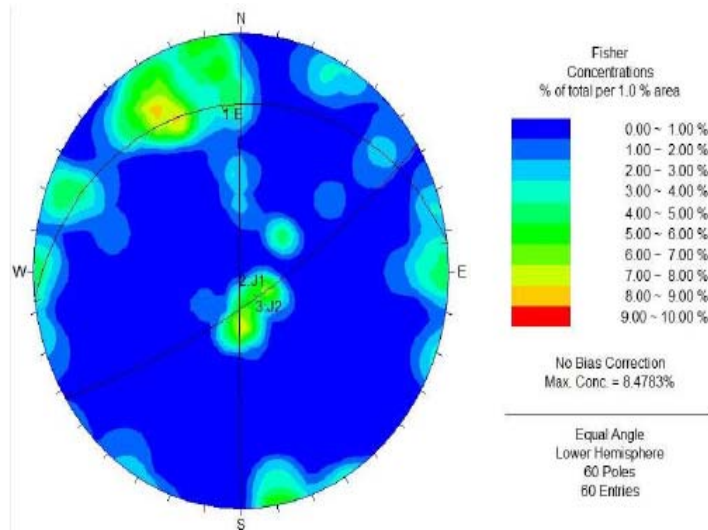
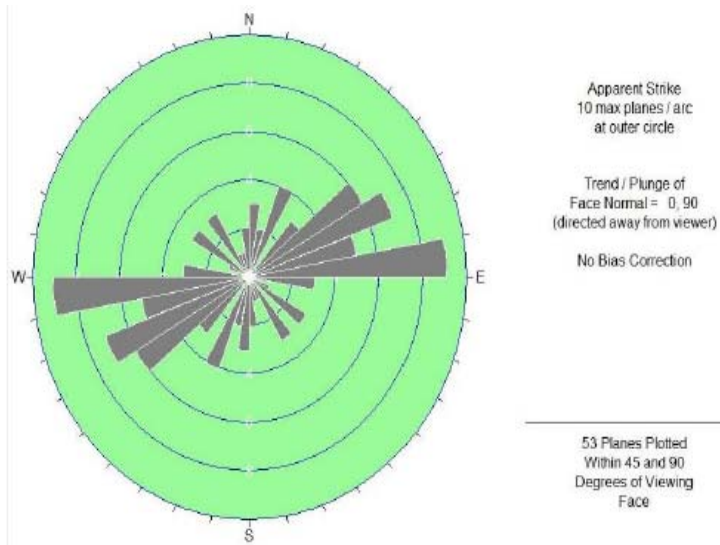


Figura 3.9 - Lote 1: Diagrama de rosetas correspondente da Figura 3.8.



Trecho km 17+300 até 38+750:

A partir do estaqueamento 17+300 até próximo ao emboque do Túnel Veneza, o canal novamente atravessa uma série contínua de arenitos com níveis isolados de folhelhos e siltitos pertencentes à Formação Missão Velha. Estes arenitos têm uma granulometria fina a grossa, mal selecionados, às vezes microconglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada (Foto 3.13). Pontualmente esta Formação ocorre recoberta ou capeada por coluviões da Coberturas Sedimentares Neo-Quaternárias (NQc), de texturas argilo-arenosos e areno-argilosos de cores amarelas e avermelhadas; localmente ocorrem concentrações de cascalhos e blocos de arenito cimentados, além depósitos aluvionares nas zonas próximas aos riachos.

Conforme citado anteriormente, a Formação Missão Velha apresenta um horizonte de solo residual de espessura de 8 a 10 metros, salvo no poço de inspeção PE-3 (km 27+261),

executado em um corte de maior comprimento (960 m) cuja profundidade foi superior a 18,80 m. Em zonas de topografia abrupta e íngreme, a exemplo dos trechos km 23+300 a 23+800, 35+160 a 35+260 e 37+500, a espessura diminui significativamente, em decorrência do processo erosivo.



Foto 3.13 - Lote 1: Estratificação horizontal e cruzada em arenitos.

O solo residual é caracterizado geotecnicamente como areia silto-argilosa (SC-SM) vermelha, de plasticidade baixa a nula, com peso específico seco máximo (Proctor Normal) variando entre $\gamma_{\max}=1,940$ g/cm³ a 1,955 g/cm³ e umidade ótima de 8,7% a 9,2 %. O Índice de Suporte Califórnia (CBR) situa-se entre 39% a 41%, com expansão nula.

Apresenta-se nos primeiros 2 a 5 metros de pouca a medianamente compacta, e compacta com o aumento da profundidade. A baixa a nenhuma plasticidade ocasiona no período chuvoso grande susceptibilidade a erosão superficial nos taludes de escavação e aterros com este material.

3.2.3 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Os taludes que compõem as encostas de maior criticidade ao longo do Lote 1 foram objetos de análises de estabilidade, tendo sido selecionados 19 (dezenove) seções transversais tipo com a geometria de escavação e aterro compactado que compõem o projeto. Para cada seção foram analisadas as seguintes condições: nível de água elevado na condição mais crítica (contato do solo residual com o arenito); nível de água seco (abaixo da linha de referência, El. 455). As análises foram realizadas pelo Método de Bishop, utilizando o software GeoSlopeW.

As seções 0+140, 23+000, 27+460, 32+980, 33+000, 33+080, 37+620, 37+660, 37+740, 37+900 e 38+000 não apresentaram nenhum problema de estabilidade, com fator de segurança superior a 1,5. As seções 3+580, 4+140, 15+340, 16+220, 16+840, 37+380, 37+400 e 37+480 apresentaram problemas localizados de instabilidade, tendo sido solucionado com pequeno ajuste na geometria do talude. O fator de segurança adotado no projeto para a fase de operação é de 1,5.

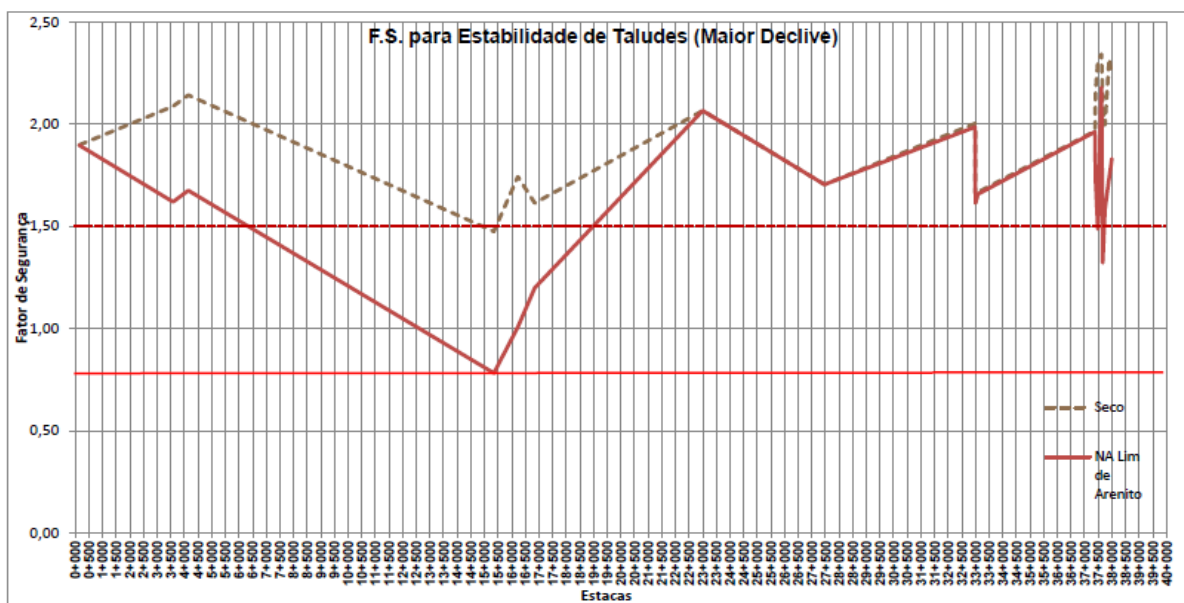
Os parâmetros geotécnicos adotados para os materiais dos perfis analisados constam no **Quadro 3.3**.

Quadro 3.3 - Lote 1 - Parâmetros Geotécnicos Adotados dos Materiais

Tipo de Solo	d (kN)	C (kPa)	ϕ
Solo Coluvionar	18	5	30°
Solo Residual	19	12	32°
Arenito	25	15	38°
Aterro Compactado	19	10	33°

A **Figura 3.10** constam gráficos do Trecho Estaca (km) x Fator de Segurança, de todas as Seções do Lote 1 analisadas, mostrando a influência do nível d'água. Observar que a partir da estaca 23+000, o NA não afeta a estabilidade do talude, sendo portanto naturalmente drenado (curvas coincidem).

Figura 3.10 - Lote 1 – Taludes de Projeto: Gráfico do Trecho Est. (km) x Fator de Segurança



A **Figura 3.11** mostra a análise da **Seção km 16+220** (considerada a mais crítica do Lote 1) com os taludes e aterros de projeto definitivos, simulando o nível d'água no contato do solo residual com o arenito, portanto muito elevado, susceptível de ocorrência. Para esta condição os dois primeiros taludes acima da berma do canal estariam com valor no limite inferior de estabilidade (FS =1,00). Observar que a envoltória se desenvolve a partir da crista da berma e descarrega na canaleta de drenagem situada no pé do talude da crista do canal.

A **Figura 3.12** mostra a análise da Seção km 16+220 com os taludes e aterros de projeto definitivos, simulando o nível d'água rebaixado, situando no Nível da Crista do Canal, a partir da instalação de drenos DHP. Observar que a envoltória é igual à (simulação com o nível d'água no contato do solo residual com o arenito), entretanto já não faz carga no talude, sendo portanto estável (FS =1,55).

Figura 3.11 - Lote 1 – Seção km 16+220: Taludes e Aterros de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude Esquerdo Nível d'água Elevado (FS =1,00)

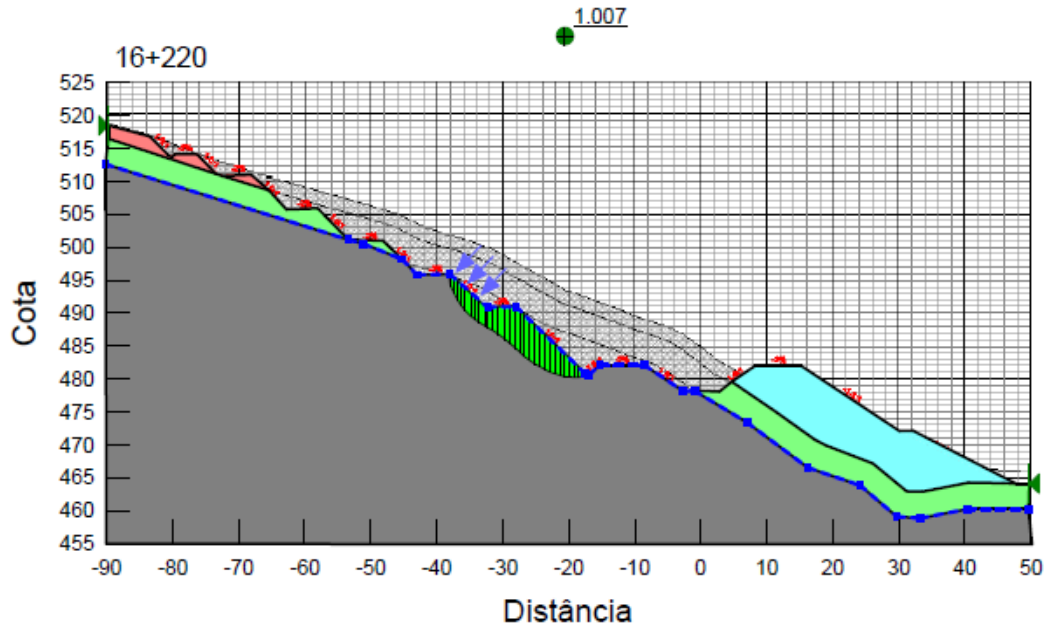
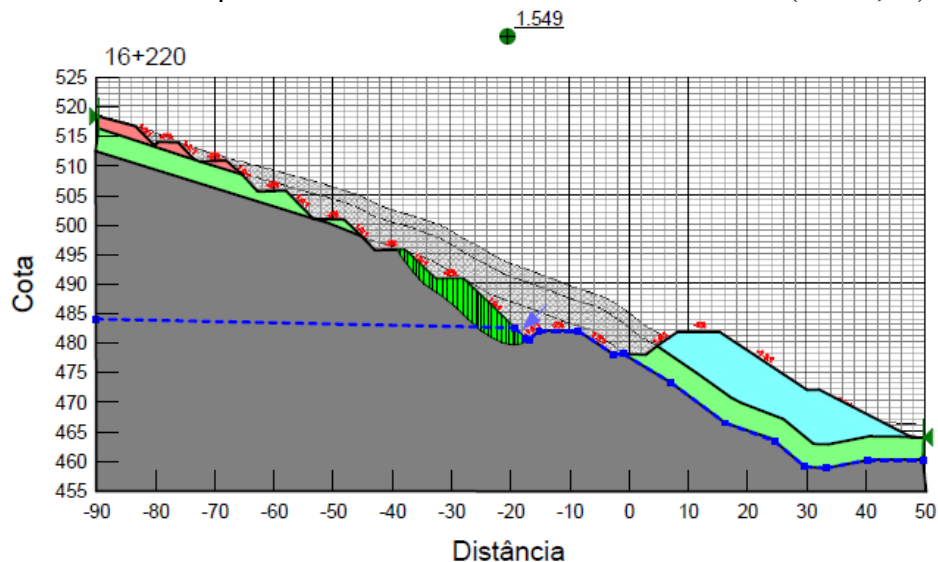


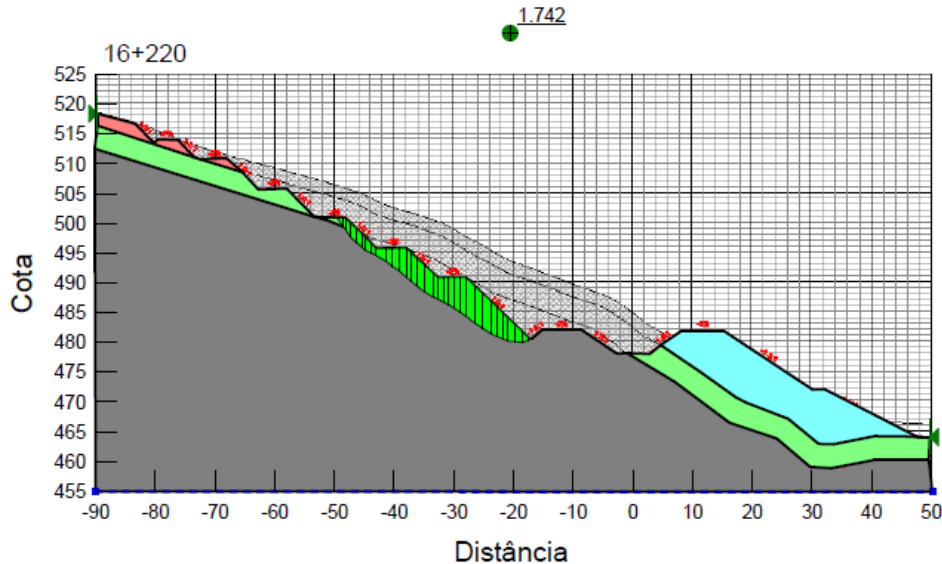
Figura 3.12 - Lote 1 – Seção km 16+220: Taludes e Aterros de Projeto – Análise de Estabilidade do Talude Esquerdo com NA no Nível da Crista do Canal (FS =1,55)



A **Figura 3.13** mostra a análise da Seção km 16+220 com os taludes e aterros de projeto definitivos, simulando o nível d'água totalmente rebaixado (seco). Observar que a envoltória alcançou os três primeiros taludes acima da berma do canal (que seriam os mais críticos, selecionados pelo software), sem qualquer carga no talude, ocasionado maior fator de segurança (FS =1,74).

Com base nas análises, e por ser o talude mais crítico do Lote 1, foi recomendado a instalação de drenos DHP, no pé do talude da berma da crista do canal, objeto de desenho específico.

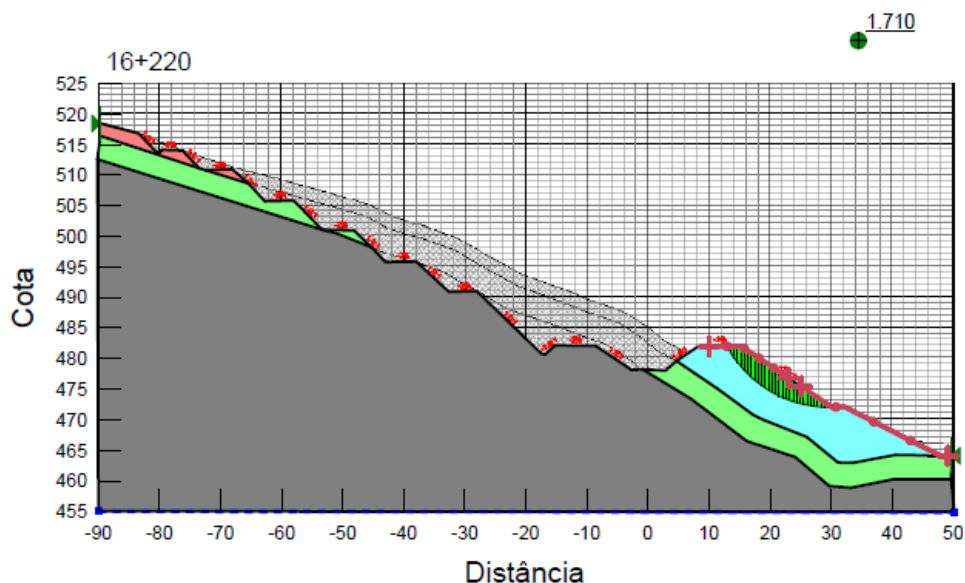
Figura 3.13 - Lote 1 – Seção km 16+220: Taludes e Aterros de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude com NA Seco (FS =1,74)



A **Figura 3.14** mostra a análise da Seção km 16+220 do aterro compactado de projeto definitivo, simulando os nível d'água (no contato do solo residual com o arenito, portanto muito elevado) e (com o nível d'água totalmente rebaixado, seco). Observar que a envoltória se situou no talude externo superior (que seria o mais crítico, selecionado pelo software), e nas duas simulações o mesmo é estável sem qualquer influência do NA com fator de segurança superior ao de projeto (FS =1,71).

A mesma simulação da Seção km 16+220 foi realizada para as 14 Seções de aterros compactados consideradas mais críticas, confirmando que o nível d'água não afetou o FS, conforme mostrado no **Quadro 3.3** e na **Figura 3.15**- Lote 1 – Aterros compactados de Projeto: Gráfico do Trecho “Estaca (km) x Fator de Segurança”.

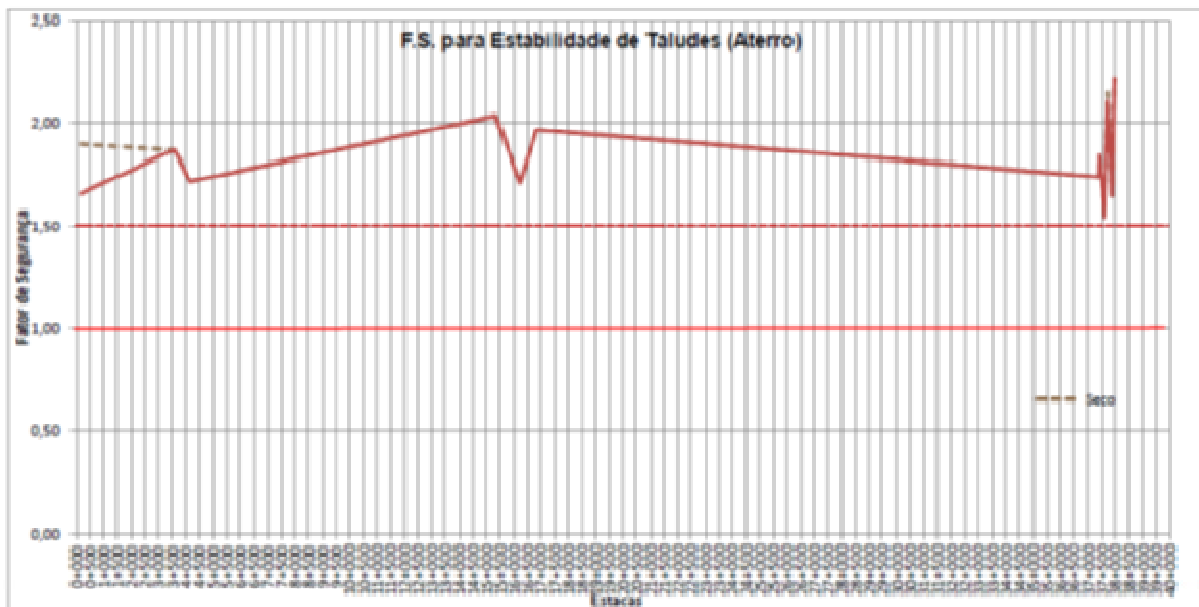
Figura 3.14 - Lote 1 – Seção km 16+220: Aterro Compactado de Projeto – Análise de Estabilidade (FS =1,71)



Quadro 3.3 - Lote 1 – Aterros Compactados de Projeto: Análise de Estabilidade (FS) de 14 Seções: Influência do Nível D'água

Aterro compactado (Seco)		Aterro compactado (N.A. no contato S. Res. c/ Arenito)	
ESTACA	F.S.	ESTACA	F.S.
0+140	1,66	0+140	1,66
3+580	1,87	3+580	1,87
4+140	1,72	4+140	1,72
15+340	2,04	15+340	2,04
16+220	1,71	16+220	1,71
16+840	1,97	16+840	1,97
37+380	1,74	37+380	1,74
37+400	1,83	37+400	1,84
37+480	1,75	37+480	1,75
37+620	1,54	37+620	1,54
37+660	1,84	37+660	1,84
37+740	2,15	37+740	2,11
37+900	1,65	37+900	1,65
38+000	2,22	38+000	2,22

Figura 3.15 - Lote 1 – Aterros compactados de Projeto: Gráfico do Trecho “Estaca (km) x Fator de Segurança”



Dados Gerais das Análises de Estabilidade das Seções Transversais do Lote 1, consideradas mais críticas e objeto de simulações constam no **Quadro 3.4**.



Quadro 3.4 - Dados Gerais das Análises de Estabilidade de Seções Transversais do Lote 1.

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Lote 01 (E-00+000 A E-38+750)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Modificação do Projeto
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ROCHA			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
0+140	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.898	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.897	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.656	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.656	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
3+580	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.870	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	Berma 6m feita com Bota Fora + Talude 1:1 até T.N.
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.870	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.087	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.619	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
4+140	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.715	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	Berma 5m + Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1 + Berma 5m
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.715	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.142	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.675	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
15+340	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2.037	18	5	30°	19	12	32°	26	30	40°	19	10	33°	Berma 4m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	2.037	18	5	30°	19	12	32°	26	30	40°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.475	18	5	30°	19	12	32°	26	30	40°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	0.782	18	5	30°	19	12	32°	26	30	40°	19	10	33°	
16+220	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.710	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	Berma 2m + Talude 2:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.710	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.742	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.007	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
16+840	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.968	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	Berma 6m feita com Bota Fora + Talude 1,5:1 + 2 escavações no residual com Talude 1:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.968	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.613	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.199	18	5	30°	19	12	32°	25	15	38°	19	10	33°	
23+000	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.065	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2.065	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	



Quadro 3.4 - Dados Gerais das Análises de Estabilidade Seções Transversais do Lote 1 (cont.).

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Lote 01 (E-00+000 A E-38+750)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Modificação do Projeto
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ROCHA			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
27+460	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.704	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.704	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
32+980	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.003	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.985	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
33+000	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.614	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.614	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
33+080	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.666	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.656	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
37+380	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.739	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	Berma 4m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.739	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.906	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.962	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
37+400	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.833	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	Berma 7m (6m Aterro + 1m de Bota Fora) + Talude 1,5:1 + 2 escavações no residual com Talude 1:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.844	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.163	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.725	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
37+480	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.739	18	5	30°	19	8	32°	25	16	35°	19	10	33°	Berma 7m (6m Aterro + 1m de Bota Fora) + Talude 1,5:1 + 3 escavações no residual com Talude 1:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.745	18	5	30°	19	8	32°	25	16	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.305	18	5	30°	19	8	32°	25	16	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.487	18	5	30°	19	8	32°	25	16	35°	19	10	33°	



Quadro 3.4 - Dados Gerais das Análises de Estabilidade Seções Transversais do Lote 1 (cont.)

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Lote 01 (E-00+000 A E-38+750)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Modificação do Projeto
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ROCHA			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
37+620	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.542	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.542	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.342	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2.179	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
37+660	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.837	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.843	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.089	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.321	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
37+740	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2.151	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	2.108	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.996	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.853	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
37+900	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1.647	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.647	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.320	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.739	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
38+000	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2.221	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	2.222	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.236	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.830	18	5	30°	19	8	32°	25	10	35°	19	10	33°	



4-LOTE 2



4 - LOTE 2

4.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Lote 2 com extensão de 36,390 Km composto pelas obras civis de adução, incluindo também o fornecimento e montagem dos sifões do subtrecho 1.2 que inicia no Canal 09.02, imediatamente após o desemboque do túnel Sítio Alto 1, e termina no subtrecho de canal 15A, após o sifão Barreiro (excluindo os túneis Sítio Alto 1 e 2 e Veneza e os respectivos emboques, desemboques destes, e os falsos túneis). Os subtrechos de acordo com os tipos de obras estão discriminados no **Quadro 4.1**, a seguir.

Quadro 4.1 – Localização e Extensão das Obras Componentes do Lote 2

Obra	Inicial	Final	Extensão	Extensão (km)	Extensão acumulada	EXTENSÃO DAS OBRAS					EXTENSÃO TOTAL / FRENTE (KM)	VOLUMES DE CORTE (M3)	VOLUMES DE ATERRO (M3)	
						CANAIS		SIFÕES		TÚNEIS				
						QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE				EXTENSÃO - INCLUSIVE EMBOQUE/DESEMBOQUE (M)
Canal 09.02	38.750,00	39.013,26	263,26	0,26	39,01									
Túnel 1 - Sítio Alto 1	39.013,26	39.013,26	0,00	0,00	39,66					1	1,00	1,00		
Canal 10.01	39.658,26	39.746,26	88,00	0,09	39,75									
Canal 10.02	39.746,26	41.130,22	1383,96	1,38	41,13									
Comporta de Controle 4 (CC4)	41.130,22	41.137,22	7,00	0,01	41,14	1	1,39	0	0,00			1,39	250.107,30	121.564,10
Canal 10.03	41.137,22	41.505,22	368,00	0,37	41,51									
Túnel 2 - Sítio Alto 2	41.505,22	41.505,22	0,00	0,00	42,30					1	1,49	1,49		
Canal 11.01	42.295,22	42.627,22	332,00	0,33	42,63									
Canal 11.02	42.627,22	43.705,00	1077,78	1,08	43,71									
Sifão 8A - Milho	43.705,00	43.895,00	190,00	0,19	43,90									
Canal 11.03	43.895,00	46.009,06	2114,06	2,11	46,01									
Sifão 9 - Boqueirão	46.009,06	46.555,90	546,84	0,55	46,56									
Canal 12.01	46.555,90	49.594,88	3038,98	3,04	49,59	3	6,24	1	0,74			6,97	985.022,00	874.070,50
Comporta de Controle 5 (CC5)	49.594,88	49.601,88	7,00	0,01	49,60									
Canal 12.02	49.601,88	49.946,88	345,00	0,35	49,95									
Túnel 3 - Veneza	49.946,88	49.946,88	0,00	0,00	52,48					1	3,16	3,16		
Canal 13.01	52.484,68	52.762,68	278,00	0,28	52,76									
Canal 13.02	52.762,68	57.163,21	4400,33	4,40	57,16									
Sifão 10 - CE-153	57.163,21	57.485,47	322,26	0,32	57,49									
Canal 14	57.485,47	59.014,13	1528,66	1,53	59,01	2	5,94	1	0,32			6,26	663.054,70	1.321.598,20
Comporta de Controle 6 (CC6)	59.014,13	59.021,13	7,00	0,01	59,02									
Sifão 11 - Areia	59.021,13	59.467,96	446,83	0,45	59,47									
Canal 15	59.467,96	68.667,64	9199,68	9,20	68,67	1	9,21	1	0,45			9,65	718.633,60	994.829,30
Comporta de Controle 7 (CC7)	68.667,64	68.674,64	7,00	0,01	68,67									
Sifão 11A - Barreiro	68.674,64	69.735,07	1060,43	1,06	69,74									
Canal 15A.1	69.735,07	75.140,00	5404,93	5,40	75,14	1	5,40	1	1,06			6,47	1.285.555,60	715.663,70
SUB-TOTAL			36.390,00	36,39	1.336,04	8,00	28,18	4,00	2,57	3,00	5,65	36,39	3.902.373,20	4.027.725,80

4.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

4.2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem entre os km 38+750 (montante) e o km 75+140, que para melhor entendimento da distribuição dos litotipos e características geológico-geotécnicas ao longo do traçado, foram subdivididos em trechos crescentes do estaqueamento em quilômetros.

4.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO

Trecho Km 38+750 até 49+980:

Em sequência ao Lote 1 (Km 38+750) até próximo ao emboque do Túnel Veneza, o canal novamente atravessa uma série constante de arenitos com níveis isolados de folhelhos e siltitos pertencentes à Formação Missão Velha. Estes arenitos têm textura fina a grossa, mal

selecionados, às vezes micro-conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada (**Foto 4.1**).

Pontualmente esta Formação ocorre recoberta ou capeada por coluviões da Coberturas Sedimentares Neo-Quaternárias (NQc), de texturas argilo-arenosos e areno-argilosos de cores amarelas e avermelhadas; localmente ocorrem concentrações de cascalhos e blocos de arenito cimentados, além depósitos aluvionares nas zonas próximas aos riachos.

Conforme citado anteriormente, a Formação Missão Velha apresenta um horizonte de solo residual de espessura de 8 a 10 metros, localmente poderá apresentar profundidade superior a 18 m. A espessura diminui significativamente em zonas de topografia abrupta e íngreme, a exemplo dos quilômetros 43+900 a 44+200, 46+560 a 46+820 e 48+200 a 48+800, devido ao processo erosivo.

O solo residual é caracterizado geotecnicaamente como areia silto-argilosa (SC-SM) vermelha, de plasticidade baixa a nula, com peso específico seco máximo (Proctor Normal) variando entre $\gamma_{max}=1,940 \text{ g/cm}^3$ a $1,955 \text{ g/cm}^3$ e umidade ótima de 8,7% a 9,2 %. O Índice de Suporte Califórnia (CBR) situa-se entre 39% a 41%, com expansão nula (Foto 4.1). Apresenta-se nos primeiros 2 a 5 metros, de pouca a medianamente compacta, e compacta com o aumento da profundidade. A baixa a nenhuma plasticidade ocasiona no período chuvoso grande susceptibilidade a erosão superficial nos taludes de escavação e nos aterros compactados deste material.

Sob os solos residuais ocorrem os arenitos friáveis a pouco coerentes, de cor marrom claro a esbranquiçado. A estratificação se apresenta cruzada de médio porte, tabular a planar e secundariamente acanalada, com espessuras dessimétricas a métricas. Interpretadas como de origem fluvial entrelaçado (*braided*), com escassez acentuada da fração pelítica de planícies de inundação. Sondagens rotativas executadas nas áreas dos Túneis Sítio Alto I e 2, confirmaram inexistência de rocha coerente, em profundidade de até 48 metros.



Foto 4.1 - Lote 2: Coleta de bloco indeformado de solo residual



Do ponto de vista da estabilidade a Formação Missão Velha apresenta encostas subverticais (Fotos 4.2 e 4.3) caracterizando regular a boa capacidade de auto-suporte, tanto nos taludes em corte, como para suporte dos túneis.



Foto 4.2- Encostas abruptas em arenitos próximo ao Túnel Sitio Alto 2



Foto 4.3- Encosta vertical próximo ao emboque do Túnel Sitio Alto I.

Conforme citado, cortes em solos residuais de arenito podem apresentar problemas de pequenas instabilidades em presença de estratificação tipo concha, e sobretudo erosões em períodos de fortes precipitações. Problemas de estabilidade são previsíveis em presença de

camadas intercaladas ou níveis isolados de folhelhos com xistosidade desfavorável (de 15° a 25°), com escorregamento tipo planar. A água pluvial poderá ocasionar problemas de erosão superficial, com formação de sulcos e ravinamentos.

Em condições de forte declividade, a exemplo dos cortes situado após o Sifão Boqueirão (Km 46 a 47, aproximados), tendo sido realizados estudos de estabilidade, apresentados em sequência, no presente documento.

Trecho Km 49+980 até 75+140:

Em continuidade ao Lote 2, no trecho citado, temos ao longo de mais de setenta quilômetros o sistema adutor projetado sobre a Formação Rio Batateiras. Segundo o Mapa Geológico do Ceará CPRM, o contato entre as formações Missão Velha e Rio Batateiras é tectônico, separada por uma falha normal, próximo ao emboque do Túnel Veneza.

Conforme Assine (1992) a Formação Rio Batateiras é constituída na sua unidade basal da fácies arenítica com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis pouco espessos de conglomerados. Os arenitos apresentam texturas finas a médias, subarredondados a subangulares, em geral bastante friáveis, com presenças localizadas de seixos e de feldspatos caulinizados e pelotas de argila. A estratificação é cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, e as vezes em feições sigmoidais. Estes materiais se apresentam em ciclos com granodecrescência ascendente que culminam em intervalos pelíticos. São interpretados como fluvio-lacustres, não só pelas litologias e estruturas sedimentares, mas pela presença de fósseis continentais.

Estudos petrográficos comparativos realizados nos arenitos friáveis da Formação Missão Velha e Rio Batateiras sinalizaram que os arenitos da segunda Formação são mais recentes, tanto mineralógica quanto textural, visto que os feldspatos possuem baixo grau de seleção, baixo grau de arredondamento e maior porcentagem de argilominerais e fragmentos de rocha. Estas Formações ocorrem capeadas ou mascaradas por depósitos coluvionares de vários metros de espessura, e com depósitos aluvionares nos riachos principais: Riacho Seco, Riacho São Francisco e Rio Batateiras. Os arenitos Batateiras apresentam cores amareladas e esbranquiçado, friáveis a pouco coerentes, com as estruturas sedimentares típicas.

A Formação Rio Batateiras apresenta um horizonte de solo residual avermelhado de espessura média de 9 a 10 metros, sendo que no poço de exploração PE-81 atinge 12,70 m, já no trecho entre as estacas 55+540 e 58+520, a espessura é relativamente certamente devido à declividade das encostas. O solo residual apresenta texturas de areias argilosas ou siltosas, de baixa plasticidade avermelhadas, com boas características geotécnicas para aterros.

Ensaio de resistência a compressão simples nestes materiais realizados em testemunhos de sondagem (SR-64) do Túnel Veneza apresentaram valores entre 0,54 e 14,56 MPa.

No Quadro 4.2 constam os resultados dos ensaios triaxiais realizados em amostra indeformada coletada no emboque no Túnel Veneza.

Quadro 4.2 – Resumo dos ensaios triaxiais CU com medida de poropressão

Túnel Veneza		Coesão (kPa)		Ângulo de atrito (°)	
Amostra	Tipo	Total	Efetiva	Total	Efetivo
22 (0,30m)	CU	250,0	200,00	35,8	35,8
23 (0,60m)	CU	100,0	50,0	43,2	45,0

Relativo à estabilidade dos cortes, os arenitos exibem encostas subverticais com algumas dezenas de metros de altura, a exemplo do desemboque do Sifão Barreiros, referência ao km 69+700 (**Foto 4.4**). As condições de estabilidade são entretanto condicionadas à presença de folhelhos.



Foto 4.4 - Encostas verticais em arenito no desemboque do Sifão Barreiros (km 69+700)

4.2.3 - DEPÓSITOS COLUVIONARES

As Formações geológicas descritas anteriormente, encontram-se em muitos casos com Coberturas de Aluviais (NQc) e depósitos de Tálus (NQt), caracterizados como sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos em cores amareladas e avermelhadas, e ainda apresentam concentrações de cascalhos, grânulos lateríticos e grande quantidade de blocos de arenito com tamanho variável, média estimada entre 0,60 a 0,80 m, e máxima de 2,0 a 3,0 m. Material orgânico disseminado e restos vegetais são comuns e localmente com teor elevado. Os poços de exploração PE-19 e PE-20 são representativos do trecho entre o km 37+070 e 49+910, com espessura da ordem de 5,50 m destes materiais. (**Foto 4.4**)

Do ponto de vista geotécnico, os depósitos coluvionares terrosos do Quaternário são os principais causadores de movimentos de terra nas encostas, acompanhados de queda de blocos isolados, a exemplo do trecho entre os km 43+295 e 43+380. (**Foto 4.5**)



Foto 4.5 - Lote 2: Blocos de arenito soltos e envolvidos por solo coluvionar no km 38+600



Foto 4.6 - Contato discordante entre depósitos coluvionares e Formação Missão Velha (km 45+900) na região do emboque do Sifão Boqueirão

4.2.4 - DEPÓSITOS ALUVIONARES

Os Aluviões (Q2a) ocorrem com maior expressão ao longo das drenagens cortadas pelo sistema adutor, com destaque para os rios/riachos Porteiras, Pitombeira, Riacho Seco, Olho d'Água, Salamanca, Batateiras e Carás. Nestes ocorrem sedimentos diferenciados em praticamente todas as faixas granulométricas, predominando os blocos e pedregulhos(cascalhos) de tamanho heterométrico, as areias praticamente limpas, areias siltosas e areias argilosas, com diferentes teores de matéria orgânica. A espessura destes materiais podem atingir cerca de 10 metros, a exemplo do riacho Pitombeiras, localizado no km 35+340 (Fotos 4.7 e 4.8).

Em menor ocorrência os depósitos silteosos e argilosos orgânicos são encontrados nas bordas das planícies de inundação e nos barramentos atravessados pelo canal, a exemplo dos trechos km 7+700 - 8+200, 133+260 - 133+530 e 135+040 - 135+220, com características desfavoráveis para fundações e uso em aterros compactados.



Foto 4.7 - Depósitos aluvionares próximo ao emboque do Túnel Sitio Alto I (km 38+750)



Foto 4.8 - Lote 2: Depósitos aluvionares no riacho Pitombeiras km 35+340.

4.2.5 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Ao longo do Lote 2 ocorrem elevações com encostas íngremes, onde o traçado do canal sofreu ajustes, buscando a melhor condição técnica-econômica. Os sete trechos mais críticos que sofreram ajustes de projeto foram denominados de Desvios, com Nos 1, 2, 3, 4, 5, 5.1 e 6, cujos comprimentos e localizações ao longo do traçado constam no Quadro 4.3.

Quadro 4.3 - Lote 2: Dados de localização e comprimento dos trechos de desvio

Desvios Lote 2								
Desvio	Traçado Locado em Campo				Novo Traçado (Igualdades)			
	Estaca inicial	Estaca final	L (m)	L(m) Acumul.	Estaca inicial	Estaca final	L (m)	L(m) Acumul.
1	39+764,14	40+012,00	247,86	247,86	39+764,14	40+012,00	247,86	247,86
2	40+597,59	41+154,29	556,70	804,56	40+597,59	41+157,26	559,67	807,53
3	42+644,45	43+435,52	791,07	1.595,63	42+644,45	43+467,64	823,19	1.630,72
4	43+863,04	44+249,83	337,40	1.933,03	43+863,04	44+260,27	347,84	1.978,56
5	46+571,46	47+669,90	1.098,44	3.031,47	46+571,46	47+705,34	1.133,88	3.112,44
5.1	54+157,18	54+599,81	442,63	3.474,10	54+157,18	54+517,09	359,91	3.472,35
6	55+370,78	57+069,98	1.699,20	5.173,30	55+370,78	57+114,93	1.744,15	5.216,50

Nota: Os desvios 2 e 5.1 por apresentarem condições adequadas para implantação do canal, simplesmente foram objetos de ajuste no traçado.

Cada um dos trechos (Desvio) os taludes naturais mais críticos, em corte e os aterros compactados foram objetos de análises de estabilidade, tendo sido selecionadas seções transversais tipo, com a geometria de escavação e o aterro compactado que compõem o projeto.

O capeamento coluvionar, com espessura entre 1 e 2 metros, conforme já descrito, é composto por blocos rochosos com dimensões variadas, envoltos por pedregulhos e uma matriz terrosa, e nele se desenvolve a vegetação típica regional. Em condição natural, conforme observado no campo, protege o talude de erosões pluviais, entretanto as características heterogêneas de resistência, permeabilidade e erodibilidade, foi recomendado sua remoção da fundação.

Para cada seção foram analisadas as situações com nível de água (NA) elevado, na condição mais crítica (contato do solo residual com o arenito) e com nível de água rebaixado, seco. Previu-se o controle do nível d'água com a instalação de dreno DHP, no pé do talude da crista do canal.

O fator de segurança (FS) previsto em projeto para a fase de construção tem valor 1,3 e para a fase de operação é de 1,5.

As análises foram realizadas pelo Método de Bishop, utilizando o software GeoSlopeW, e os parâmetros geotécnicos adotados para os materiais dos perfis analisados constam no **Quadro 4.4**.

Quadro 4.4 - Lote 2 - Parâmetros Geotécnicos Adotados dos Materiais

Tipo de Solo	d (kN)	C (kPa)	ϕ
Solo Coluvionar	18	5	30°
Solo Residual	19	12	32°
Arenito	25	15	38°
Aterro Compactado	19	10	33°

As sínteses as análises dos Desvios 1, 3, 4, 5, e 6 estão apresentadas nesta ordem, e os Desvios 2 e 5.1 por apresentarem condições adequadas para implantação do canal, simplesmente foram objetos de ajuste no traçado, tendo sido apresentadas algumas das seções tipos, em sequência:

Lote 2 Desvio 1 – Trecho com de 248m de comprimento, entre as estacas km 39+764,14 a 40+012,00, considerado crítico com talude natural íngreme e elevado (acima da cota 500, que é o limite da Área de Preservação Ambiental – APA) e ainda se situa nas proximidades de um córrego.

O desenvolvimento dos primeiros estudos mostraram grandes volumes de corte e aterros e conseqüente proteção de taludes, inclusive atingindo sobremaneira a APA e a drenagem natural, condições que inviabilizaram o desenvolvimento do projeto com seção convencional de canal em solo.

Um segundo estudo foi realizado, substituindo o canal por galeria em concreto estrutural, buscando minimizar ao máximo a escavação e aterros. Esta alternativa apresentou custo muito elevado, apresentando ainda grande dificuldade na logística de campo, a exemplo da implantação dos caminhos de serviço e do acesso definitivo.

O terceiro foi viabilizado compatibilizando os problemas mencionados, reduzindo ao máximo as escavações (retaludamento), deslocando o canal para o pé da encosta, e a base do aterro compactado do tramo esquerdo do canal foi reforçado com uso de “terra armada”. Desta forma além da garantia da estabilidade de cortes e aterros, foram minimizar os problemas da drenagem natural (galerias e bueiros), sem a necessidade do desvio do córrego.

O trecho inicial do Desvio 1, que se estende entre as estacas km 39+764,14 a 39+900,00 aqui representado pela Figura 4.2-1 (Lote 2 Desvio 1– Seção km 39+780), mostra o canal em seção mista, com o tramo direito na encosta de média declividade, em solo residual de arenito, com pequeno corte para formação da berma direta (crista do canal) e desenvolvimento do canal; já o tramo esquerdo é implantado sobre solo residual em aterro compactado, sem interferência com o córrego.

As **Figuras 4.1, 4.2 e 4.3** (Seção km 39+780), mostram, respectivamente, as análise de estabilidade: Simulação da estabilidade do talude com NA seco - Perfil adotado (FS =1,52); Simulação da estabilidade do talude com NA no contato solo residual-arenito (FS =1,256); e, Simulação da estabilidade do talude externo do aterro compactado com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,256), com igual valor do FS para a condição de NA seco.

Previu-se assegurar a estabilidade do talude para a fase de operação (FS>1,5) com a instalação de drenos tipo DHP, de forma a manter o NA abaixo do contato solo residual-arenito, conforme indicado nos desenhos de projeto. Um segunda solução, poderá ser viabilizada em função do balaço de material para aterro, abatendo os talude, expondo o arenito acima da berma (crista direita do canal).



Figura 4.1 - Lote 2 Desvio 1– Seção km 39+780: Simulação da estabilidade do talude com NA seco - Perfil adotado (FS=1,52)

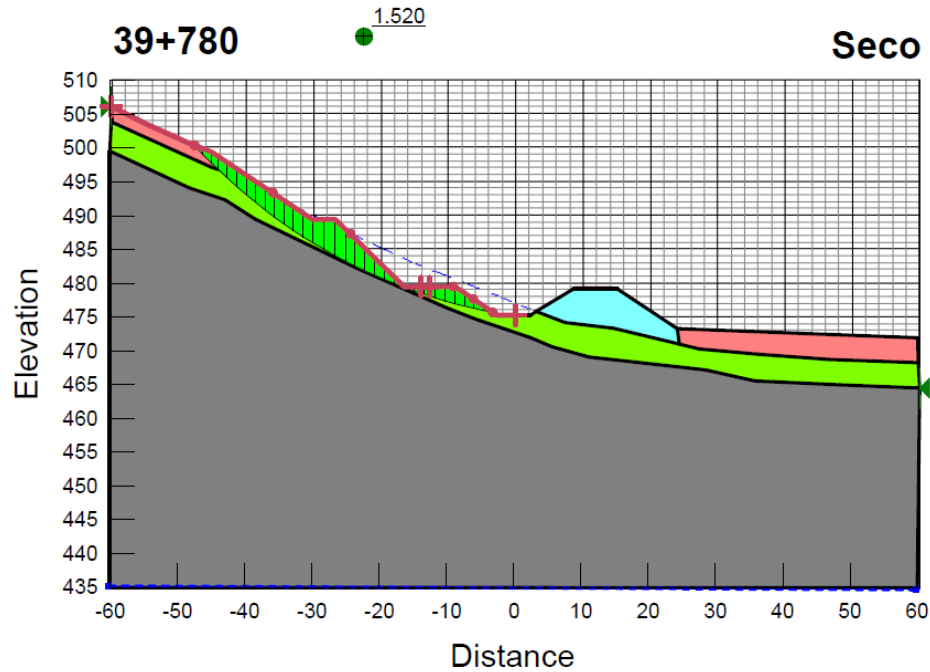


Figura 4.2 - Lote 2 Desvio 1– Seção km 39+780: Simulação da estabilidade do talude com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,256)

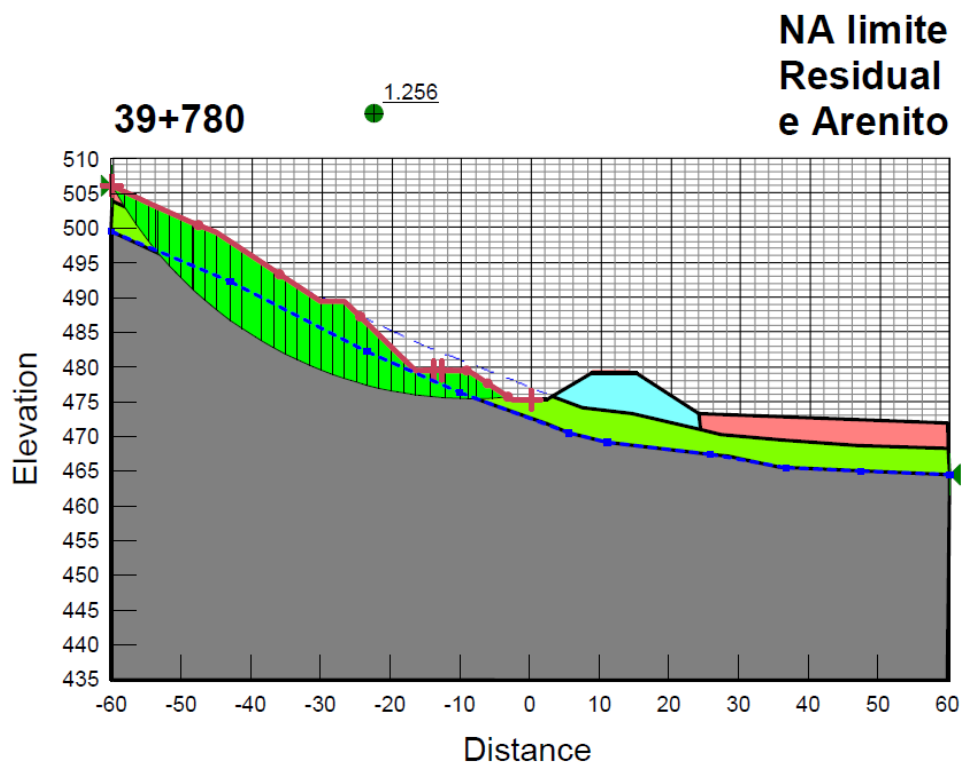
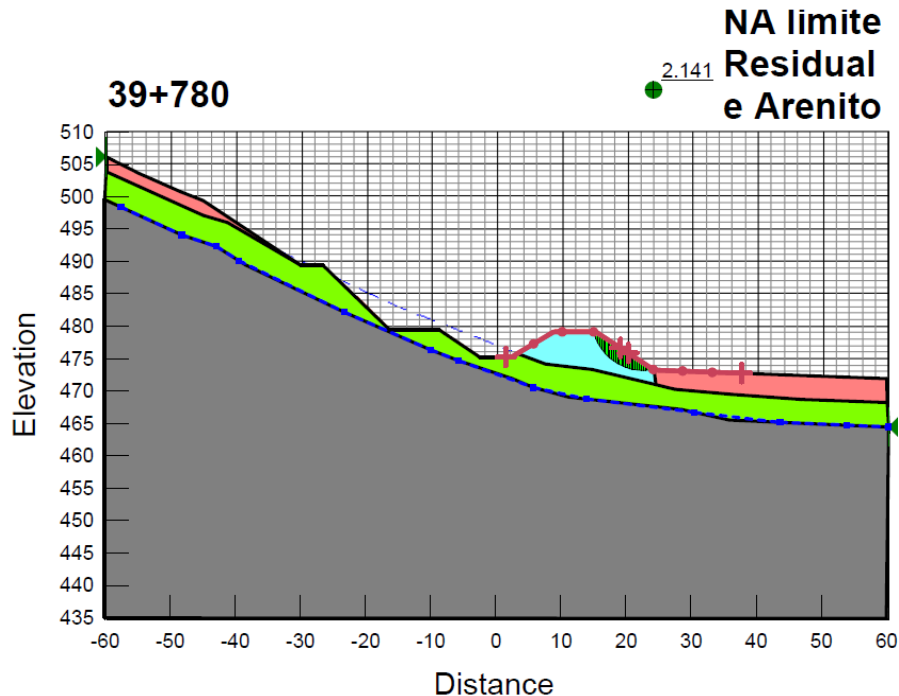


Figura 4.3 - Lote 2 Desvio 1– Seção km 39+780: Simulação da estabilidade do talude externo do aterro compactado com NA no contato solo residual-arenito (FS= 2,141)



O trecho intermediário entre as estacas km 39+900,00 a 40+080,00, mostrado na **Figuras 4.4, 4.5 e 4.6**, respectivas Seções km 39+920, 39+980, e 40+040, mostram o talude natural direito (taludes à esquerda das figuras) praticamente preservado, com os aterros do canal fundados em solo residual, após remoção do colúvio.

O tramo esquerdo com o aterro da base (até a elevação 472,00) reforçado com “terra armada” com proteção externa de gabião, e acima desta elevação (terra armada) até a crista, em solo compactado, conforme especificações técnicas. Previu-se uma berma construtiva com 1m de largura na crista externa da terra armada (TA).

O trecho em Terra Armada se situa entre os km 39+900 a 40+080 (extensão de 180m, entre a fundação e a cota 472,00). Para detalhes construtivos do solo reforçado (TA), ver **Figura 4.7**.

Estruturas em solos reforçados com geogrelhas, no presente documento denominados genericamente de Terra Armada são constituídas de camadas horizontais de solo compactado intercaladas por inclusões de geogrelhas. Por meio da interação entre as inclusões e o solo, o sistema ganha uma condição de estabilidade. As Figuras 4.2-7 (a, b) mostra esquematicamente uma estrutura de solo reforçada com geogrelhas com face de blocos de gabião.

O trecho final do Desvio 1 entre as estacas km 40+080,00 a 40+140,00 se constitui transição para o Desvio 2, seguindo as características geométricas e de estabilidade deste.

O **Quadro 4.5** constam os dados gerais das análises de estabilidade do Desvio 1.

Figura 4.4 - Lote 2 Desvio 1 – Seção km 39+920: Solução do aterro em “terra armada”.
 Talude e fundação com remoção do colúvio, sem retaludamento. Simulação com NA no contato do arenito com o solo residual (FS=1,53), e com NA Seco (FS=1,83)

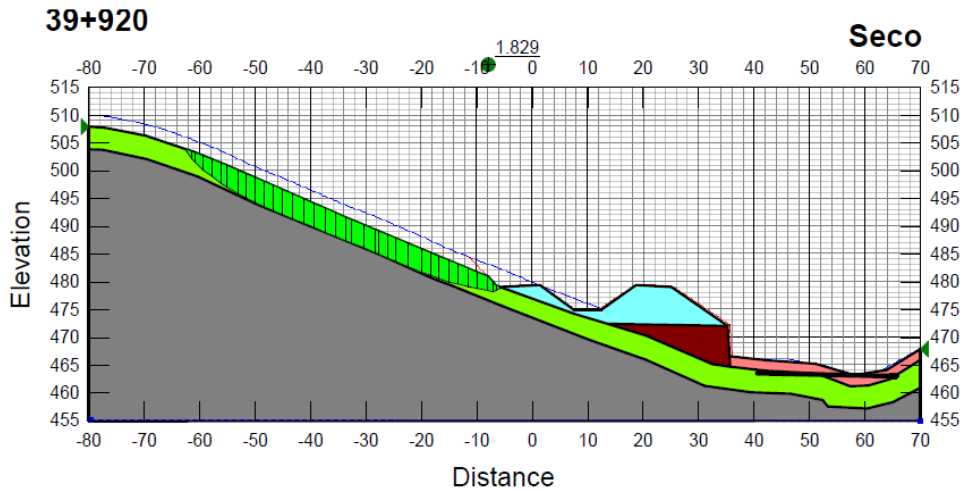


Figura 4.5 - Lote 2 Desvio 1 – Seção km 39+980: Solução do aterro em “terra armada”.
 Talude e fundação com remoção do colúvio, sem retaludamento. Simulação com NA no arenito (FS=1,53) e seco (FS=1,87)

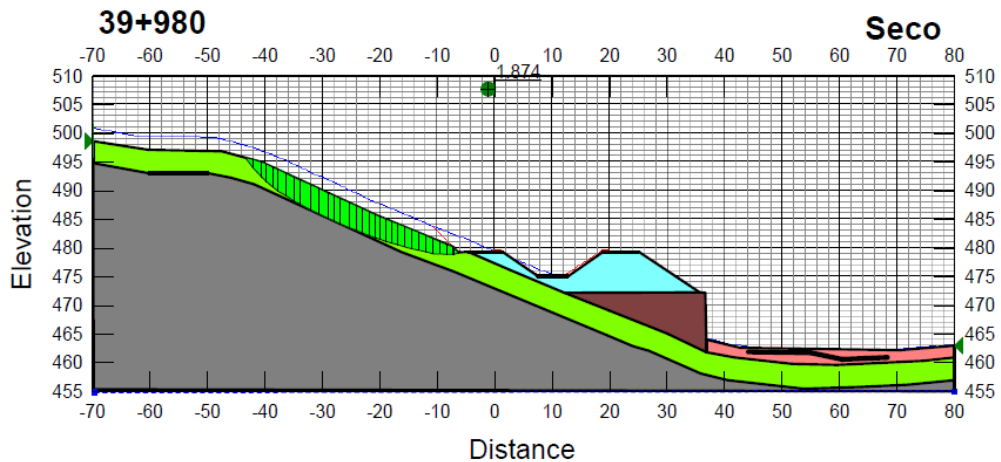


Figura 4.6 - Lote 2 Desvio 1– Seção km 40+040: Solução do aterro do tramo esquerdo do canal em “terra armada”. Talude e fundação com remoção do colúvio, com pequeno retaludamento. Simulação com NA no arenito (FS=1,85) e seco (FS=2,20)

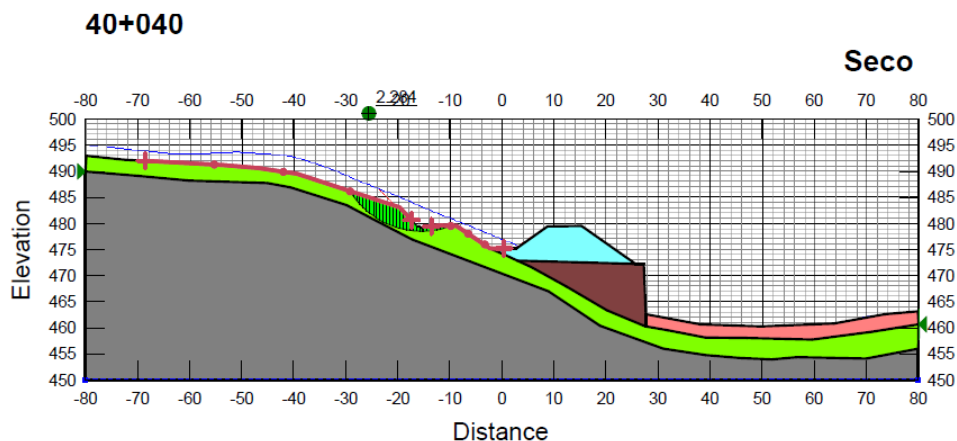
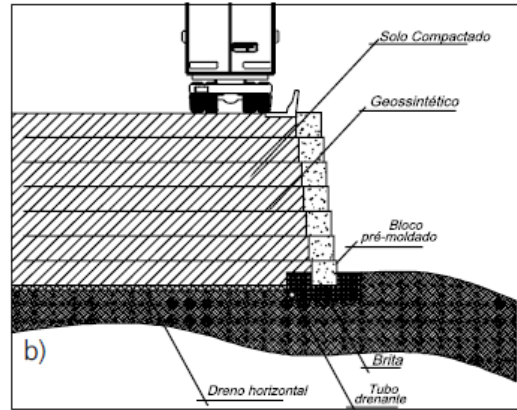
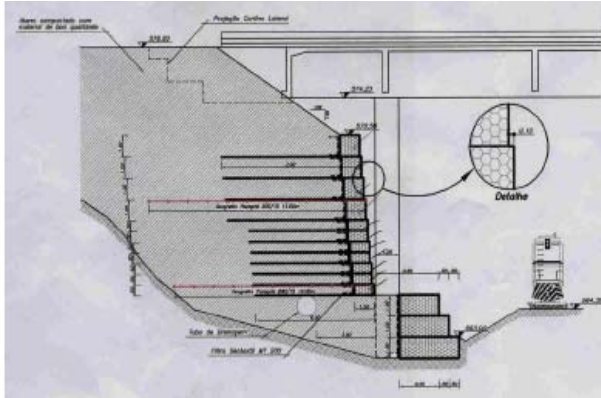


Figura 4.7 - Detalhe construtivo de solos reforçados com geogrelhas com face externa de blocos de gabião Ref. Manual reforço de solos Macaferrri



(a) Ilustração de uma estrutura de solo reforçado com geogrelhas com blocos de gabião que podem ser moldados in loco.

(b) Detalhe construtivo do solo reforçado com geogrelhas, com o muro externo com blocos de gabião.

Quadro 4.5 - Lote 2 – Desvio 1: Dados gerais das análises de estabilidade

ESTACA	Identificação das Análises	Condições Analisadas de Estabilidade: Local e Nivel de água	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												SOLUÇÃO
			COLUVIÃO			SOLO RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
			d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
39+780 (39+760 a 39+870)	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude Esquerdo: 1° Talude 1:1 + berma de 3,40m + Talude de 1.5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
39+920 (39+870 a 39+970)	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude Esquerdo: Sem Colúvio - Desvio 10m - 1° Talude 1:1 até TN
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
39+980 (39+970 a 40+030)	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude Esquerdo: Sem Colúvio - Desvio 10m - 1° Talude 1:1 até TN
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
40+040 (40+030 a 40+070)	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude Esquerdo: Sem Colúvio - Talude de 1.5:1 até T.N.
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito. SEM ÁGUA	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito. N.A no Arenito	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	

Lote 2 Desvio 3 – Trecho com de 823m de comprimento, entre as estacas km 42+644,45 a 43+467,64, foi considerada a remoção da capa superficial de solo coluvial com a presença de blocos de arenito e material orgânico, parte do trecho em aterro compactado sobre a encosta de média declividade, e prosseguindo para jusante, o tramo direito do canal é incorporado em corte, e o tramo esquerdo em solo compactado, assente em solo residual.

As figuras a seguir mostram seções transversais representativas do **Desvio 3**, com análises de estabilidade da encosta e do aterro compactado, que constitui o canal.

Figura 4.8 - Lote 2 Desvio 3 – Seção km 42+960: Análise de estabilidade da encosta de baixa declividade, preservando o solo coluvial, bastante estável (FS=2,63), simulação com NA seco

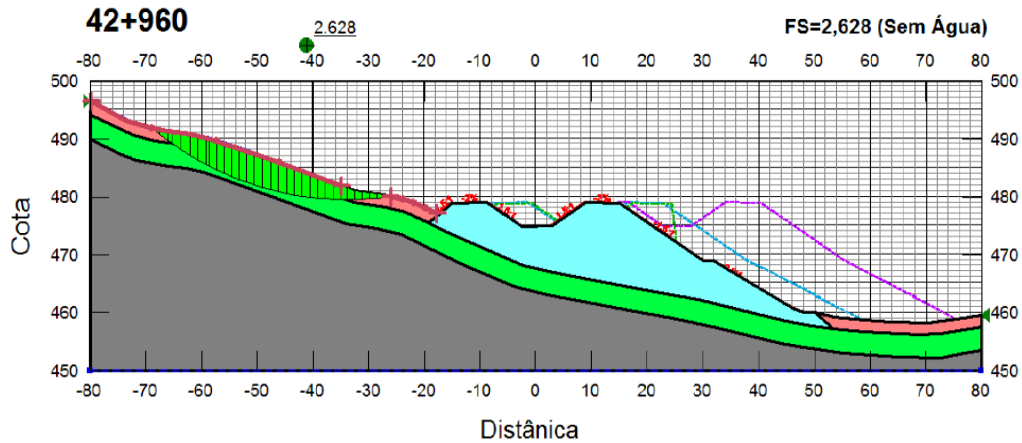


Figura 4.9 - Lote 2 Desvio 3 – Seção km 42+960: Análise de estabilidade do talude externo do aterro em solo compactado; simulação com NA seco (FS=1,82) e com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,71)

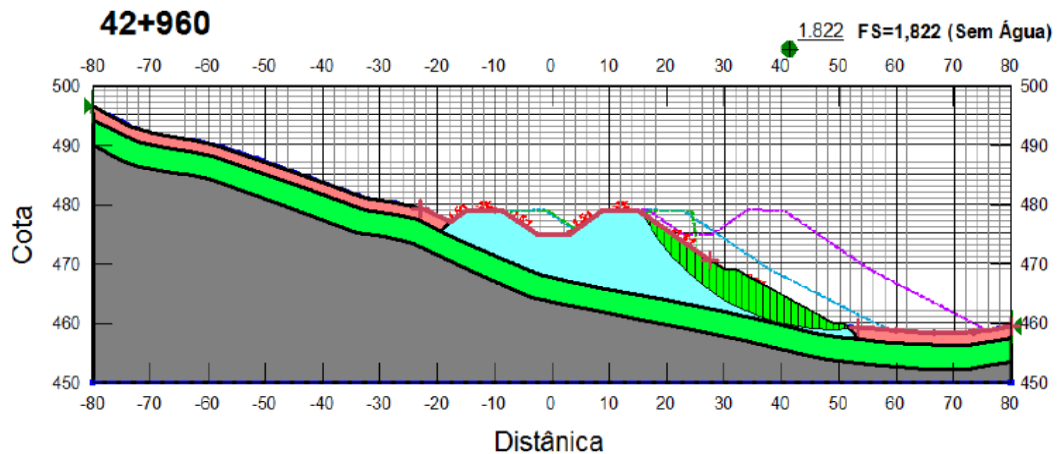


Figura 4.10 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+980: Análise de estabilidade da encosta de média declividade, com canal incorporado na encosta, simulação com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,35)

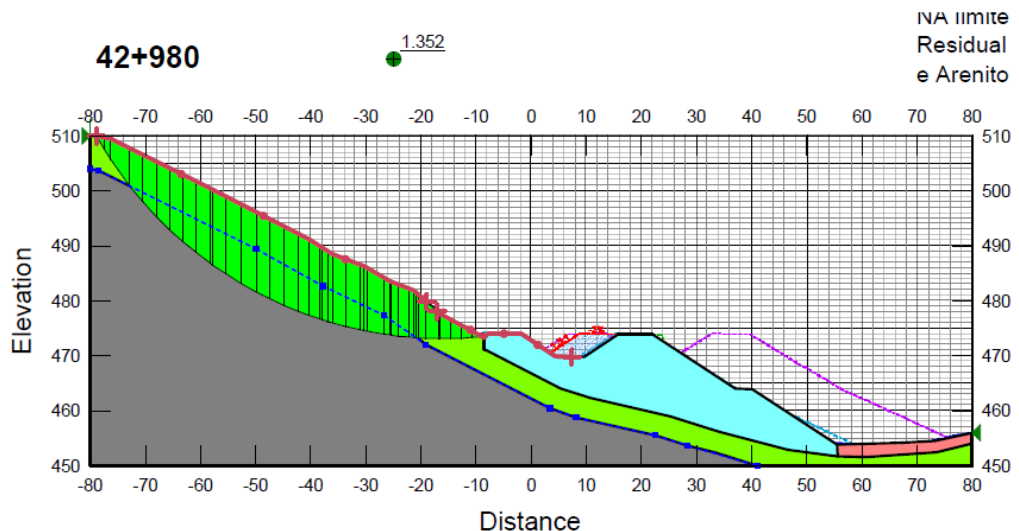


Figura 4.11 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+980: Análise de estabilidade da encosta de média declividade, com canal incorporado na encosta, simulação com NA seco (FS=1,481)

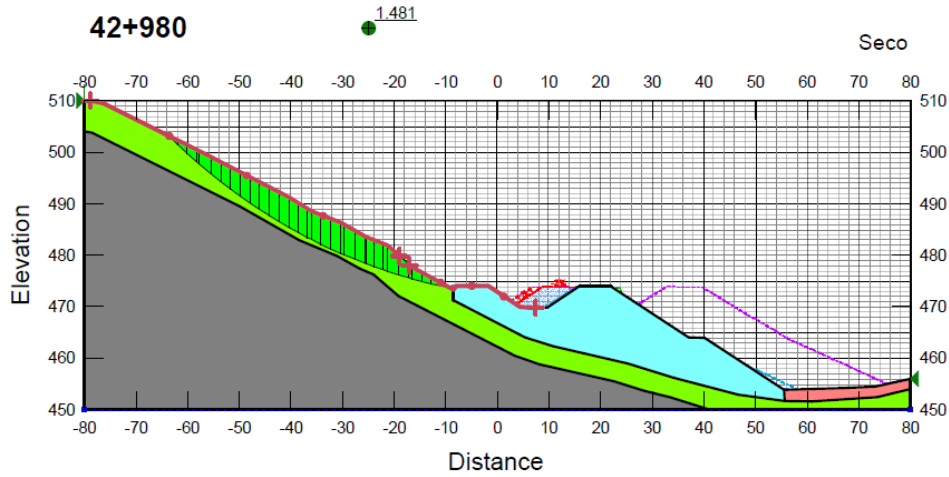


Figura 4.12 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+980: Análise de estabilidade do talude externo do aterro em solo compactado; simulação com NA no contato solo residual-arenito e com NA seco, com mesmo valor (FS=1,667)

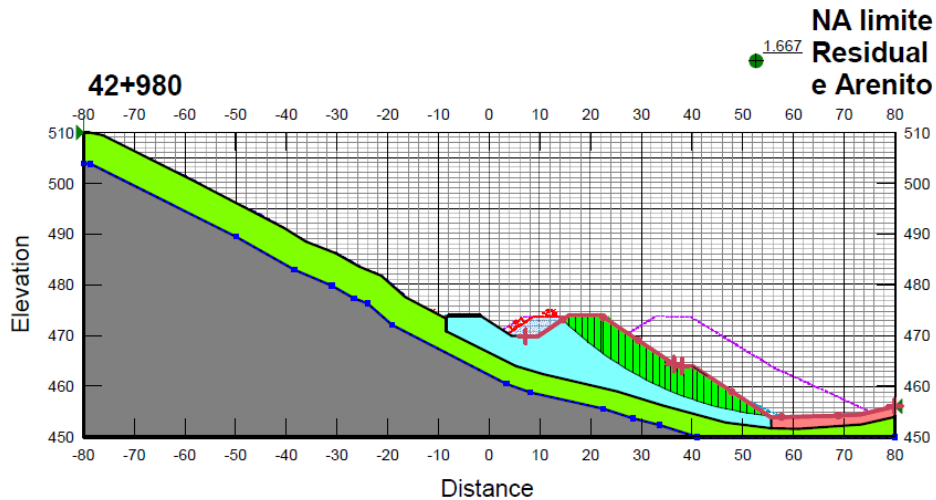


Figura 4.13 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 43+040: Análise de estabilidade da encosta de elevada declividade, simulação com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,15)

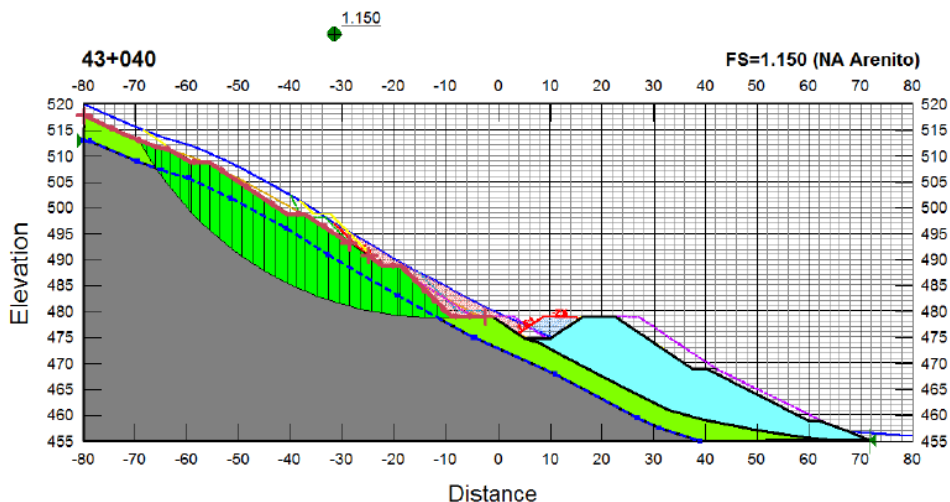


Figura 4.14 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 43+040: Análise de estabilidade da encosta de elevada declividade, simulação com NA seco (FS=1,47). Prevista a instalação de drenos DHP no pé do talude sobre crista do canal

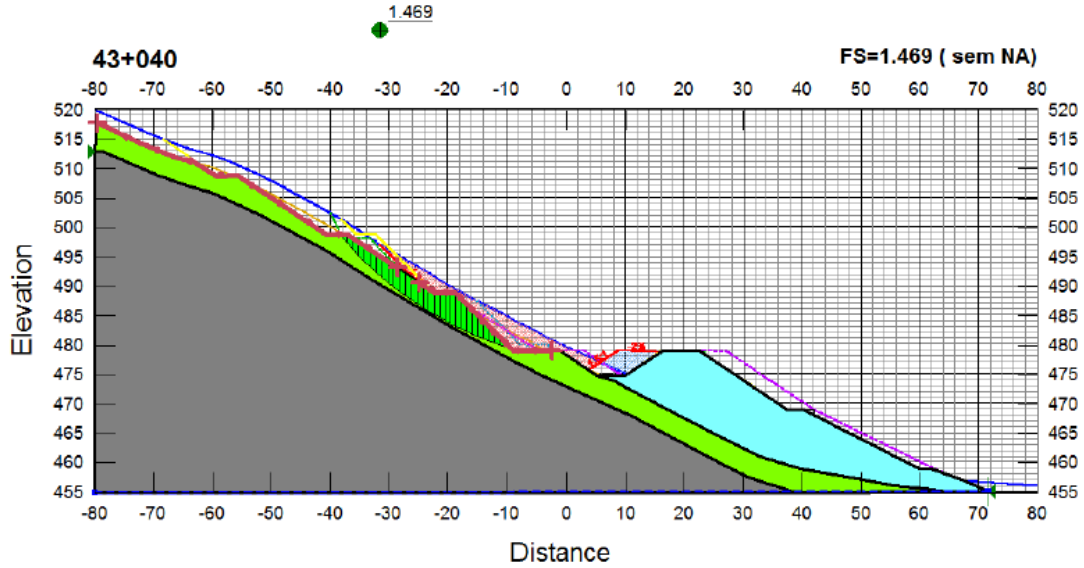


Figura 4.15 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 43+040: Análise de estabilidade do talude externo do aterro em solo compactado; simulação com NA no contato solo residual-arenito e com NA seco, com mesmo valor (FS=1,77)

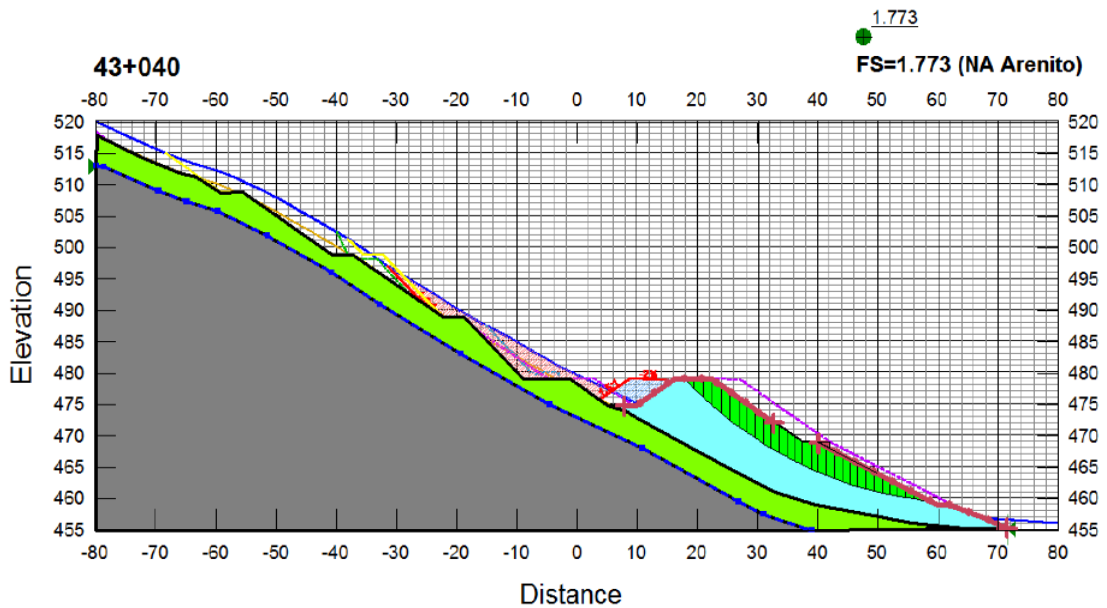


Figura 4.16 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+160: Análise de estabilidade da encosta de elevada declividade, simulação com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,14)

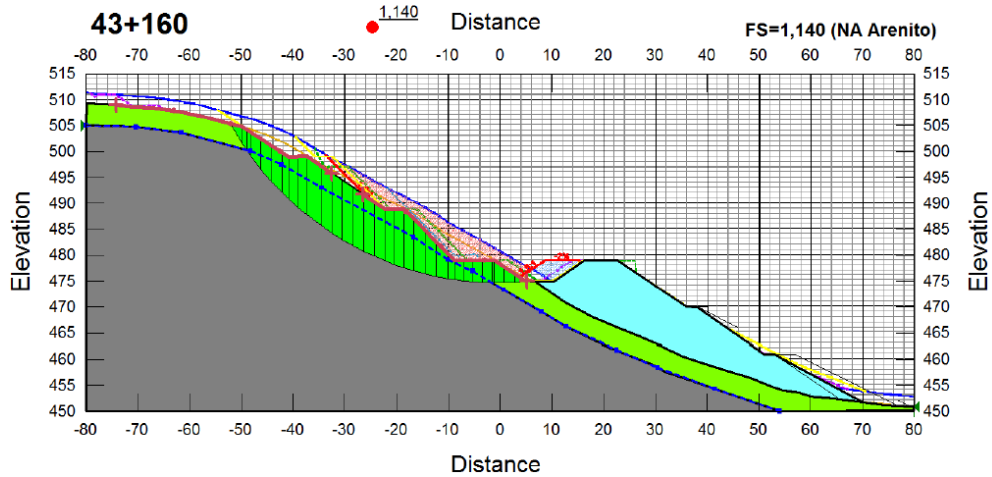


Figura 4.17 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+160: Análise de estabilidade da encosta de elevada declividade, simulação com NA seco (FS=1,491). Prevista a instalação de drenos DHP no pé do talude sobre crista do canal

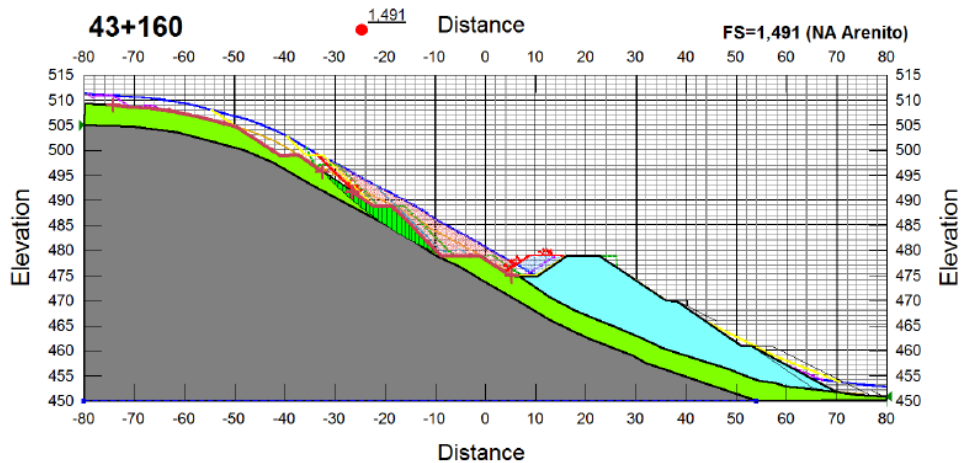
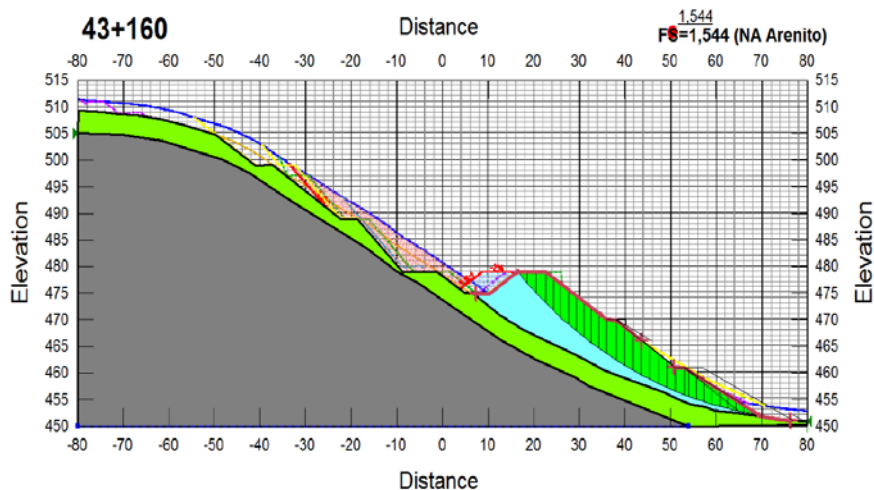


Figura 4.18 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+160: Tramo esquerdo em aterro compactado incorporado em encosta de elevada declividade com NA seco (FS=1,54) e no contato solo residual-arenito (FS=1,593)



Entre as estacas km 43+240 e km 43+350 o Desvio 3, em decorrência do aterro do tramo esquerdo se desenvolver em fundação de elevada declividade, com altura elevada, foi estudada a solução em terra armada, a exemplo da seção km 43+260 (Figura 4.19).

Figura 4.19 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+260: Canal incorporado em encosta de elevada declividade com taludes definitivos em solo compactado paralelo ao terreno. Com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,38) e com NA seco (FS=1,53)

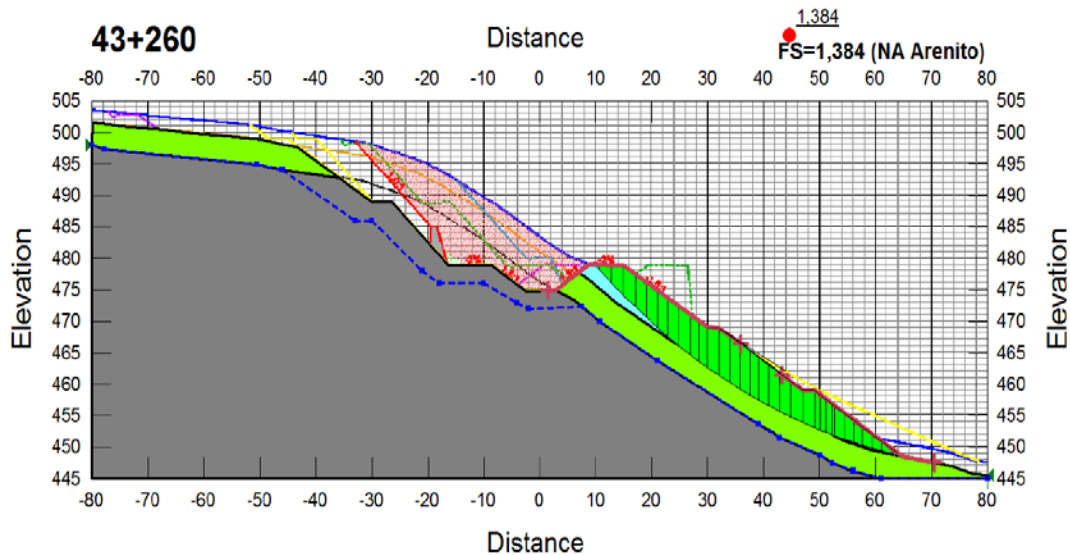


Figura 4.20 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+260: Canal incorporado em encosta de elevada declividade, solução em solo-cimento. Talude direito com NA no contato solo residual-arenito (FS=1,43), estando previstos drenos DHP

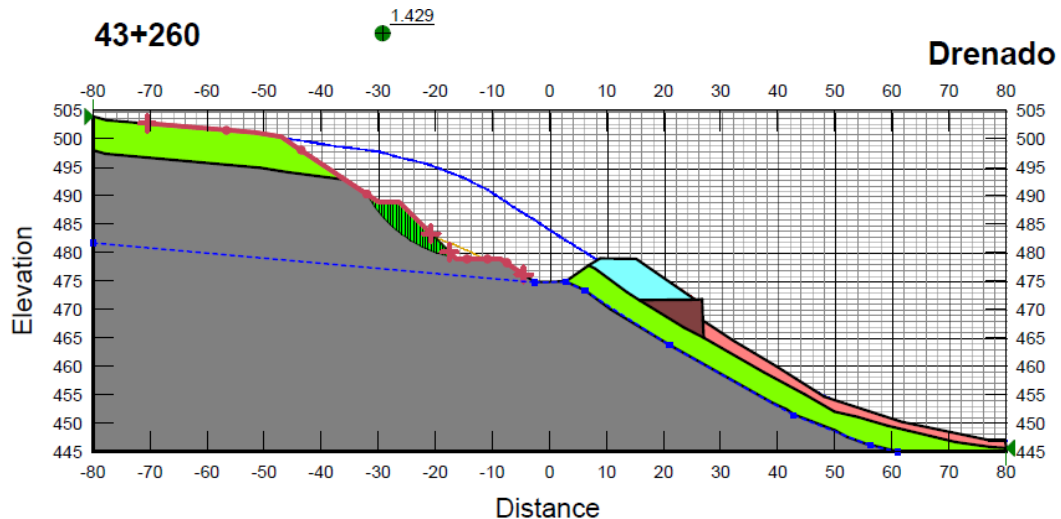


Figura 4.21 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 42+300: Tramo direito do Canal em corte de elevada declividade, com NA no contato solo residual-arenito (FS=0,89), com NA seco (FS=1,53) estando previstos drenos DHP. Tramo esquerdo em aterro compactado incorporado em encosta de elevada declividade, solução em solo-cimento

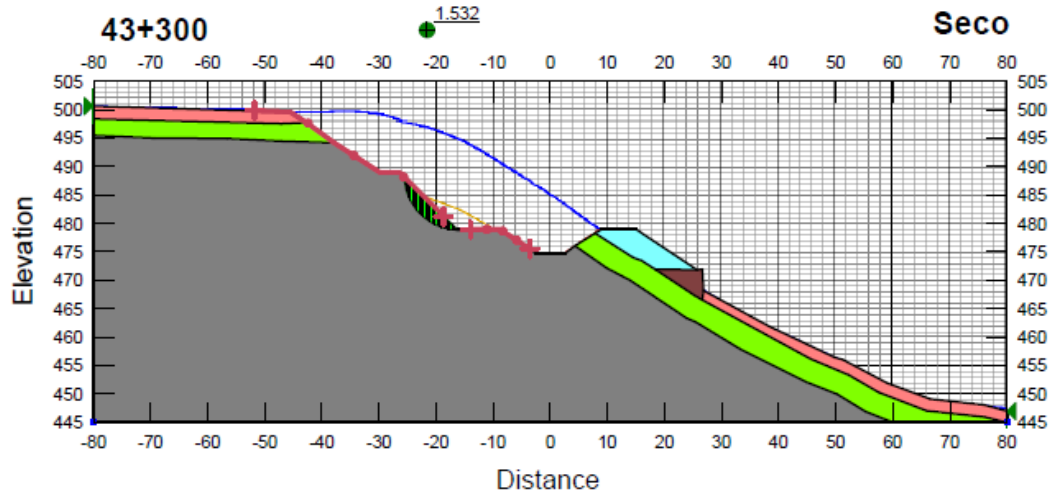


Figura 4.22 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 43+340: Canal em corte de média a elevada declividade, com NA seco. Fechamento da solução em terra armada, com remoção do colúvio e pequeno corte no solo residual

43340
2.1 - Sem NA

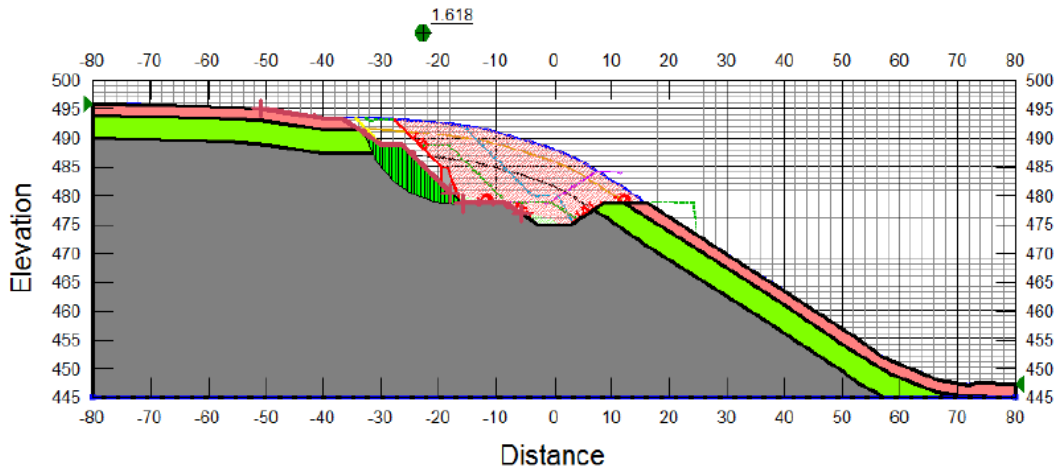
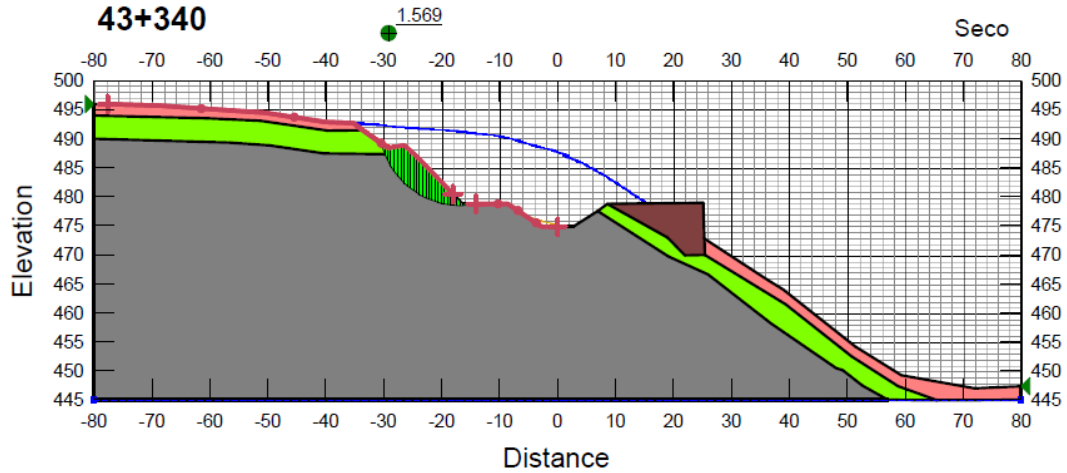
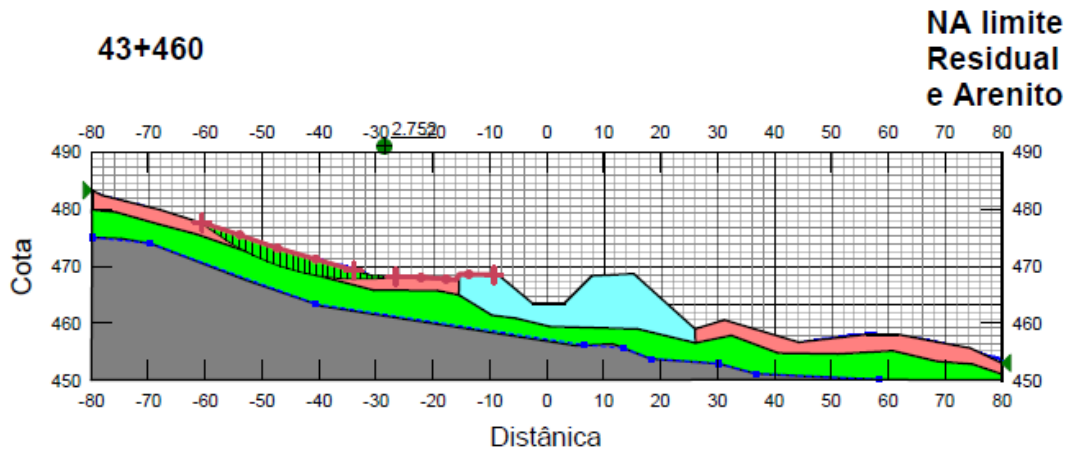


Figura 4.23 - Lote 2 Desvio 3– Seção km 43+340: Canal em corte de média a elevada declividade, com NA seco. Fechamento do trecho em terra armada



A partir da seção km 43+340 até o final do Desvio 3 no km 43+467,64 o canal se desenvolve em terreno suave em pequeno corte – aterro de média declividade, sem problemas de estabilidade, conforme a Seção km 43+460, mostrada a seguir:

Figura 4.24 - Lote 2 Desvio 3 – Seção km 43+460: Canal assente em terreno suave em pequeno corte, sem problemas de estabilidade





Quadro 4.6 - Lote 2 – Desvio 3: Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 3 - Lote 02 (E-42+500 A E-43+540)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução			
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO				MURO		
				d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ		d (kN)	c (kPa)	Φ
42+960 (42000 a 42970)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.628	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Talude Esquerdo: Terreno Natural Talude Direito: Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2.626	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.822	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.822	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
42+980 (42970 a 43000)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.481	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Eixo desviado 7,5m para a Direita. Talude Esquerdo: Terreno Natural Talude Direita: Talude 1,5:1 + Berma 3m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.352	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.667	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.667	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
43+040 (43000 a 43150)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.486	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Eixo desviado 7,5m para a Direita. Talude Esquerdo: 1° Talude 1:1 + berma de 3,40m + Talude de 1,5:1 até T.N. + DHP Talude Direito: Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.103	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.773	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.773	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
43+160 (43150 a 43250)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.497	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Eixo desviado 7,5m para a Direita. Talude Esquerdo: 1° Talude 1:1 + berma de 3,40m + Talude de 1,5:1 até T.N. Talude Direito: Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.113	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.639	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.639	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
43+260 (43250 a 43290)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.425	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Talude Esquerdo: 1° Talude 1:1 + berma de 3,40m + Talude de 1,5:1 até T.N.+DHP Talude Direito: Terra Armada
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.373	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
43+300 (43290 a 43300)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.528	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Talude Esquerdo: 1° Talude 1:1 + berma de 3,40m + Talude de 1,5:1 até T.N. Talude Direito: Terra Armada
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.402	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
43+340 (43300 a 43450)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.618	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Talude Esquerdo: 1° Talude 1:1 + berma de 3,40m + Talude de 1,5:1 até T.N. Talude Direito: Terra Armada
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.444	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
43+460 (43450 a 43540)	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2.752	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	Talude Esquerdo: Terreno Natural Talude Direito: Canal/Terreno Natural
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2.752	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.454	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.454	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	25	200	50°	

Lote 2 Desvio 4 – Trecho com de 348m de comprimento, entre as estacas km 43+863,04 a 44+260,27, foi considerada a remoção da capa superficial de solo coluvial com blocos de arenito e eventual material orgânico, com o tramo direito do canal incorporado com corte em encosta de baixa a média declividade, e o tramo esquerdo do canal com taludes definitivos em solo compactado, com ajustes da fundação (pequenos cortes do solo residual - escalonamento), para facilitar a implantação do aterro, associado com proteção no pé, com gabião ou simples enrocamento.

Figura 4.25 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+900: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no contato solo residual-arenito, estando previstos drenos DHP

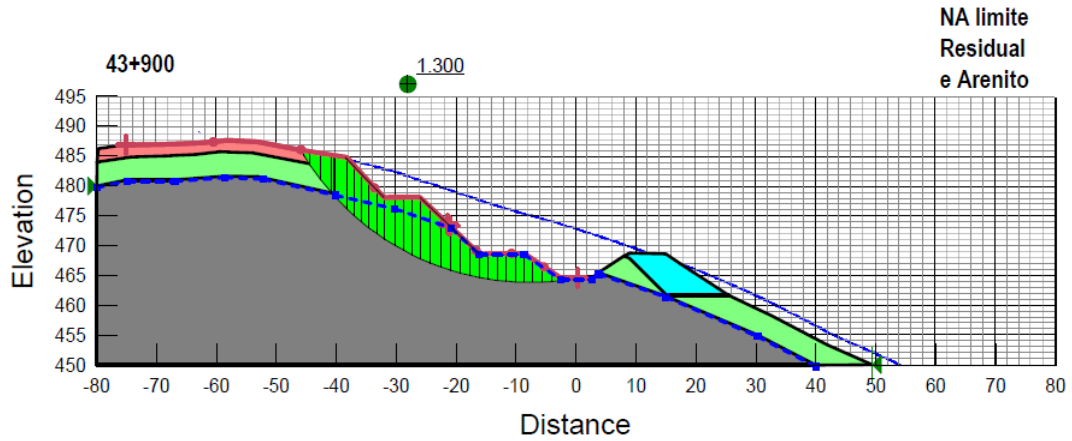


Figura 4.26 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+900: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS=1,53). estando previstos drenos DHP a partir da berma, crista do canal

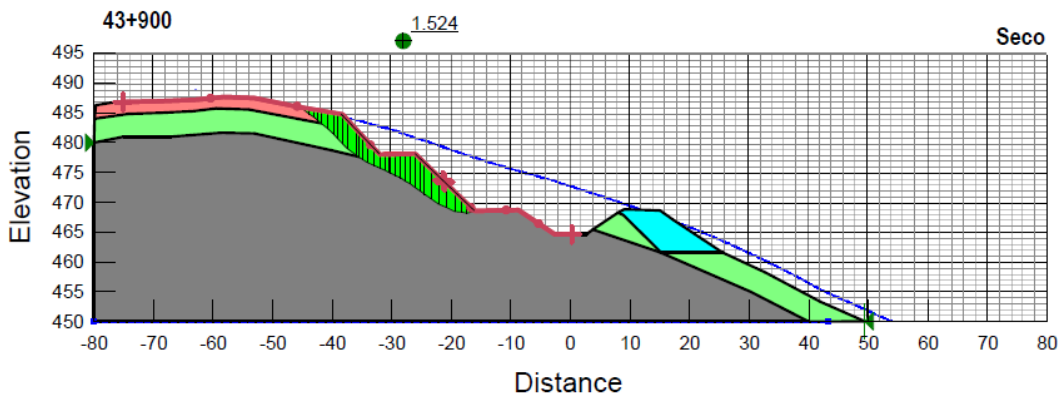


Figura 4.27 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+900: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,69)

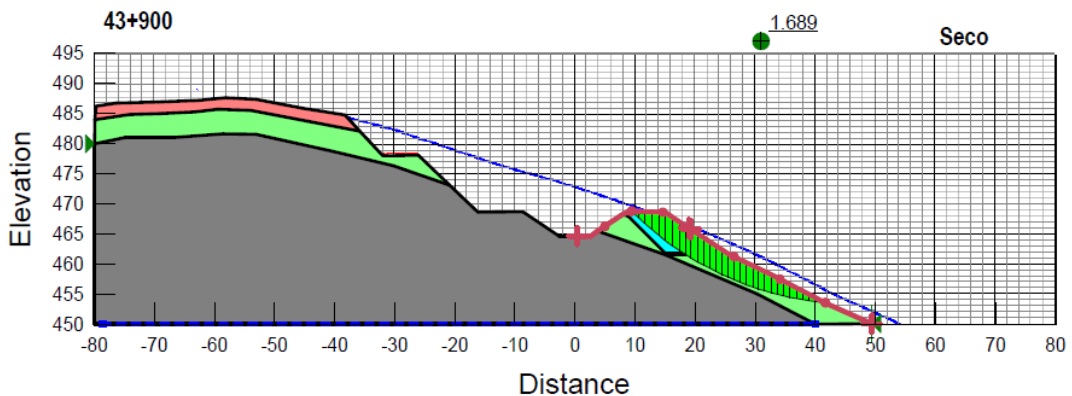


Figura 4.28 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+940: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no solo residual-arenito (FS=1,098), estando previstos drenos DHP

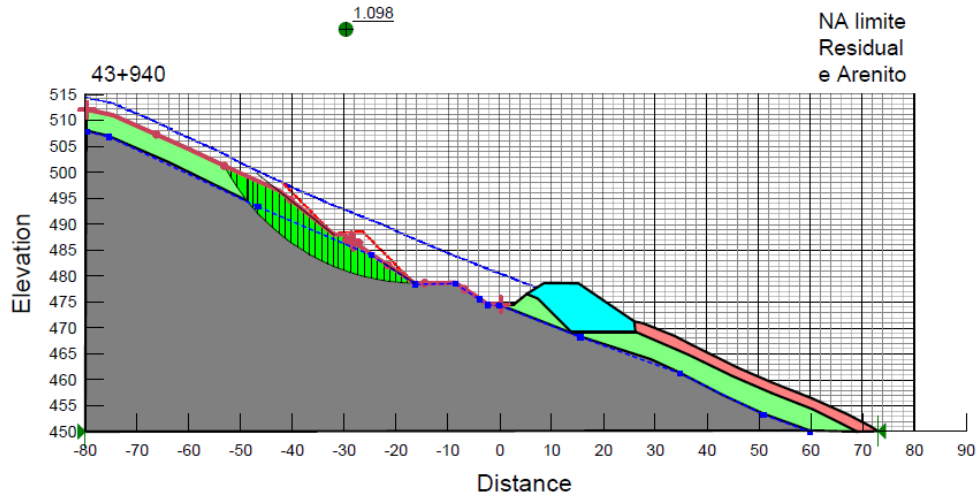


Figura 4.29 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+940: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA seco (FS=1,523), estando previstos drenos DHP a partir da berma, crista do canal

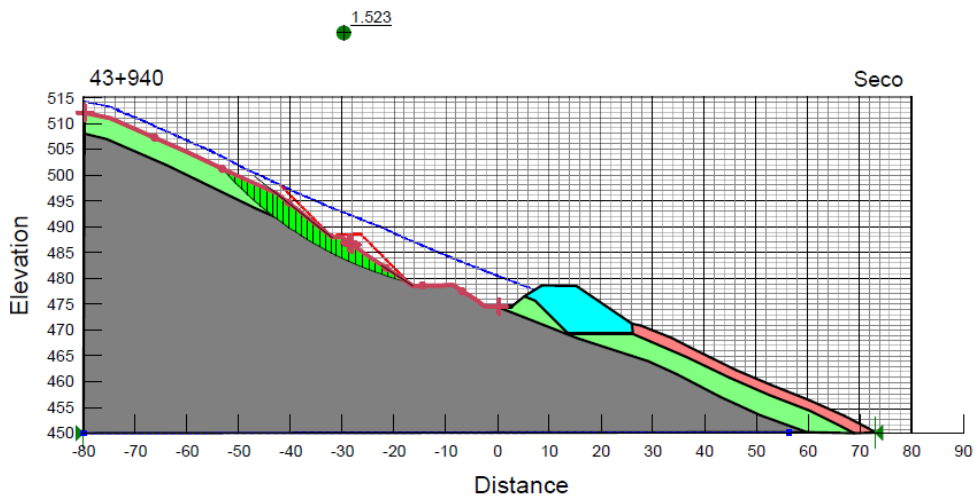


Figura 4.30 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+940: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,70)

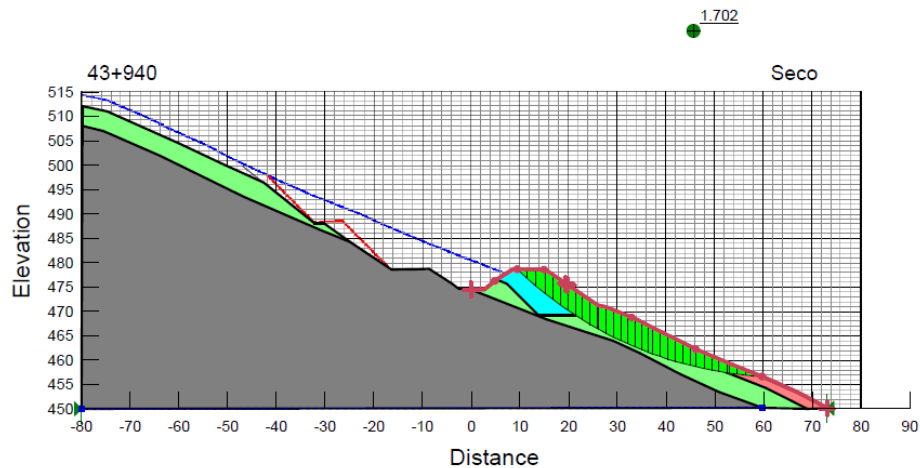


Figura 4.31 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+980: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no solo residual-arenito (FS=1,249), estando previstos drenos DHP

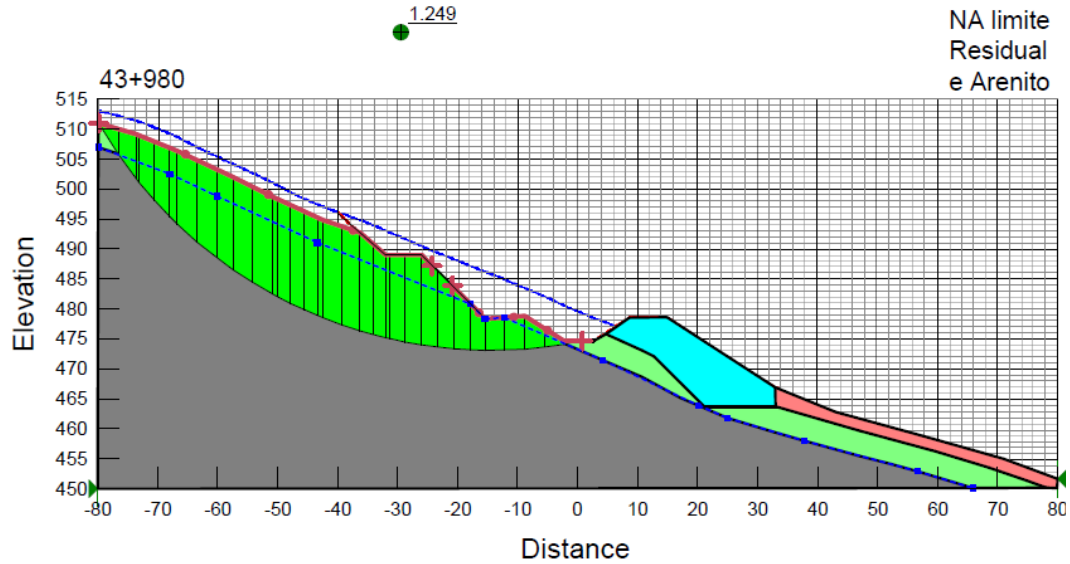


Figura 4.32 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+980: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA seco (FS=1,493), estando previstos drenos DHP a partir da berma, crista do canal

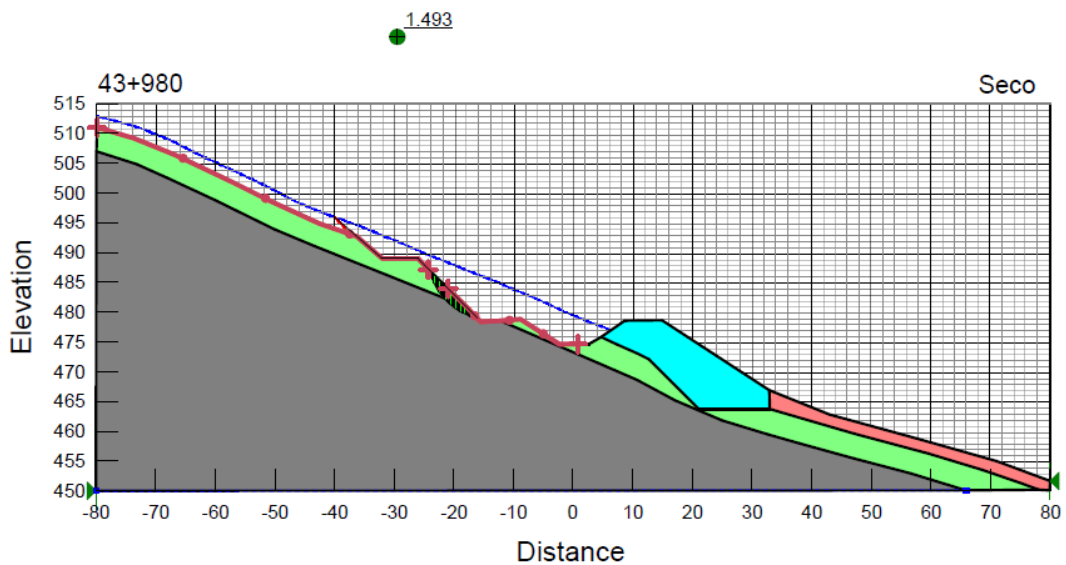


Figura 4.33 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+980:Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,625).

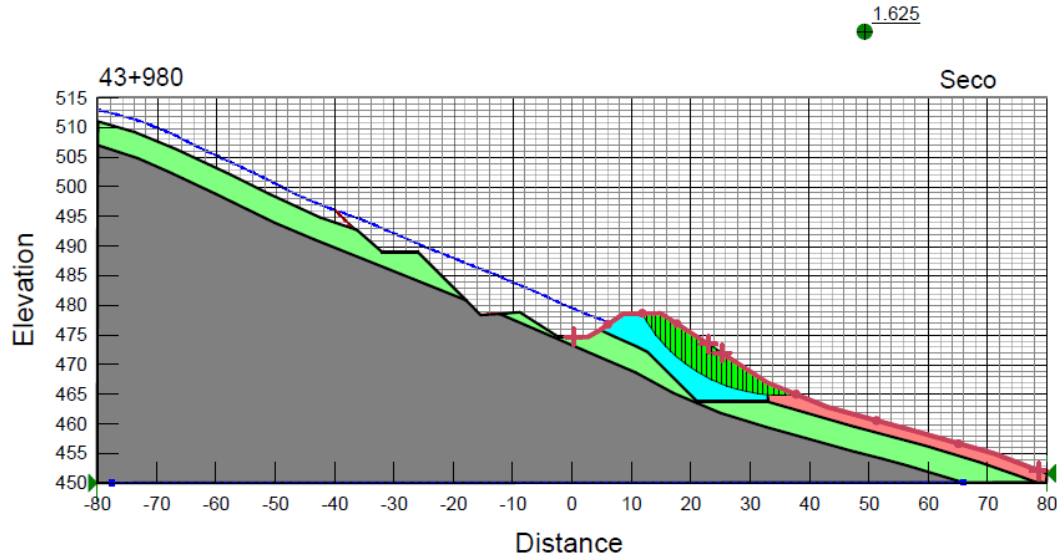


Figura 4.34 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+060: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no solo residual-arenito (FS=1,730) com NA seco (FS=1,738)

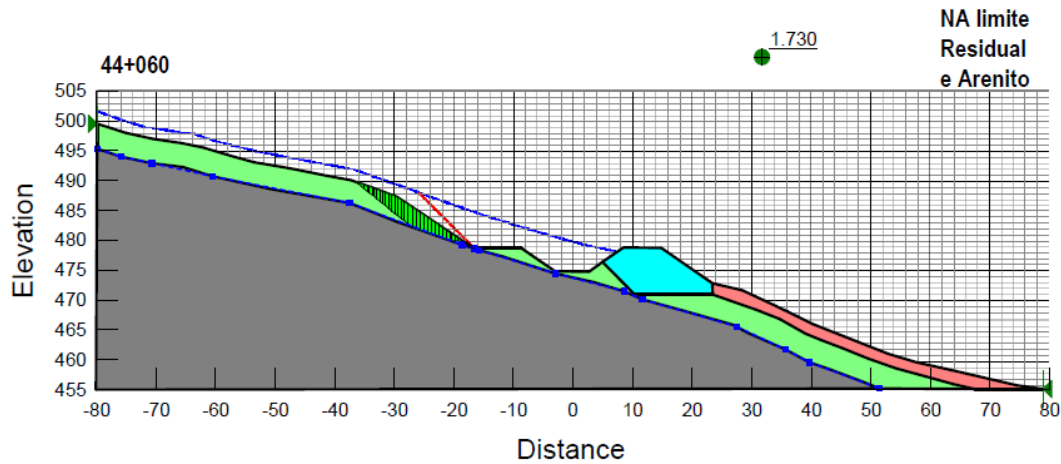


Figura 4.35 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 43+060:Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA no solo residual-arenito (FS=1,884).

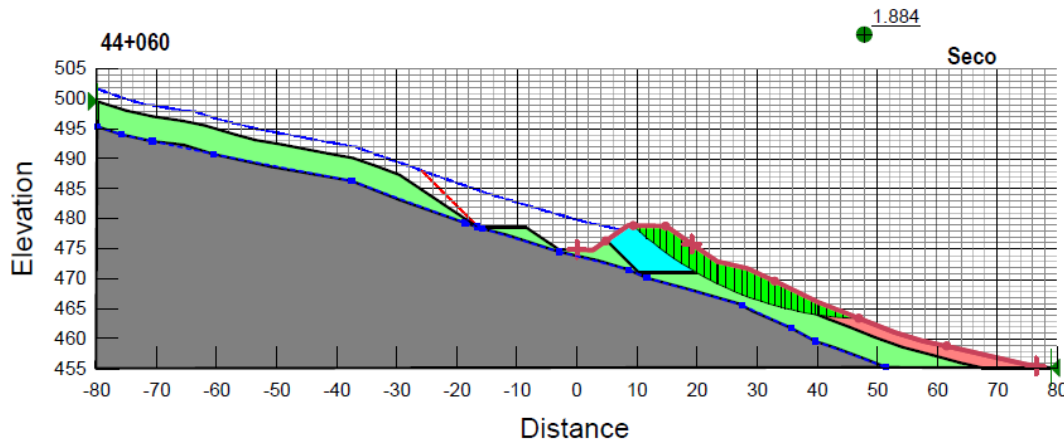


Figura 4.36 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+100: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no solo residual-arenito (FS=1,476)

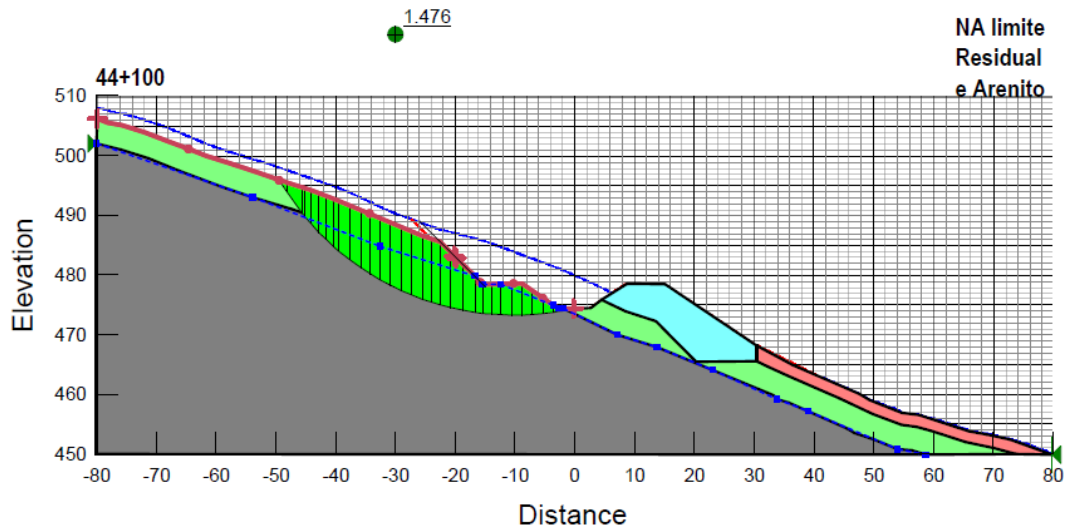


Figura 4.37 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+100: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no seco (FS=1,618)

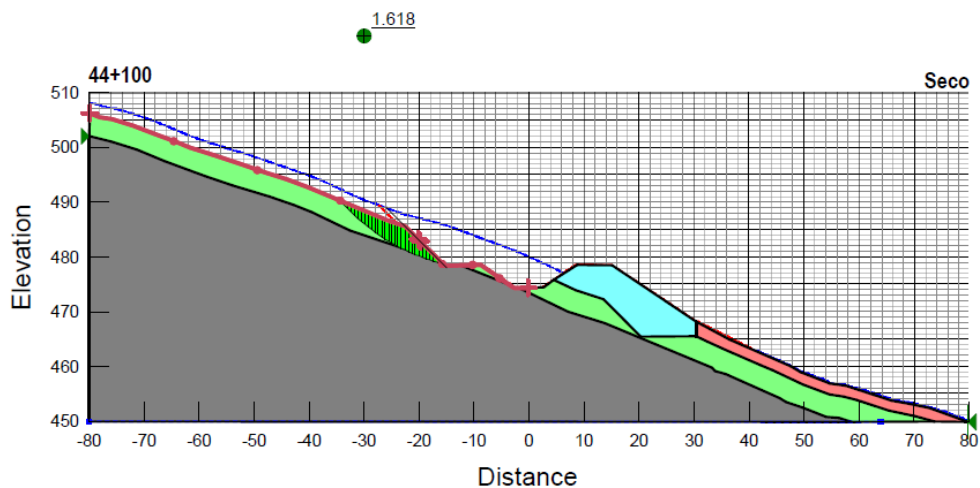


Figura 4.38 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+100: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,575).

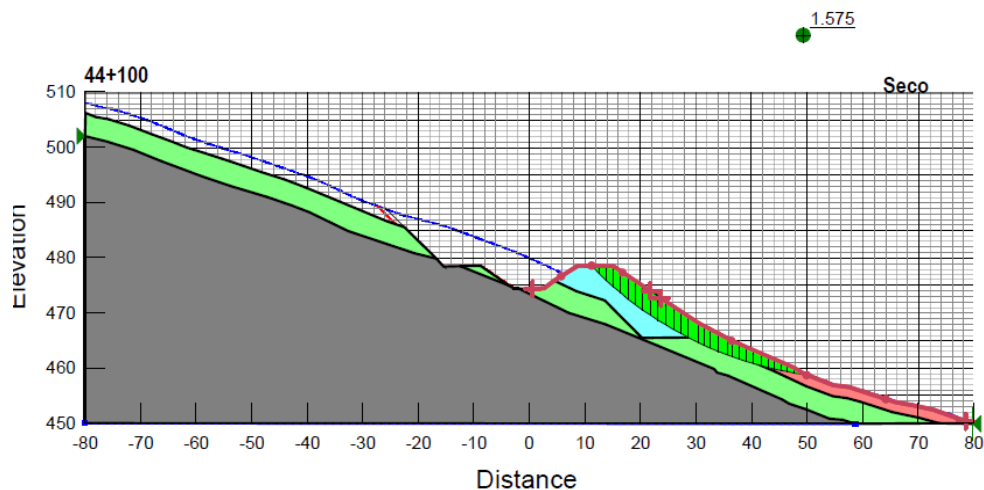


Figura 4.39 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+180: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no solo residual-arenito (FS=1,154), estando previstos drenos DHP

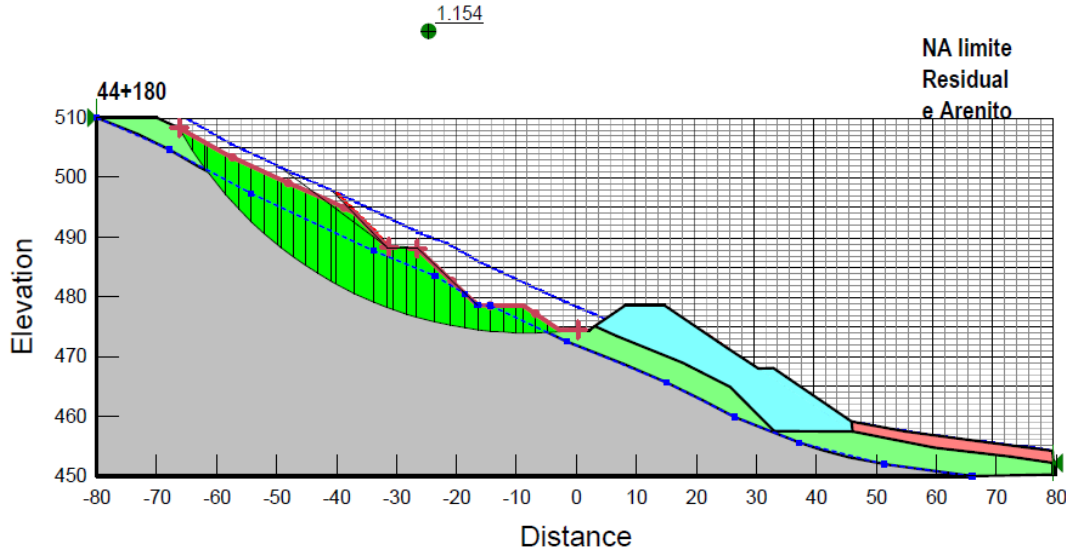


Figura 4.40 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+180: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA seco (FS=1,463), estando previstos drenos DHP a partir da berma, crista do canal

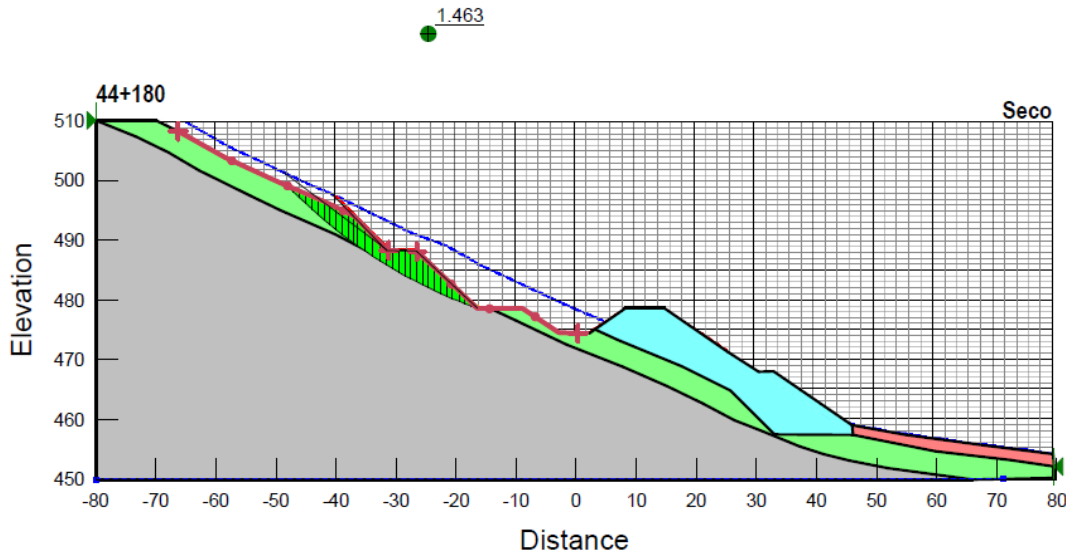


Figura 4.41 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+180: Tramo esquerdo do Canal em corte de média declividade compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,616)

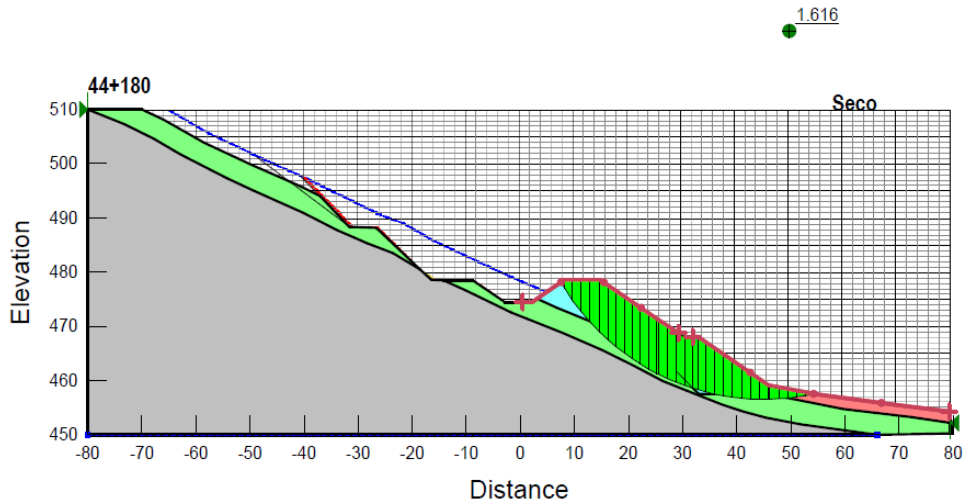


Figura 4.42 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+220: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no solo residual-arenito (FS=1,314), estando previstos drenos DHP.

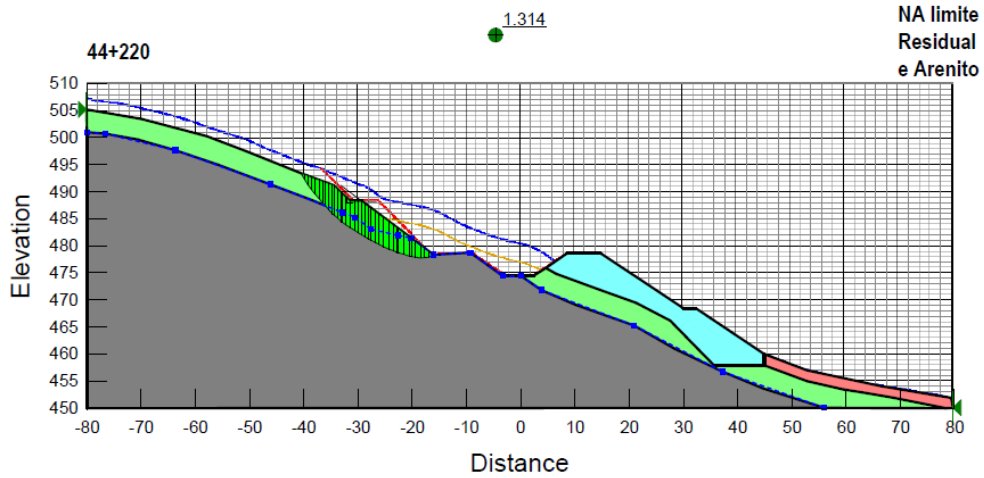


Figura 4.43 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+220: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA seco (FS=1,603), estando previstos drenos DHP, a partir da berma, crista do canal

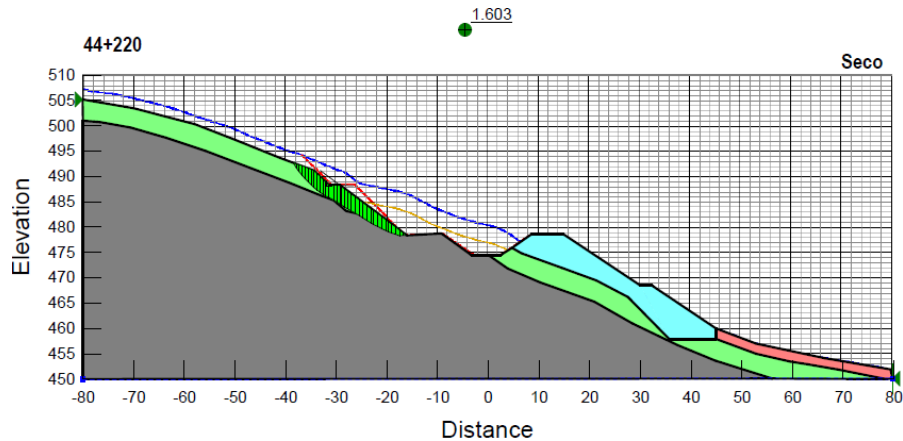


Figura 4.44 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+220: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,552).

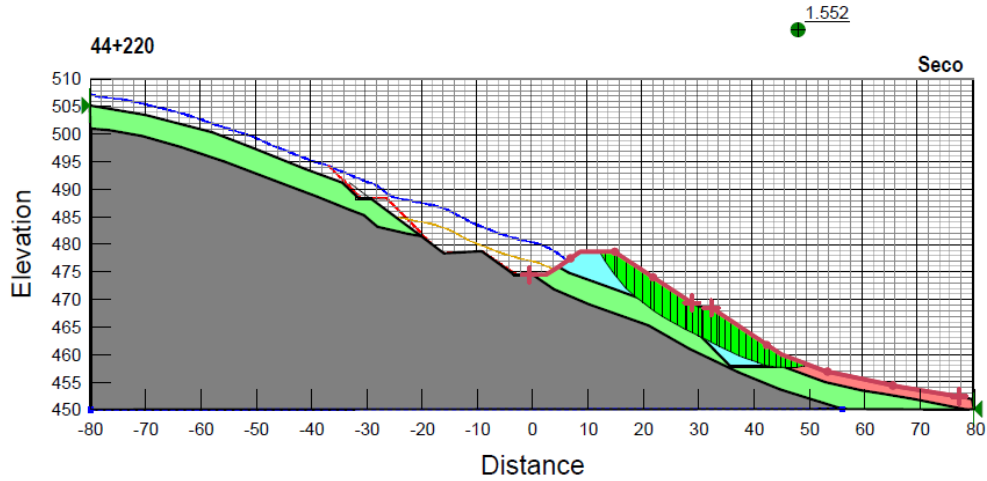


Figura 4.45 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+320: Tramo direito do Canal em corte de média declividade (ajustar) média declividade, com NA no solo residual-arenito (FS=1,363), será avaliada a necessidade de drenos DHP.

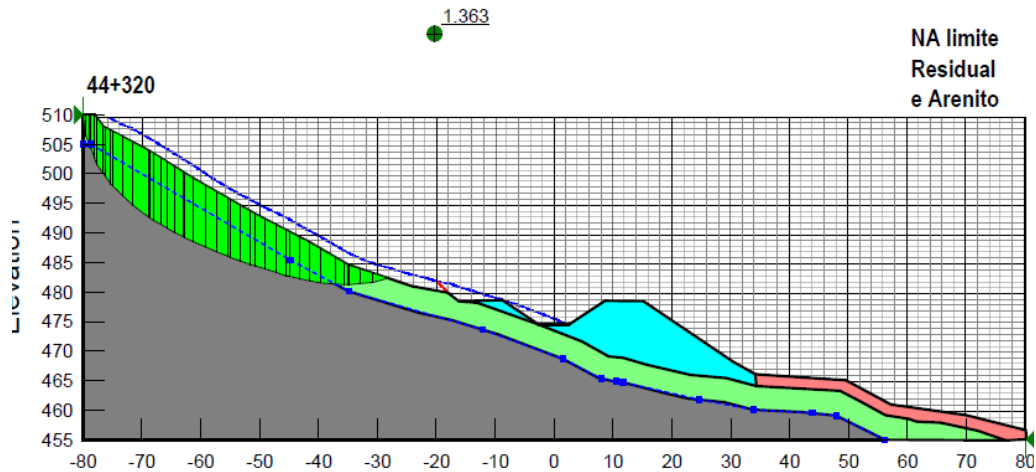


Figura 4.46 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+320: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS=1,538)

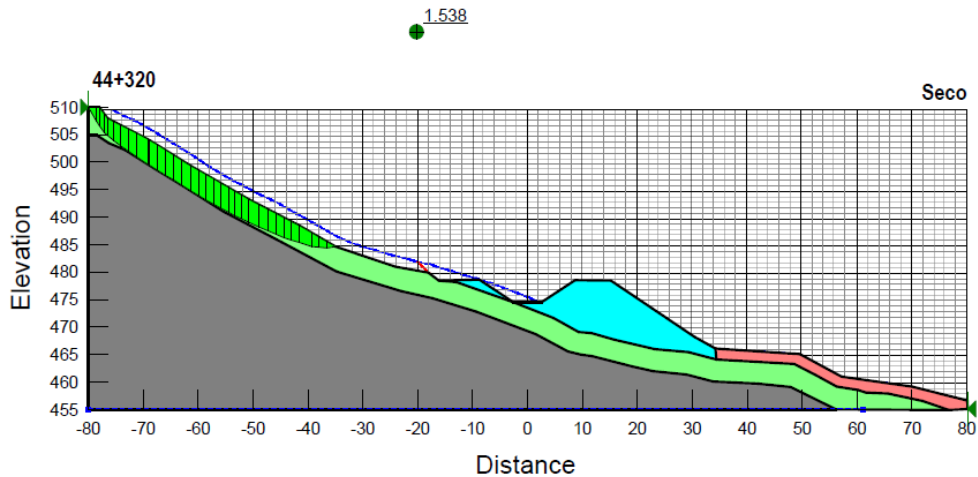


Figura 4.47 - Lote 2 Desvio 4– Seção km 44+320: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,718).

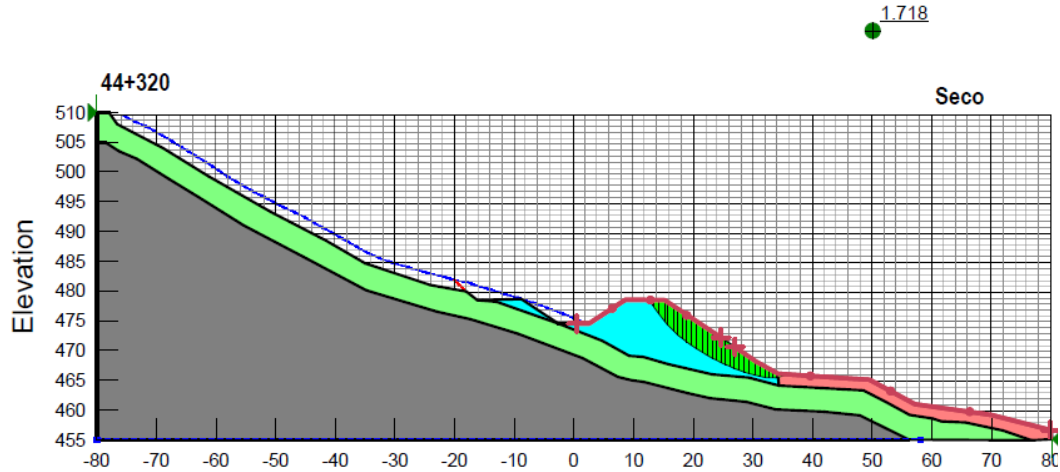


Figura 4.48 - Lote 2 Desvio 4 – Gráfico síntese dos resultados das análises de estabilidade das seções do talude externo do aterro compactado.

Superfície de Ruptura no Talude Direito do Canal (s/ N.A.) - Terreno Natural	
ESTACA	F.S.
43+900	1.74
43+940	1.79
43+980	2.39
44+060	1.99
44+100	2.00
44+180	1.96
44+220	1.74

Superfície de Ruptura no Talude Direito do Canal (N.A. lim. residual) - Terreno Natural	
ESTACA	F.S.
43+900	1.74
43+940	1.79
43+980	2.34
44+060	1.99
44+100	2.00
44+180	1.96
44+220	1.74

Superfície de Ruptura no Talude Direito do Canal (s/ N.A.) SOLUÇÃO	
ESTACA	F.S.
43+900	1.69
43+940	1.70
43+980	1.63
44+060	1.88
44+100	1.58
44+180	1.62
44+220	1.55

Superfície de Ruptura no Talude Direito do Canal (N.A. lim. residual) SOLUÇÃO	
ESTACA	F.S.
43+900	1.69
43+940	1.70
43+980	1.63
44+060	1.88
44+100	1.58
44+180	1.62
44+220	1.55

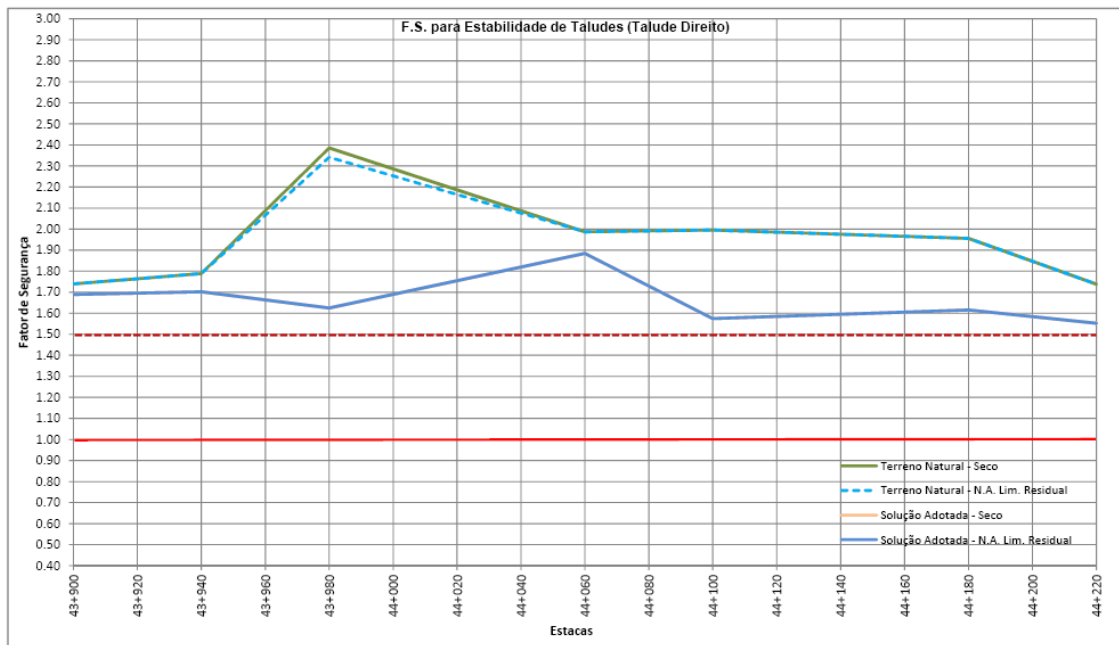




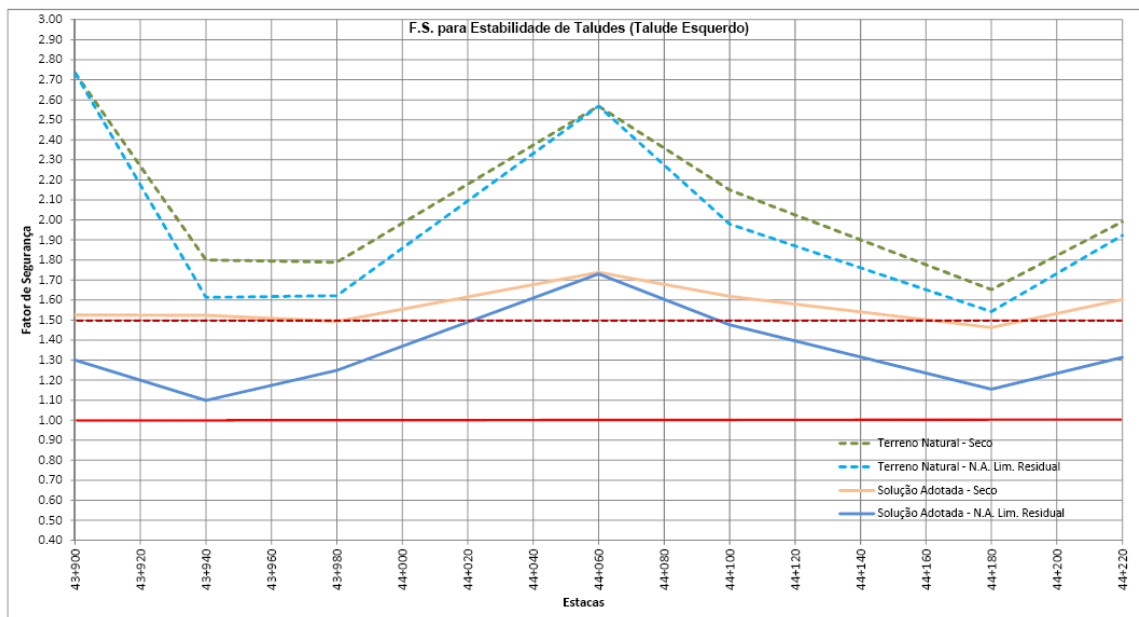
Figura 4.49 - Lote 2 Desvio 4 – Gráfico síntese dos resultados das análises de estabilidade das seções em corte, tramo direito do canal.

Superfície de Ruptura no Talude Esquerdo do Canal (s/ N.A.) - Terreno Natural	
ESTACA	F.S.
43+900	2.74
43+940	1.80
43+980	1.79
44+060	2.57
44+100	2.15
44+180	1.65
44+220	1.99

Superfície de Ruptura no Talude Esquerdo do Canal (N.A. lim. residual) - Terreno Natural	
ESTACA	F.S.
43+900	2.74
43+940	1.61
43+980	1.62
44+060	2.57
44+100	1.98
44+180	1.54
44+220	1.92

Superfície de Ruptura no Talude Esquerdo do Canal (s/ N.A.) SOLUÇÃO	
ESTACA	F.S.
43+900	1.52
43+940	1.52
43+980	1.49
44+060	1.74
44+100	1.62
44+180	1.46
44+220	1.60

Superfície de Ruptura no Talude Esquerdo do Canal (N.A. lim. residual) - SOLUÇÃO	
ESTACA	F.S.
43+900	1.30
43+940	1.10
43+980	1.25
44+060	1.73
44+100	1.48
44+180	1.15
44+220	1.31



Lote Desvio 5 – Trecho com de 1.334m de comprimento, entre as estacas km 46+571,46 a 47+705,34, foi considerada a remoção da capa superficial de solo coluvial com blocos de arenito e eventual material orgânico, com o tramo direito do canal incorporado com corte em encosta de média a elevada declividade, e o tramo esquerdo do canal com taludes definitivos em solo compactado, com ajustes da fundação (pequenos cortes do solo residual - escalonamento), para facilitar a implantação do aterro, associado com eventual proteção no pé, com gabião ou simples enrocamentos.



Quadro 4.7. Lote 2 – Desvio 4: Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 4 - Lote 02 (E-43+853.04 A E-44+260.27)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico NATURAL	FS crítico Solução	Características dos Materiais												Modificação Sugerida:
					Colúvio			Residual			Arenito			Aterro			
					d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
43+900	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2,735	1,524	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1:1 + Berma 6m + Talude 1:1 - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2,735	1,300	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1,740	1,889	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1,740	1,889	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
43+940	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,744	1,523	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1 até TN - Sem Colúvio - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1,613	1,098	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1,788	1,702	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1,788	1,702	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
43+980	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,788	1,493	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1:1 - DHP - Sem Colúvio
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1,622	1,249	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	2,388	1,825	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	2,342	1,825	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
44+060	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2,568	1,738	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1:1 - Sem Colúvio
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2,568	1,730	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1,987	1,884	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1,987	1,884	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
44+100	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2,149	1,818	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1:1 - Sem Colúvio
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1,979	1,476	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1,996	1,575	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1,996	1,575	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
44+180	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,652	1,483	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1:1 + Berma 6m + Talude 1:1 - DHP - Sem colúvio
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1,542	1,154	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1,956	1,816	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1,956	1,816	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
44+220	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,991	1,803	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1:1 -DHP - Sem Colúvio
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1,923	1,314	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1,738	1,552	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1,738	1,552	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	

Figura 4.50 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+574: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA no solo residual-arenito (FS=1,022). Necessidade de dreno DHP.

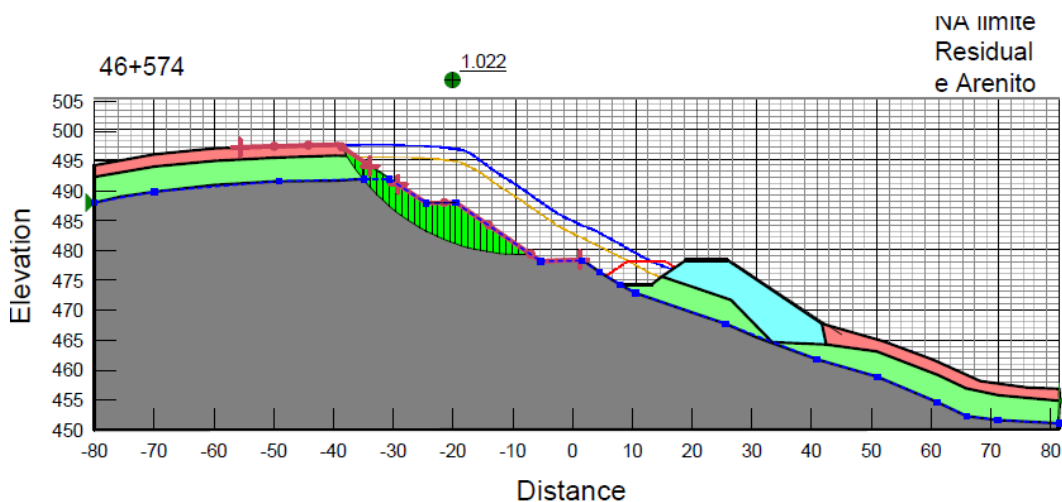


Figura 4.51 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+574: Tramo direito do Canal em corte de média declividade com NA seco (FS=1,563), estando previstos drenos DHP, a partir da berma, crista do canal.

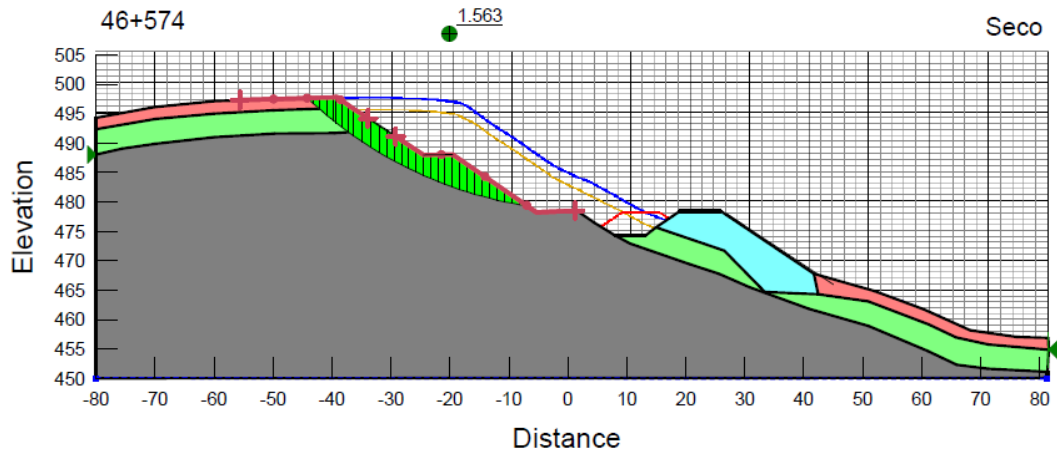


Figura 4.52 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+574: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,687).

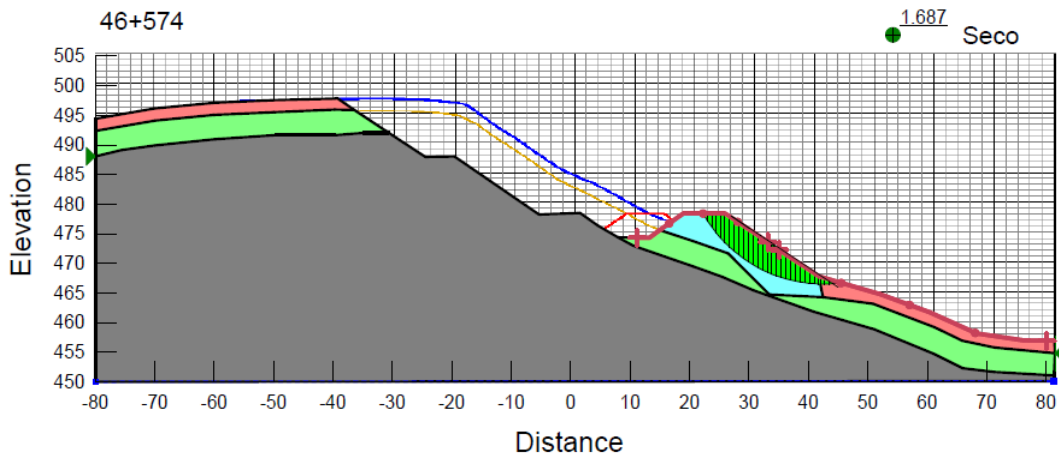


Figura 4.53 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+660: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no contato solo residual com o arenito (FS= 0,884). Necessidade de dreno DHP.

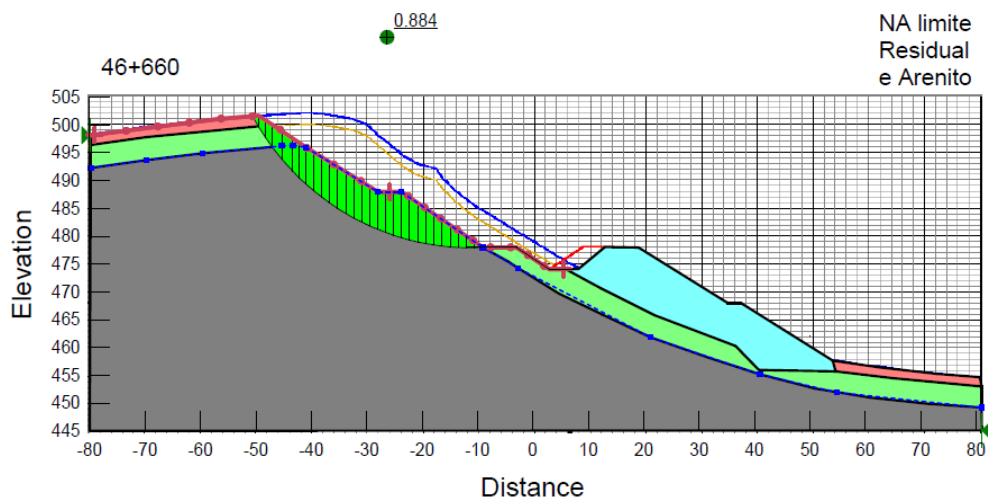


Figura 4.54 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+660: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS= 1,456), estando previstos drenos DHP, a partir da berma, crista do canal.

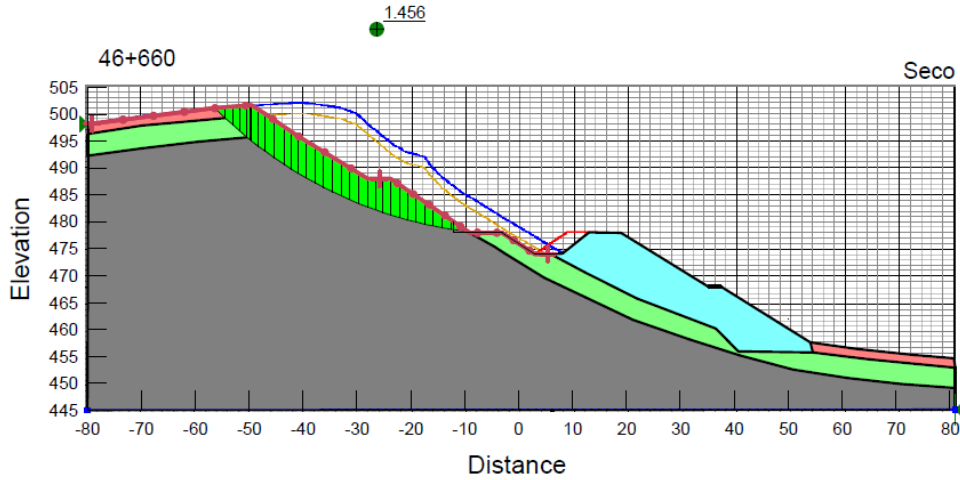


Figura 4.55 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+660: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,639).

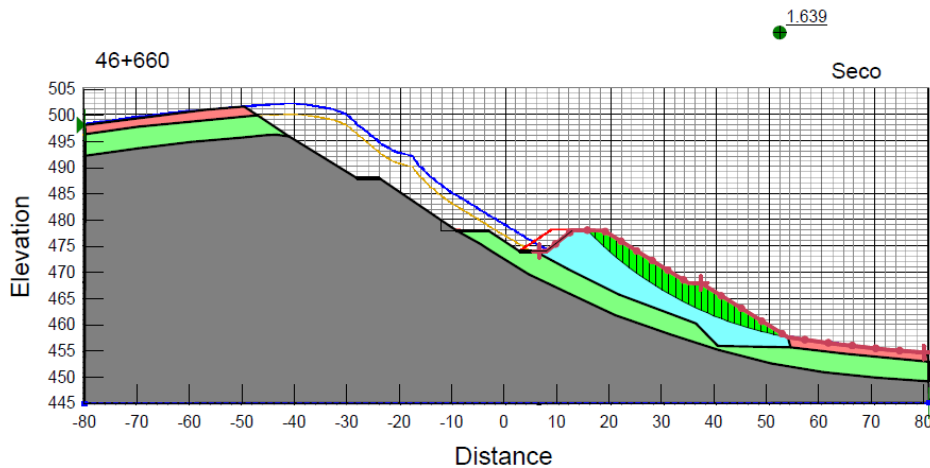


Figura 4.56 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+840: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no contato solo residual com o arenito (FS= 0,841). Necessidade de dreno DHP.

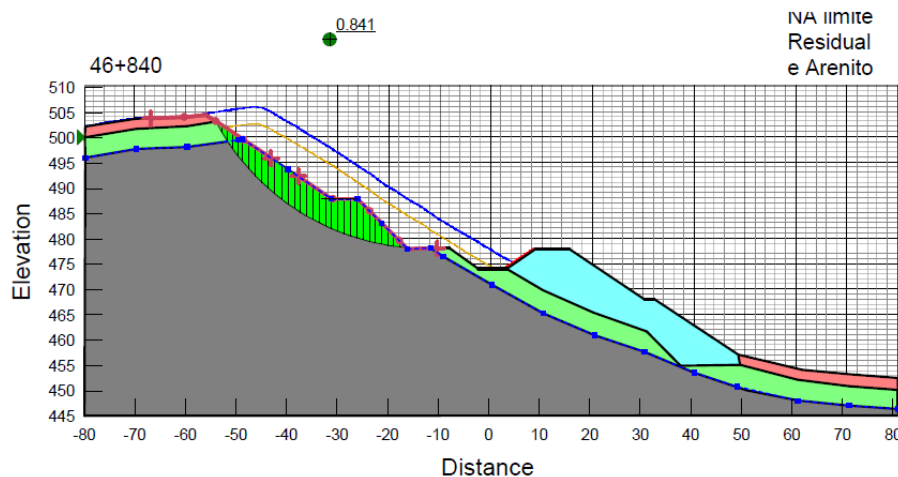


Figura 4.57 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+840: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS= 1,502), estando previstos drenos DHP, a partir da berma, crista do canal.

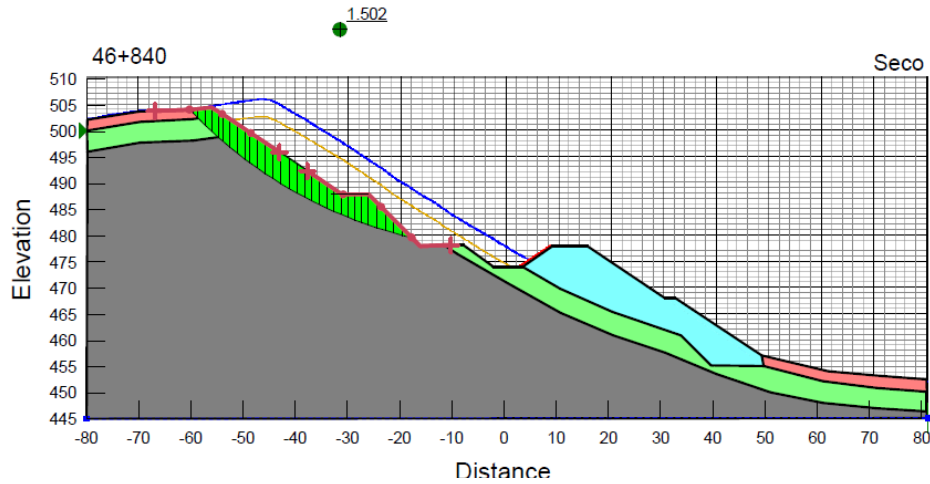


Figura 4.58 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+840: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,553).

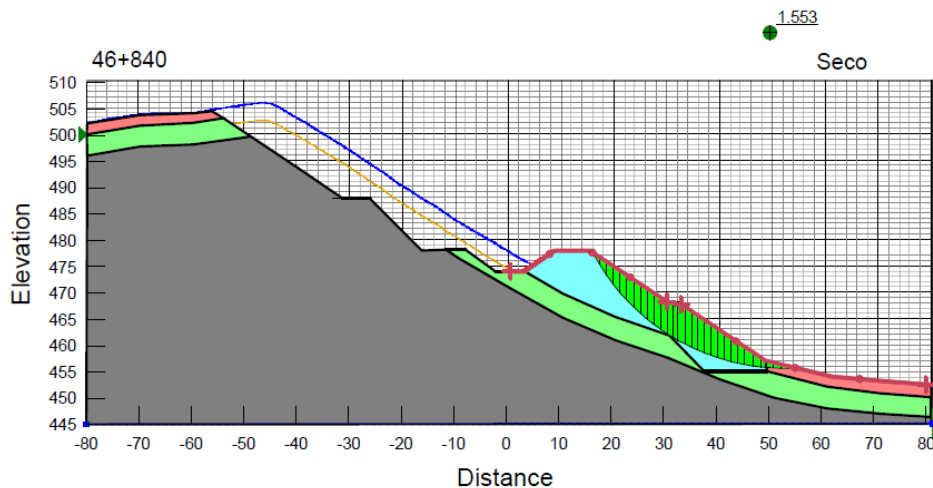


Figura 4.59 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+960: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no contato solo residual com o arenito (FS= 0,852). Necessidade de dreno DHP.

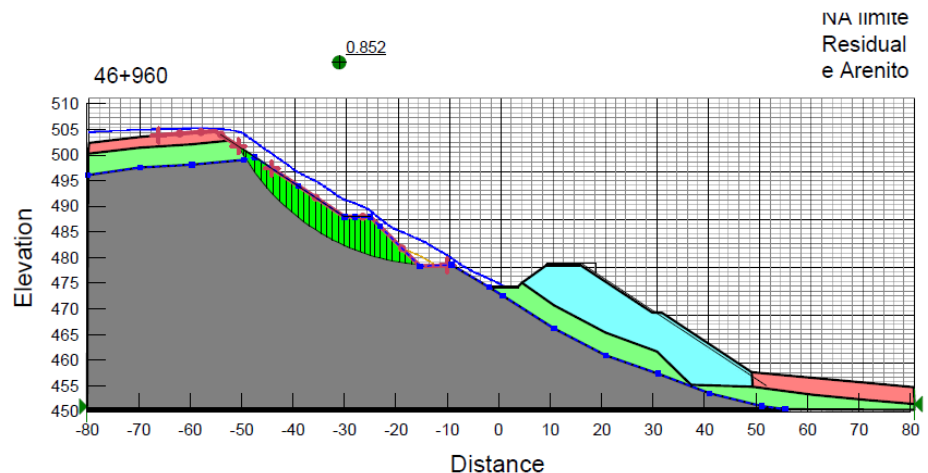


Figura 4.60 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+960: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS= 1.503). Estando previstos drenos DHP, a partir da berma, crista do canal.

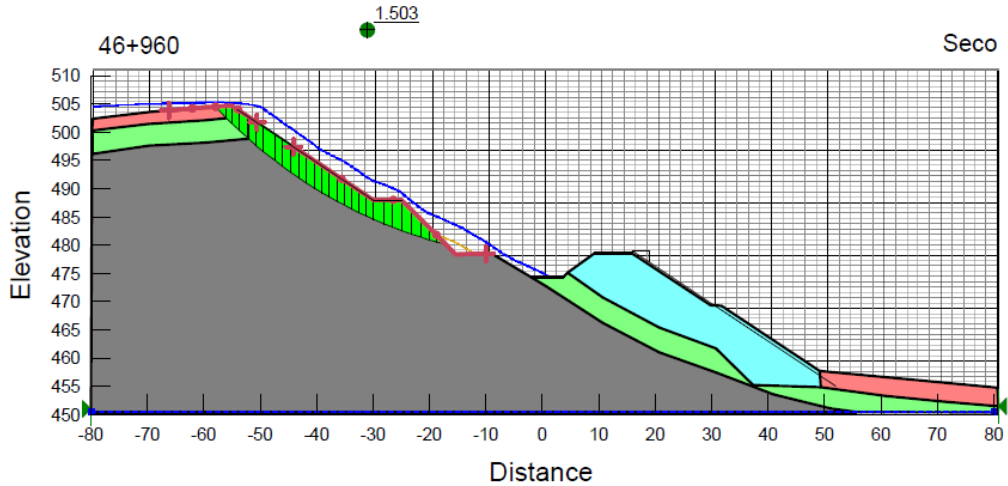


Figura 4.61 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 46+960: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,560).

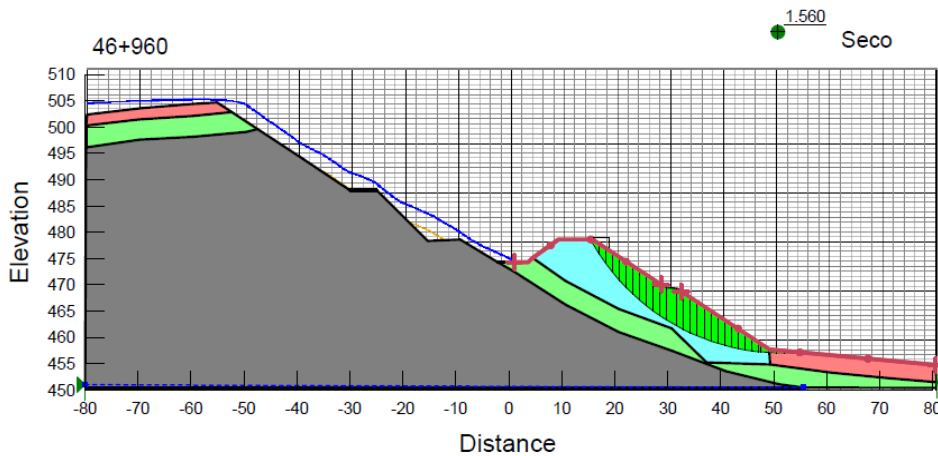


Figura 4.62 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 47+020: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no contato solo residual com o arenito (FS= 1,417).

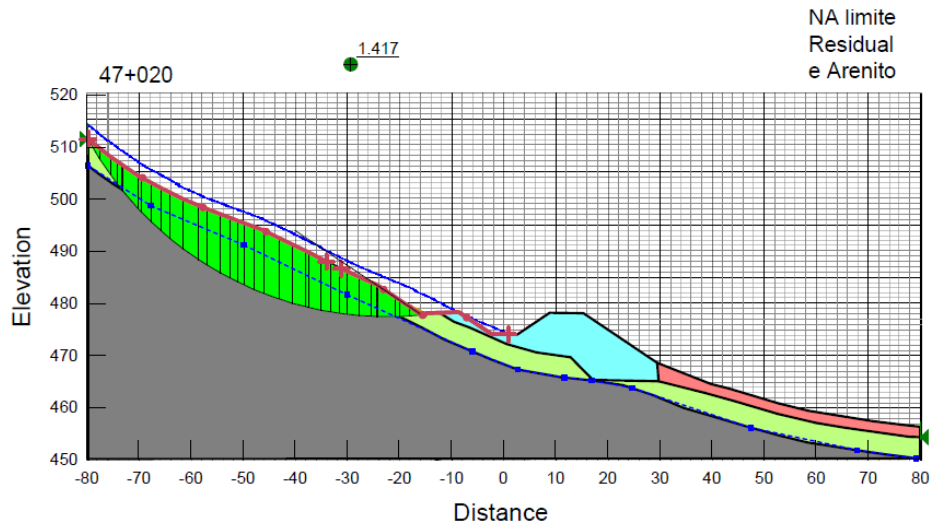


Figura 4.63 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 47+020: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS= 1,688).

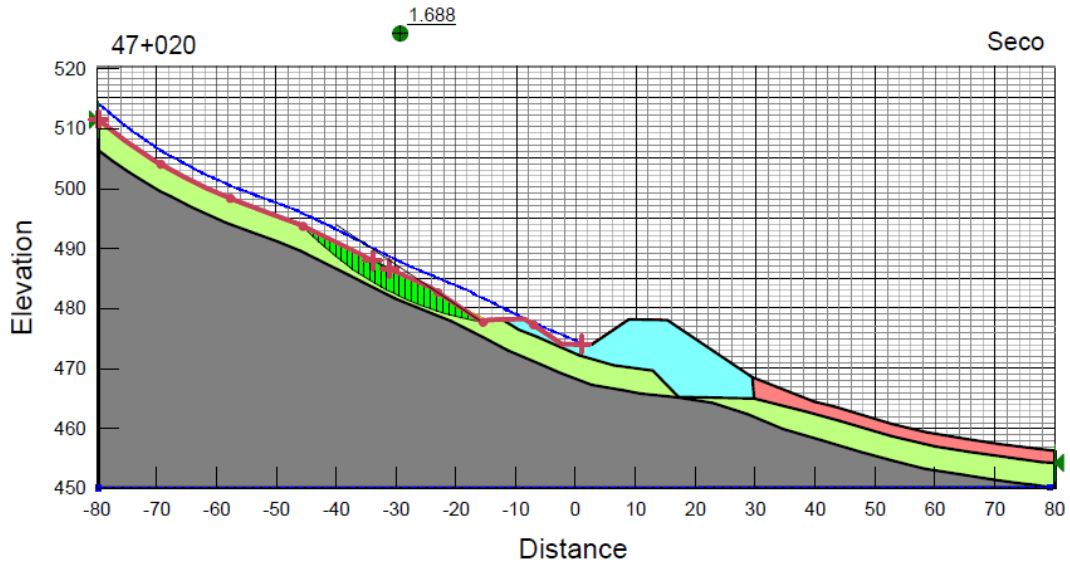


Figura 4.64 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 47+020: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,724).

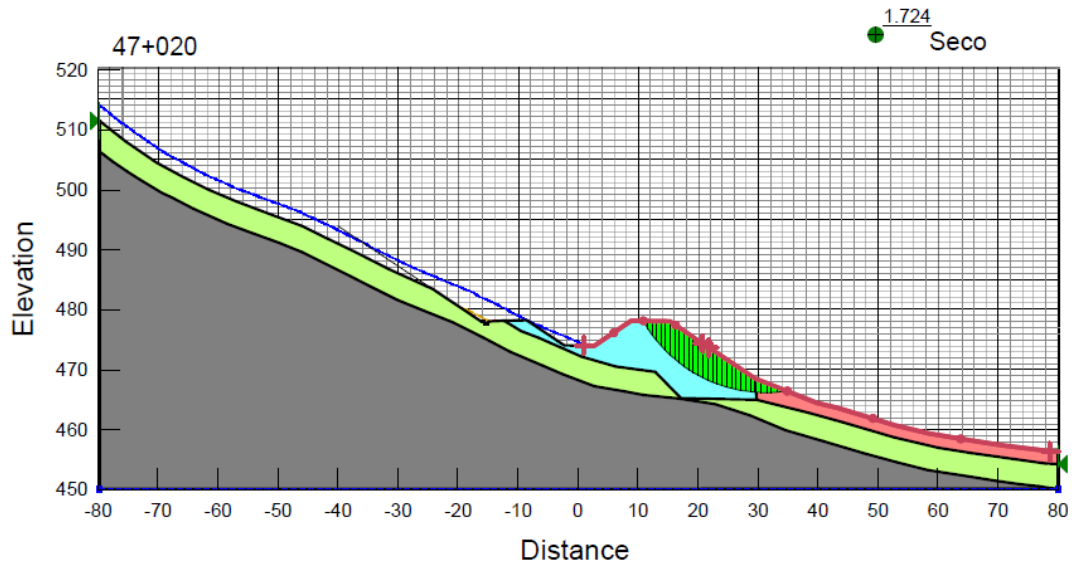


Figura 4.65 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 47+140: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no contato solo residual com o arenito (FS= 0,901).

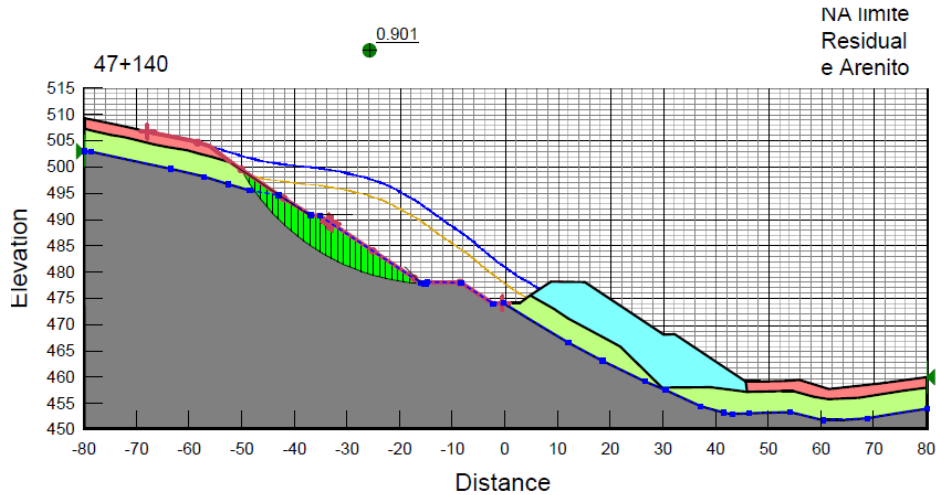


Figura 4.66 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 47+140: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA seco (FS= 1,507), estando previstos drenos DHP, a partir da berma, crista do canal.

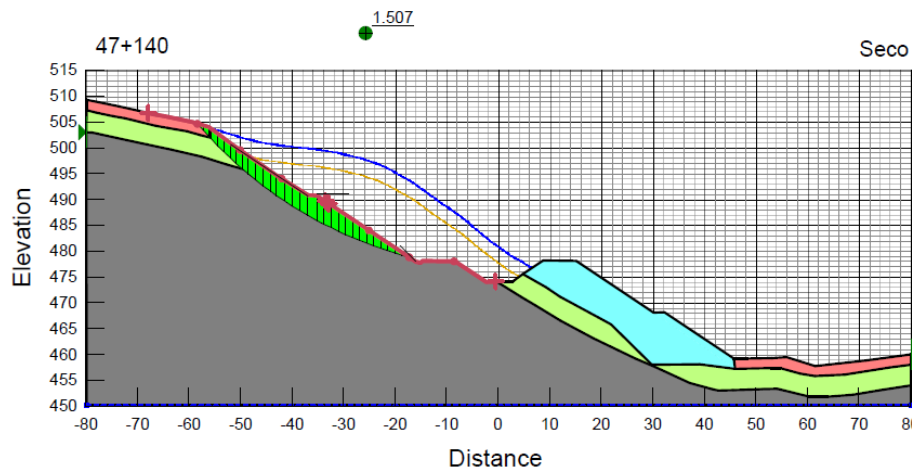
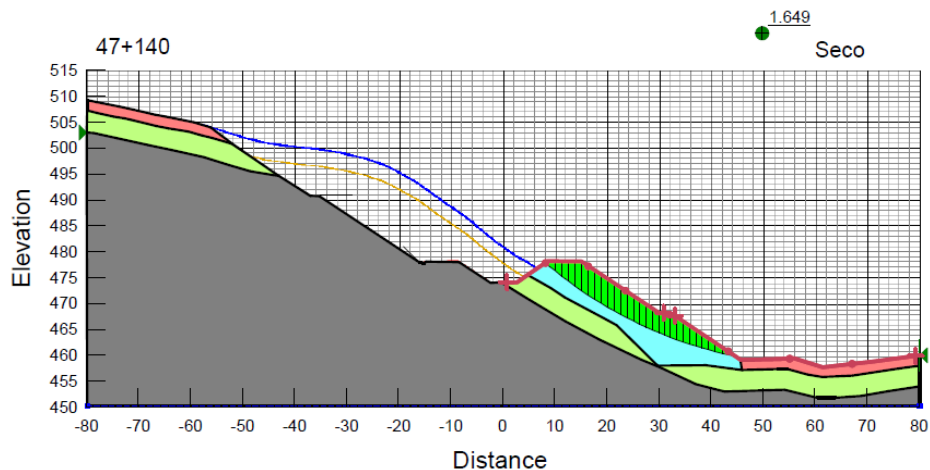


Figura 4.67 - Lote 2 Desvio 5– Seção km 47+140: Tramo esquerdo do Canal em corte – aterro compactado incorporado em encosta de média declividade, com NA seco (FS=1,649).





Quadro 4.8 - Lote 2 – Desvio 5: Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 5 - Lote 02 (E-48+600 A E-48+000)

ESTACA	Análise de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS critério NATURAL	FS critério Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução adotada
					COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
					d (kN)	e (kPa)	φ	d (kN)	e (kPa)	φ	d (kN)	e (kPa)	φ	d (kN)	e (kPa)	φ	
46574 (46574 a 46650)	ANÁLISE 1.1	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. Sem Água	1.517	2.305	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio de 10m. Com Colúvio, talude 1,5:1, berma 5m e talude 1,5:1 até o T.N
	ANÁLISE 1.2	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. NA no Arenito	1.319	1.619	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo Sem Água	1.499	1.566	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.420	1.024	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura do Talude Direto Sem Água	2.208	1.489	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura do Talude Direto N.A no Arenito	1.968	1.458	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
46650 (46650 a 46930)	ANÁLISE 1.1	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. Sem Água	1.234	1.896	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio de 5m, Sem Colúvio, talude 1,5:1, berma 5m e talude 1,5:1 até o T.N
	ANÁLISE 1.2	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. NA no Arenito	1.013	1.419	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo Sem Água	1.245	1.442	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.010	0.976	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura do Talude Direto Sem Água	2.428	1.420	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura do Talude Direto N.A no Arenito	2.299	1.420	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
46930 (46930 a 46950)	ANÁLISE 1.1	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. Sem Água	1.361	2.136	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Com Colúvio, talude 1:1, berma 5m e talude 1,5:1 até o T.N
	ANÁLISE 1.2	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. NA no Arenito	1.361	1.615	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo Sem Água	1.298	1.504	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.170	0.843	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura do Talude Direto Sem Água	2.223	1.423	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura do Talude Direto N.A no Arenito	2.223	1.423	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
46950 (46950 a 46990)	ANÁLISE 1.1	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. Sem Água	1.467	2.168	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Com Colúvio, talude 1:1, berma 5m e talude 1,5:1 até o T.N
	ANÁLISE 1.2	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. NA no Arenito	1.467	1.694	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo Sem Água	1.416	1.506	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.383	0.852	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura do Talude Direto Sem Água	1.963	1.433	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura do Talude Direto N.A no Arenito	1.963	1.433	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
47020 (46990 a 47110)	ANÁLISE 1.1	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. Sem Água	1.761	2.902	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Sem Colúvio, talude 1,5:1 até o T.N
	ANÁLISE 1.2	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. NA no Arenito	1.745	2.481	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo Sem Água	2.345	1.678	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.910	1.526	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura do Talude Direto Sem Água	2.683	1.483	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura do Talude Direto N.A no Arenito	2.683	1.483	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
47140 (47110 a 47210)	ANÁLISE 1.1	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. Sem Água	1.270	2.228	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Com Colúvio, talude 1:1, berma 5m e talude 1,5:1 até o T.N
	ANÁLISE 1.2	Superfície de ruptura sob a projeção do canal. NA no Arenito	1.156	1.747	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo Sem Água	1.251	1.609	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura do Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.145	0.918	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura do Talude Direto Sem Água	1.810	1.460	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura do Talude Direto N.A no Arenito	1.810	1.460	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	

Lote 2 Desvio 6 – Trecho com de 1.744m de comprimento, entre as estacas km 55+370,78 a 57+114,93, foi considerada a remoção da capa superficial de solo coluvial com blocos de arenito e eventual material orgânico, com o tramo direito do canal incorporado com corte em encosta de média a elevada declividade, e o tramo esquerdo do canal com taludes definitivos em solo compactado, com ajustes da fundação (pequenos cortes do solo residual - escalonamento), para facilitar a implantação do aterro, associado com eventual proteção no pé, com gabião ou simples enrocamentos.

Em varias seções, mesmo com o ajuste geométrico do talude, simulações com NA no contato do solo residual com o arenito o FS apresentou-se baixo, próximo de 1. Desta forma previu-se a implantação de dreno DHP no pé do talude junto a crista do canal.

Foram analisadas mais de 40 seções transversais, simulando duas condições: (1) com NA no contato do solo residual com o arenito; (2) com NA seco. Nas Figuras a seguir constam seções típicas do Desvio 6, e no **Quadro 4.9** o Resumo dos resultados das análises de estabilidade deste desvio.

O Desvio 6 apresenta soluções de projeto diversificadas, sintetizadas a seguir de montante para jusante:

- Trecho estacas km 55+370,78 a 55+ 530: O canal se desenvolve em aterro compactado, implantado e terreno plano;
- Trecho estacas km 55+ 530 a 56+030: O canal se desenvolve com tramo direito (sentido do fluxo) em corte de média declividade e, complementado no tramo esquerdo em aterro compactado, sobre terreno de baixa declividade.
- Trecho estacas km 56+030 a 56+250: Solução com Terra Armada na base do aterro do tramo esquerdo do canal (sentido do fluxo).
- Entre as Seções km 56+250 e 56+600: Solução mista de corte – aterro compactado convencional.
- Trecho estacas km 56+600 e 56+700: Solução com Terra Armada na base do aterro do tramo esquerdo do canal (sentido do fluxo).
- Trecho estacas km 56+700 a 57+115: solução mista de corte – aterro compactado convencional.

Figura 4.68 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+590: Tramo direito do Canal em corte de média declividade, com NA no contato solo residual com o arenito (FS= 1,438) e com NA seco (FS= 1,640).

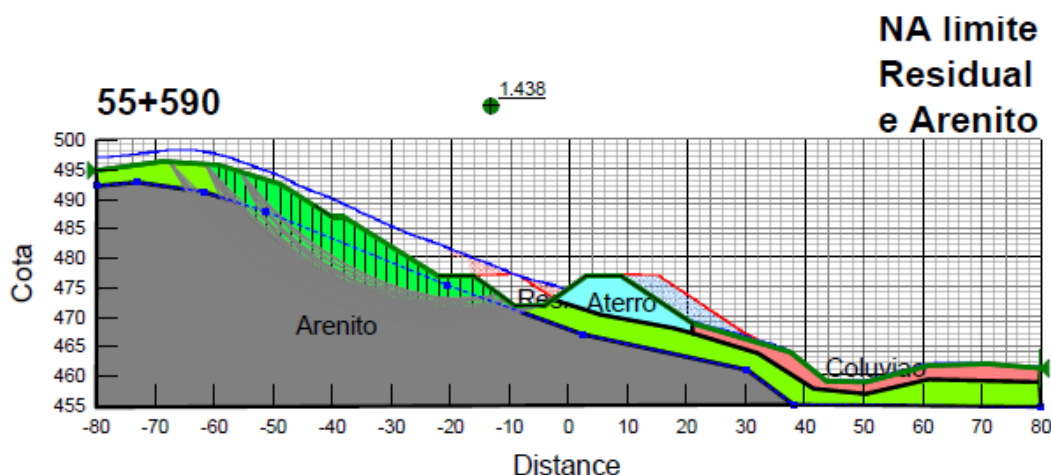


Figura 4.69 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+590: Tramo esquerdo em aterro compactado em encosta de média declividade, com NA no contato do solo residual com o arenito e com NA seco (FS=1,83).

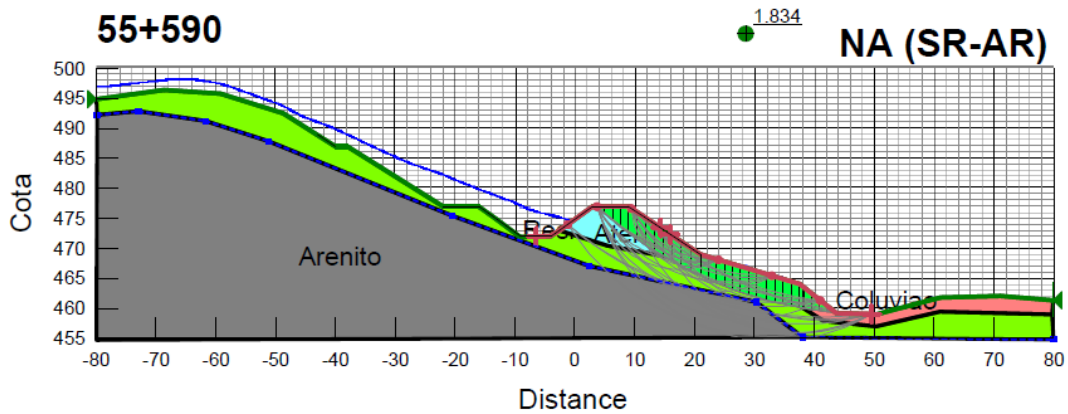


Figura 4.70 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+630: Com remoção do colúvio e pequeno corte no solo residual, em terreno de média declividade, o canal foi implantado em aterro compactado. Análise de estabilidade com NA no contato solo residual-arenito (FS= 1,536) e com NA seco (FS= 1,778).

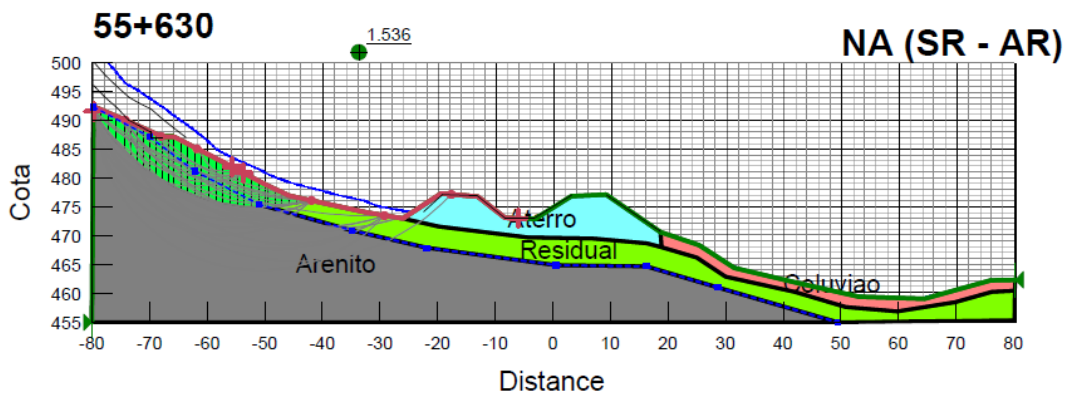


Figura 4.71 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+630: As análise de estabilidade do talude externo esquerdo com NA no contato solo residual-arenito e com NA seco (FS= 1,778).

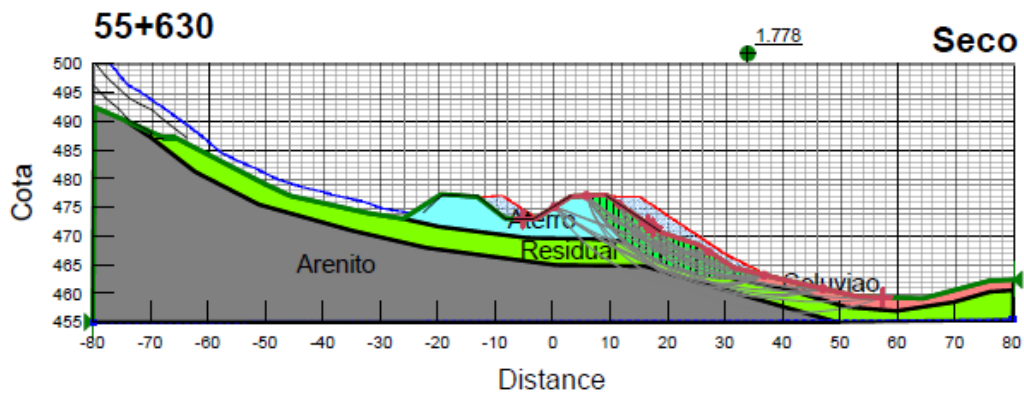
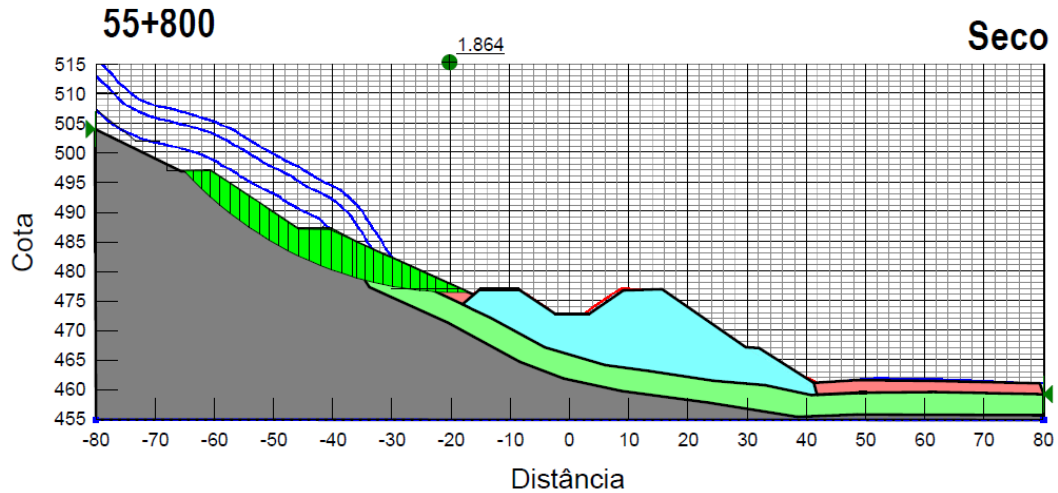
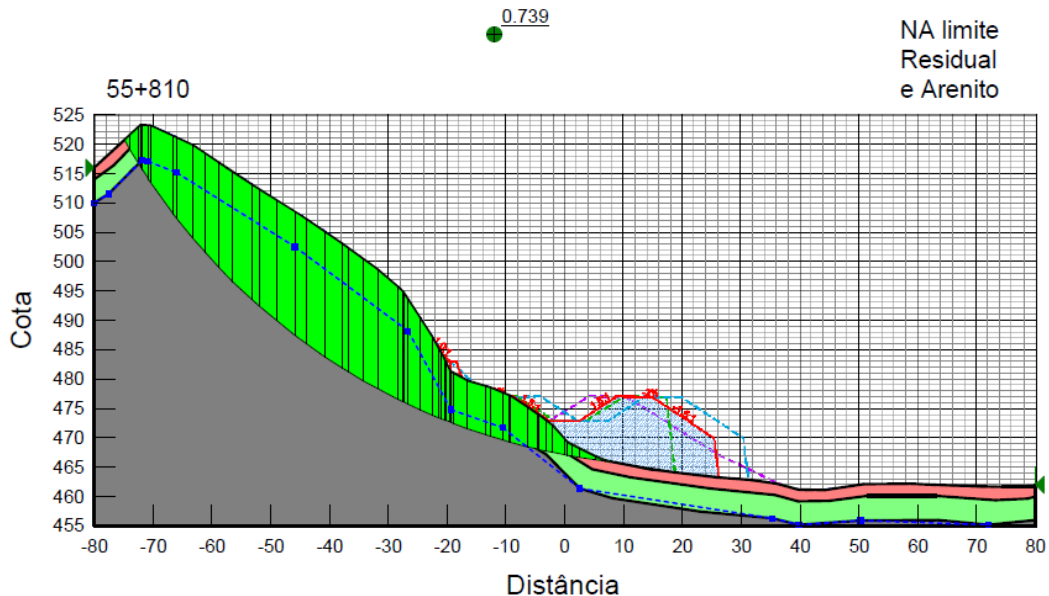


Figura 4.72 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+800: Tramo direito do Canal em corte de elevada declividade e toda seção do canal em aterro compactado. Com o NA no contato com o solo residual-arenito o talude direito retaludado apresenta (FS=1,214), passando para (FS=1,86) com NA seco, prevendo-se a instalação de dreno DHP.



A Seção km 55+810, no tramo direito do canal apresenta encosta de elevada declividade com 25m acima da Área de Preservação Ambiental-APA, apresentando-se instável em sua condição natural (Figura 4.2-73).

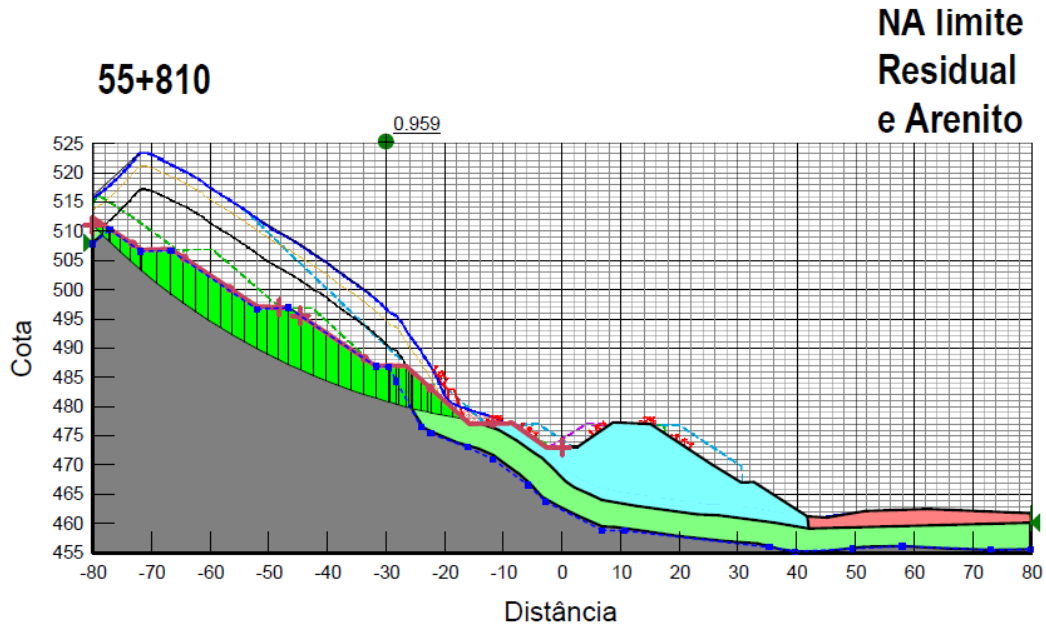
Figura 4.73 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+810: Análise de estabilidade do terreno natural, lado direito sentido fluxo, com o NA no contato com o solo residual-arenito (FS=0,739) e seco (FS=0,751).



Foram estudadas duas soluções neste local:

- A primeira (Figura 4.2-74) o canal foi deslocado da sombra da encosta e esta foi retaludada, com cortes de até 20m de espessura, com o NA no contato do solo residual o talude se apresentou instável (FS=0,96);

Figura 4.74 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+810: Alternativa 1 de desvio, com grande escavação na região da APA



- A segunda solução (Figura 4.2-59), o canal em aterro compactado foi deslocado mais 10m para a esquerda do eixo, tendo sido mantida a condição natural da encosta, inclusive o solo superficial (colúvio) não será escavado, e ainda será executado um pequeno aterro de contenção sobre a berma, no pé da encosta (Figura 4.2-75), para estabilizar uma pequena massa (FS=0,75). Desta maneira se obteve com esta contenção (FS=1,36) e drenado (FS=1,50).

Figura 4.75 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+810: Solução de estabilização do talude junto ao canal com pequeno aterro de contenção

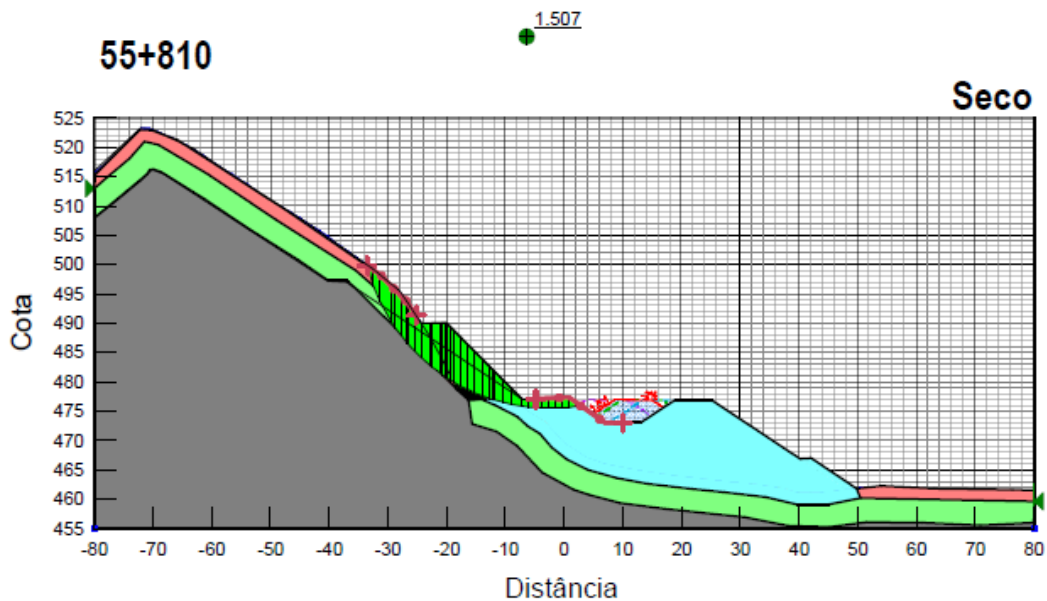


Figura 4.76 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+810: Solução de estabilização do talude junto ao canal com pequeno aterro de contenção. Análise do talude externo esquerdo (FS=1,74)

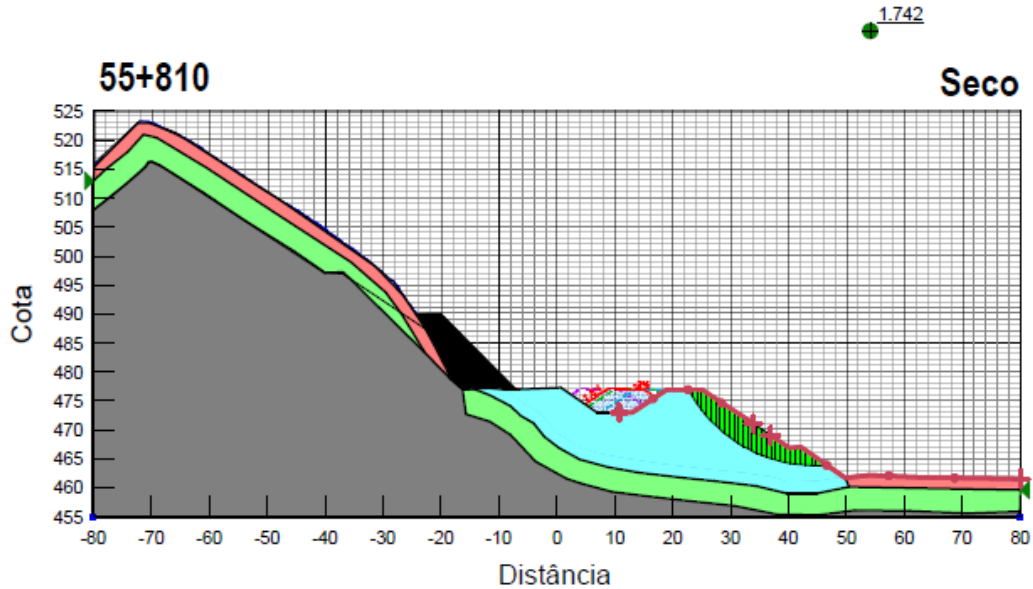


Figura 4.77 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+860: Encosta muito íngreme, estável sem a remoção do colúvio, com pendência de solução para aumento do FS para a fase de operação.

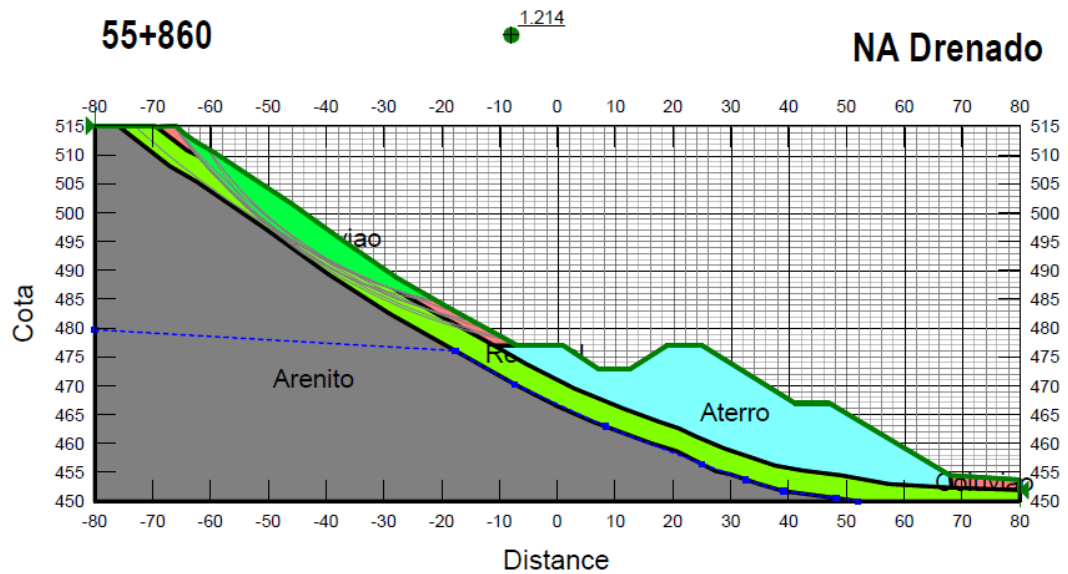


Figura 4.78 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+890: Encosta muito íngreme estável sem a remoção do colúvio (situação Seção km 55+860). Com retaludamento e com instalação de dreno DHP o FS passa no limite.

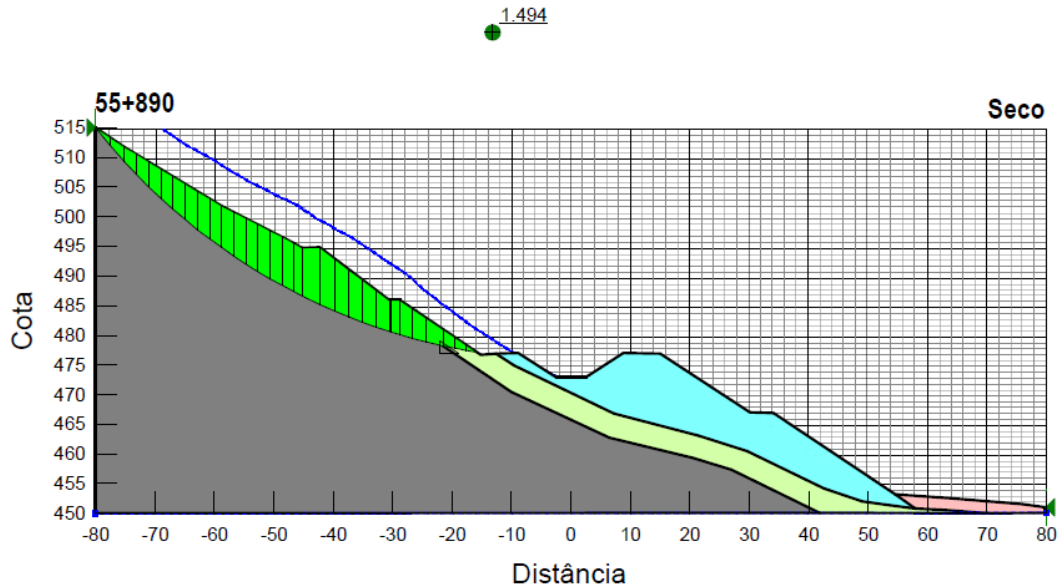


Figura 4.79 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+920: Encosta muito íngreme estável sem a remoção do colúvio (situação Seção km 55+860). Com retaludamento com o NA no contato com o solo residual-arenito (FS=0,852) e seco (FS=1,506), portanto será necessária a instalação de dreno DHP.

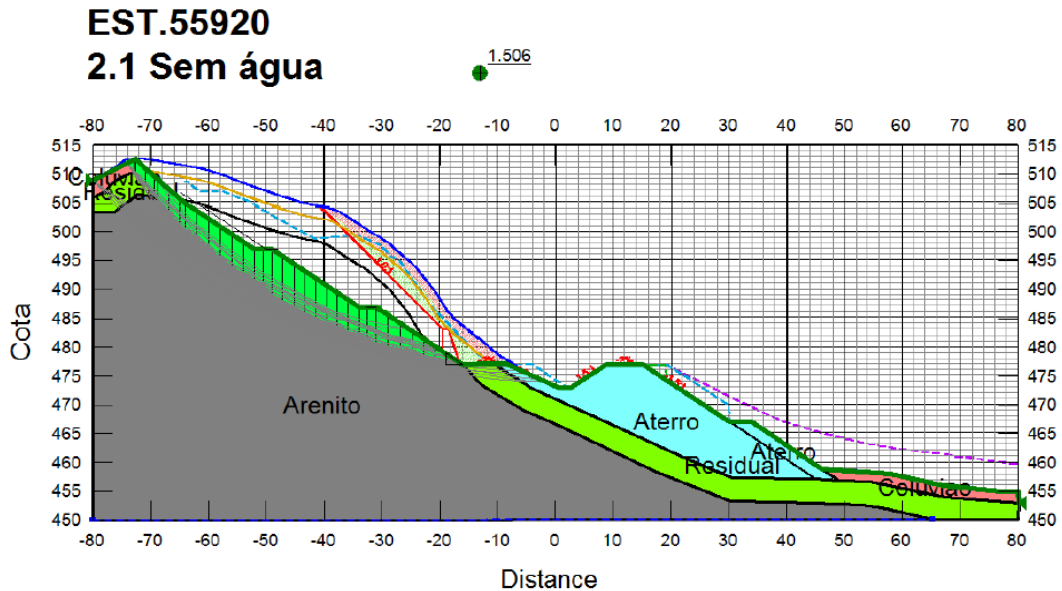


Figura 4.80 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+980: Encosta suave estável sem a remoção do colúvio e com o NA no contato com o solo residual-arenito (FS=1,548). Canal implantado sobre o solo residual estável. portanto sem a necessidade de instalação de dreno DHP.

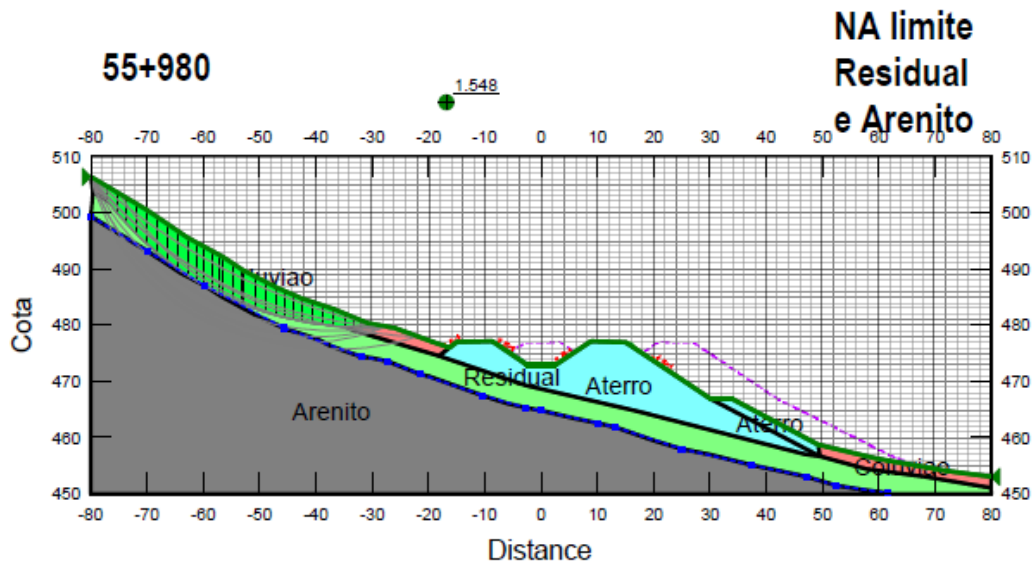


Figura 4.81 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 55+990: Encosta medianamente suave estável com a remoção do colúvio e com o NA seco no contato com o solo residual-arenito (FS=1,453). Canal implantado sobre o solo residual estável. portanto sem a necessidade de instalação de dreno DHP.

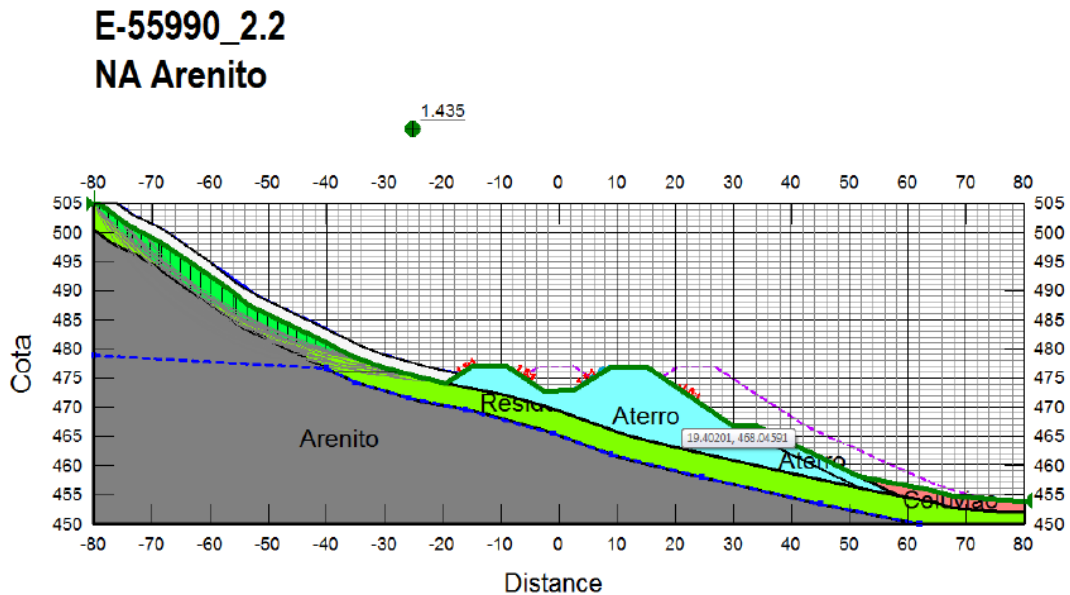


Figura 4.82 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+000: Encosta a direita sentido do fluxo de média suavidade bastante estável em condição natural.

E-56000_1.1
SECO

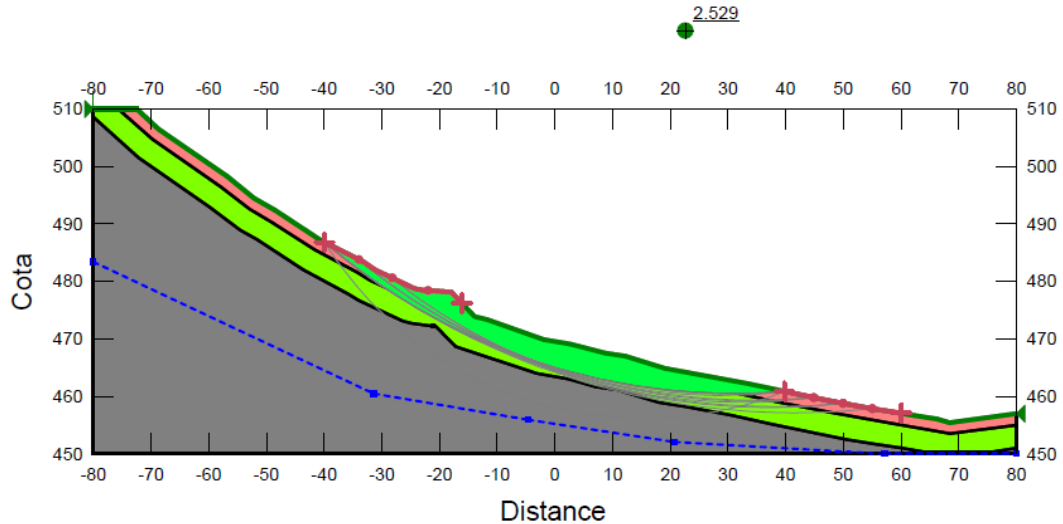
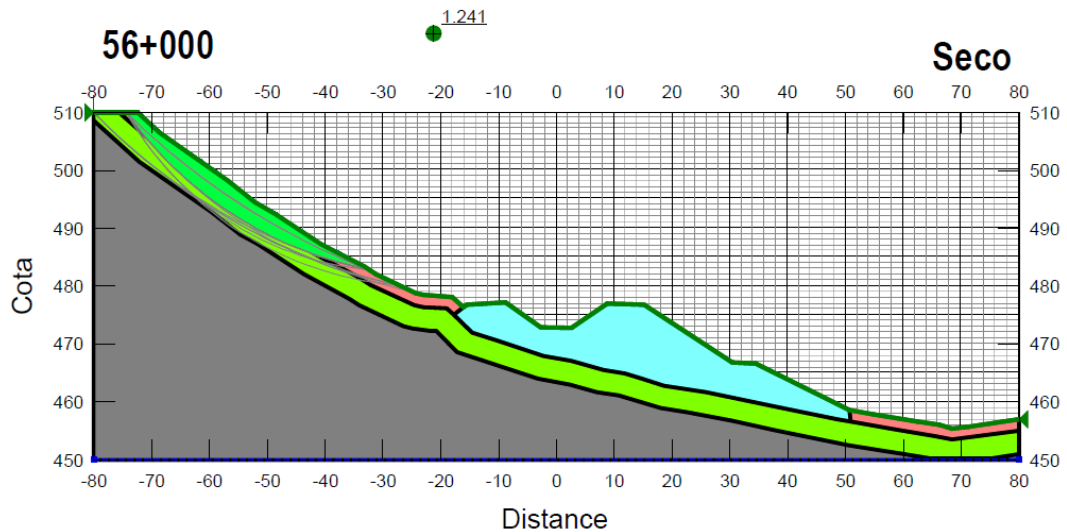


Figura 4.83 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+000: Encosta a direita sentido do fluxo de média suavidade, com a implantação do canal em aterro compactado, após remoção do colúvio, apresentou pequeno menor estabilidade não capeamento em cota elevada, que será solucionado com drenagem e proteção vegetal.



Entre as Seções km 56+030 e 56+250: solução com Terra Armada.

Figura 4.84 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+050: Tramo direito do canal com pequeno corte, e tramo esquerdo em aterro compactado, com Terra Armada até a elevação 470,00. Simulação com o NA no contato com o solo residual-arenito (FS=1,23), prevendo-se a instalação de dreno DHP.

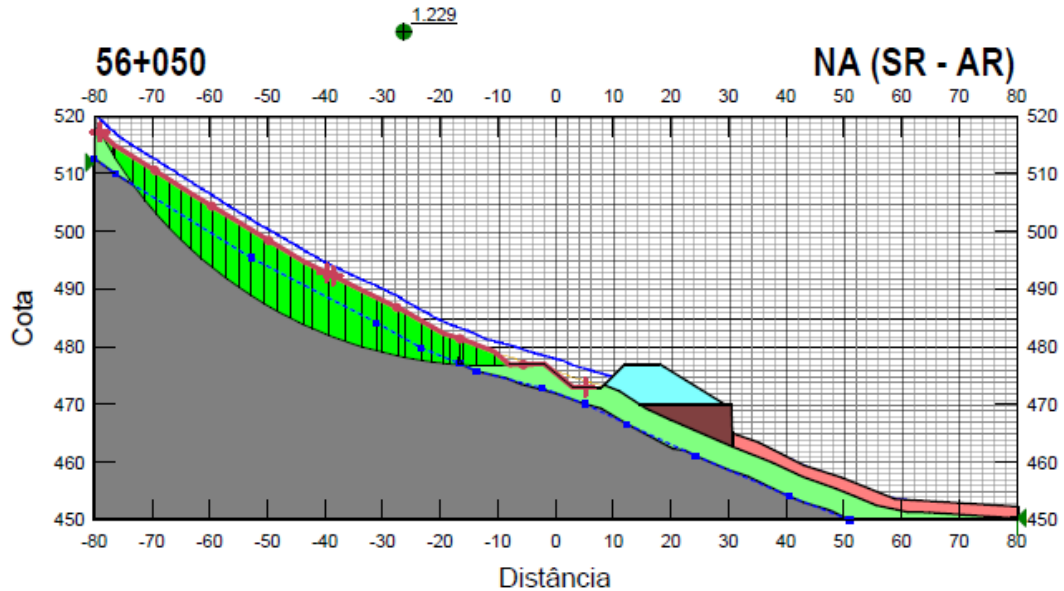


Figura 4.85 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+050: Solução com Terra Armada no tramo esquerdo até a elevação 470,00, e acima desta aterro compactado convencional. Simulação com o NA seco (drenado) (FS=1,481), prevendo-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.

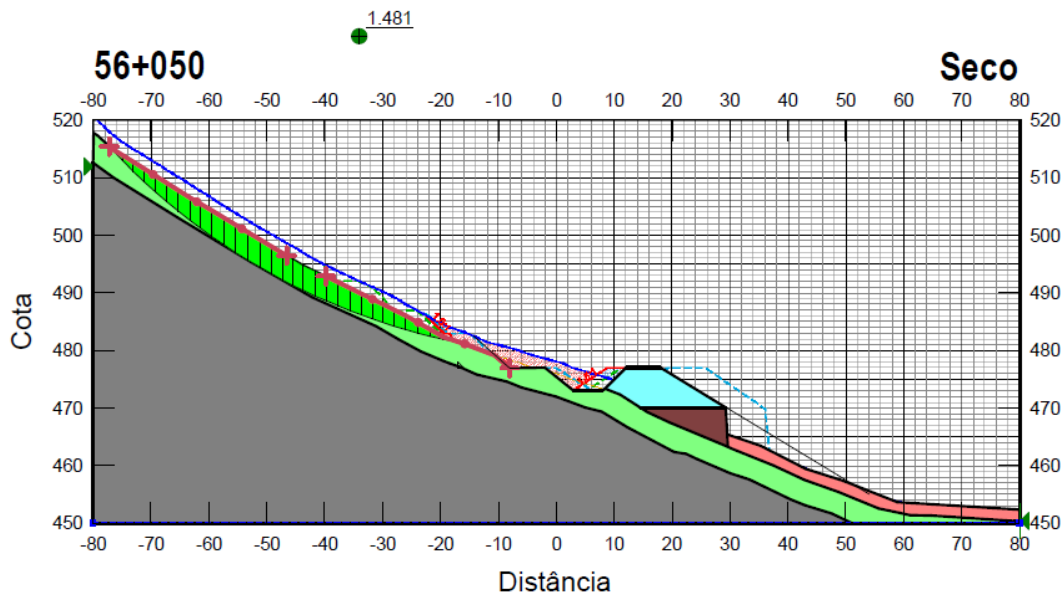


Figura 4.86 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+050: Solução com Terra Armada no tramo esquerdo até a elevação 470,00, e acima desta aterro compactado convencional, bastante estável.

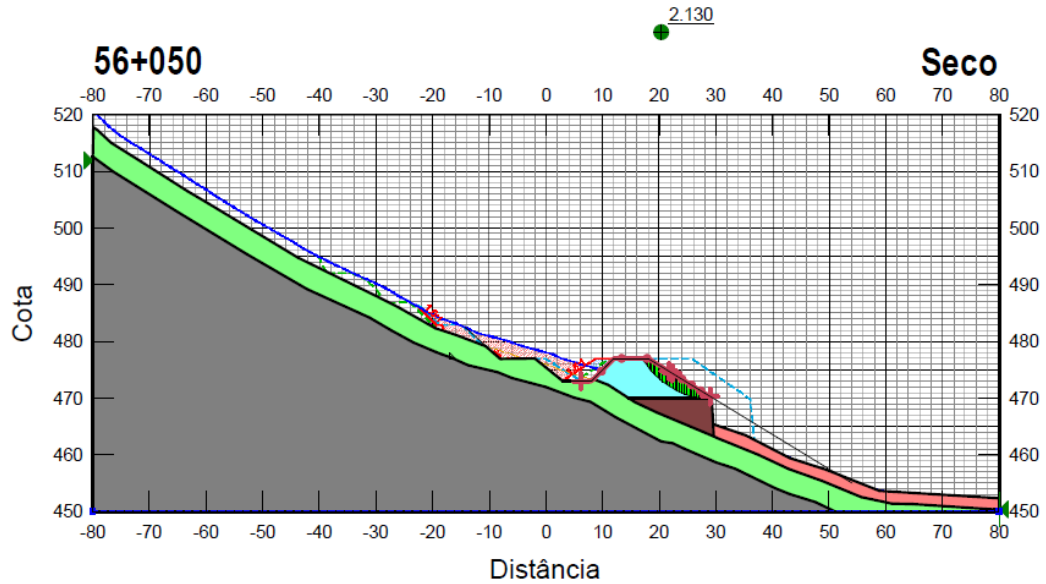


Figura 4.87 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+080: Solução analisada com retaludamento da encosta íngreme e aterro compactado convencional no tramo esquerdo.

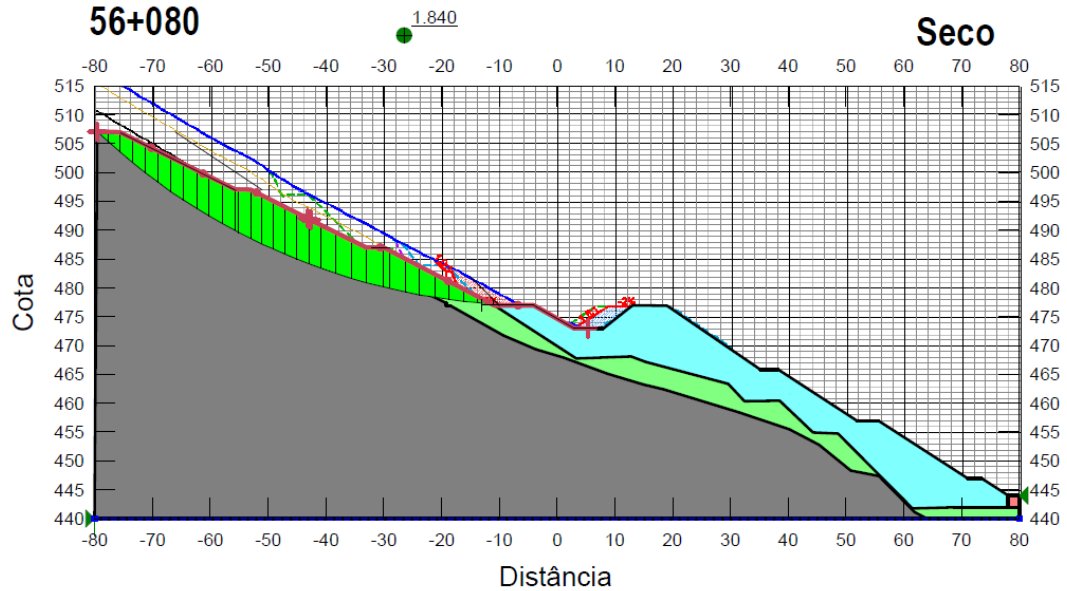


Figura 4.88 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+080: Solução com retaludamento da encosta íngreme (FS=1,26) com o NA no contato com o solo residual-arenito. Terra Armada em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo.

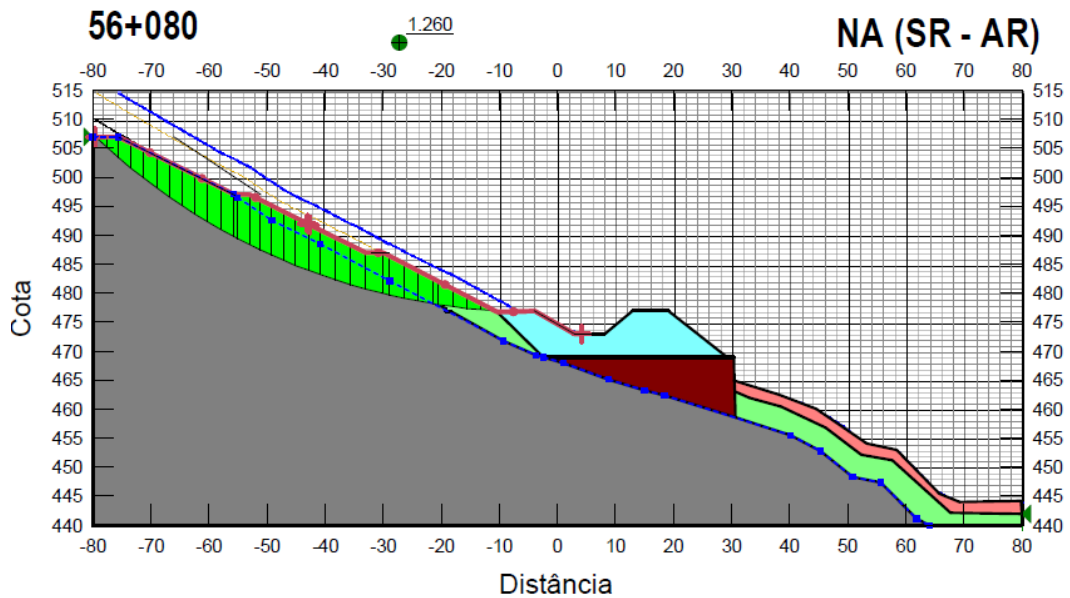


Figura 4.89 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+080: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,839). Terra Armada até a elevação 470,00 em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.

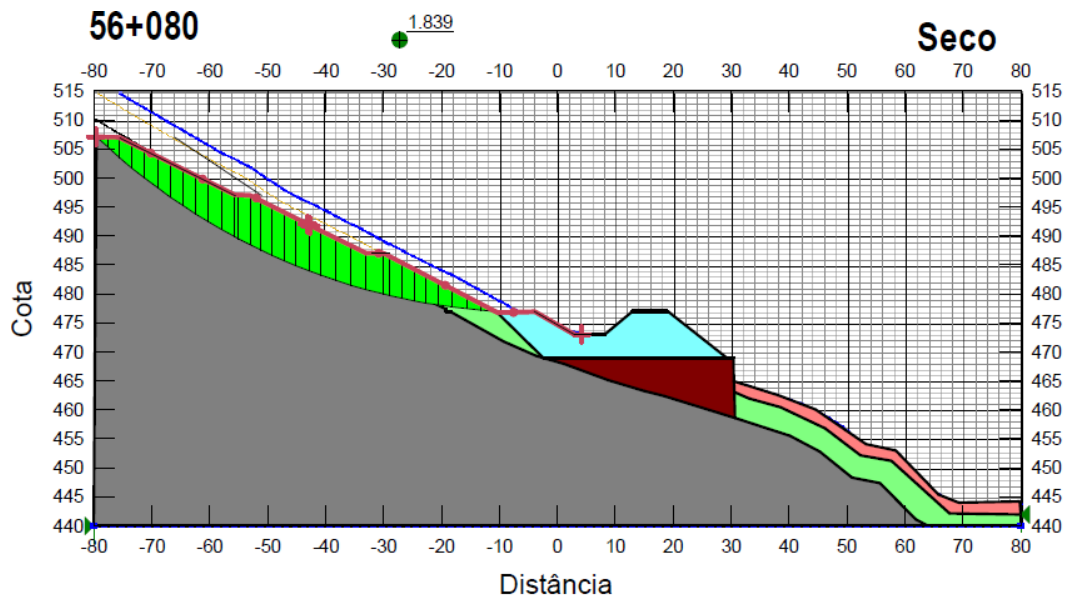


Figura 4.90 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+140: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,540). Terra Armada até a elevação 470,00 em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.

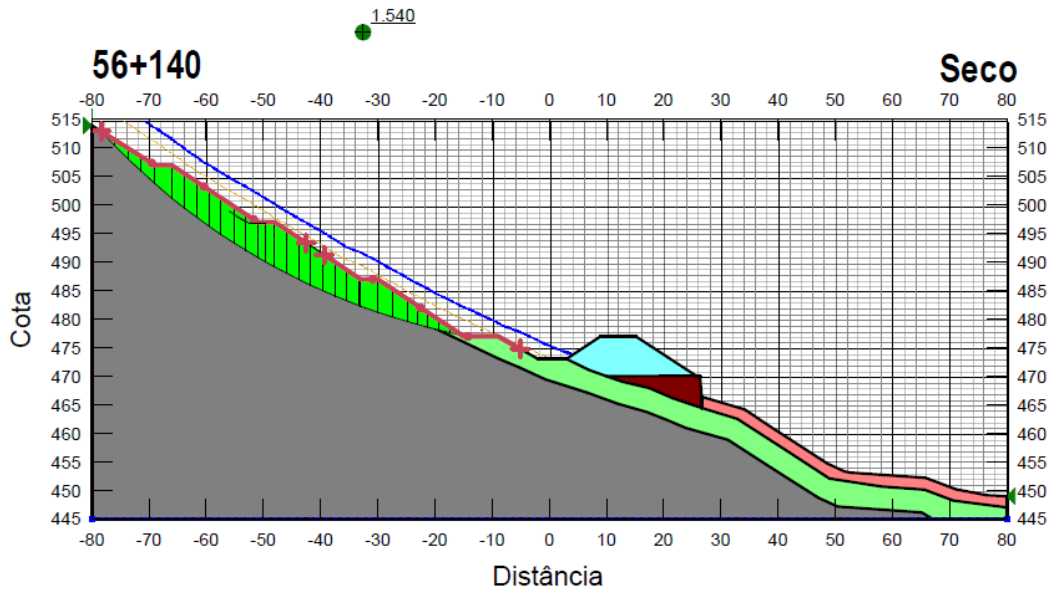


Figura 4.91 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+190: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,540). Terra Armada até a elevação 472,00 em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.

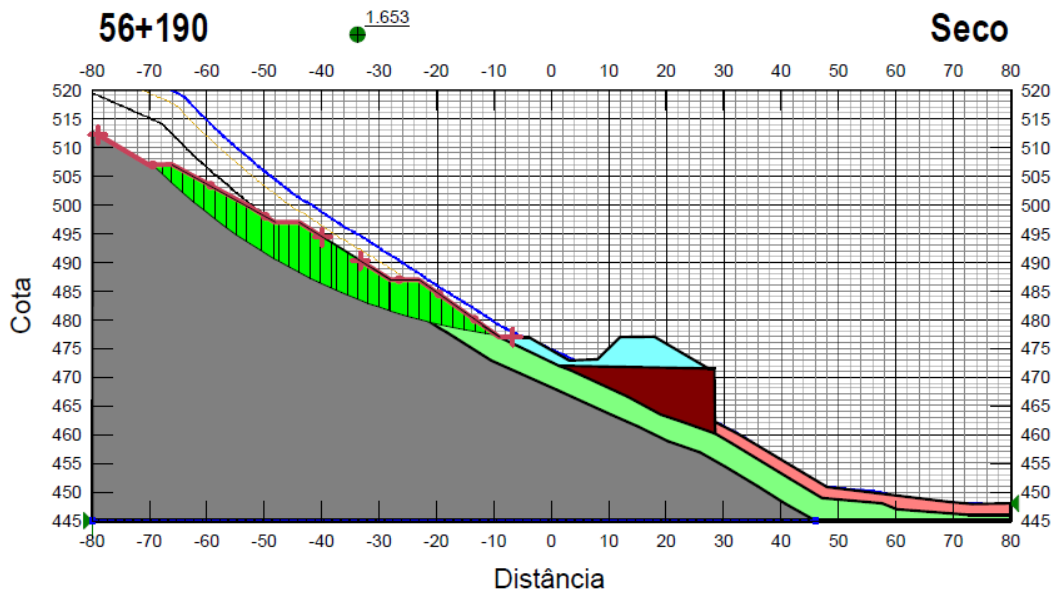
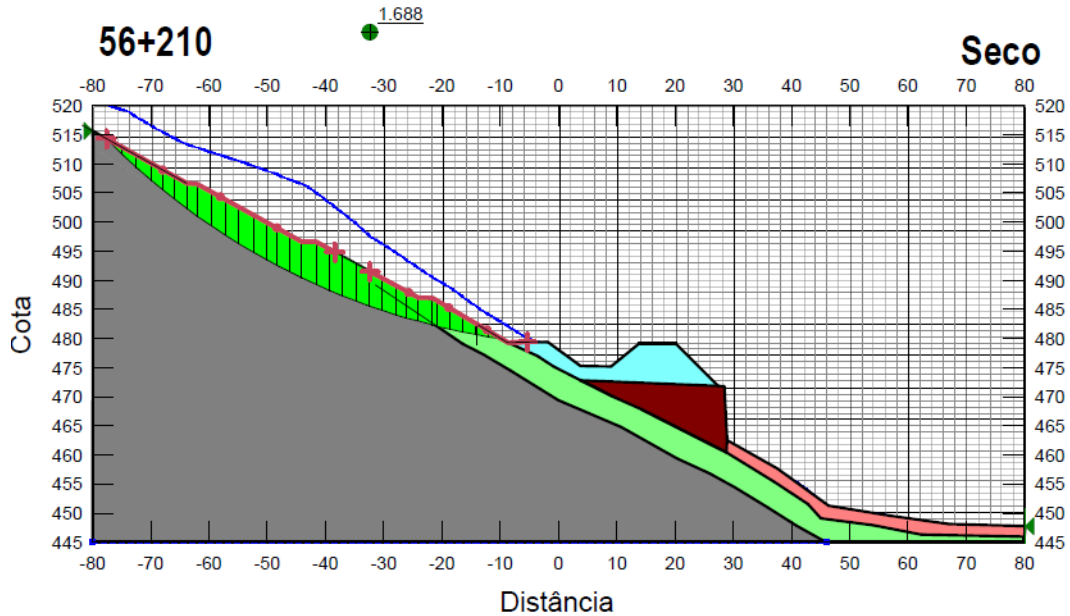


Figura 4.92 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+210: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,688). Terra Armada até a elevação 472,00 em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.



Entre as Seções km 56+250 e 56+600: solução mista de corte – aterro compactado convencional.

Figura 4.93 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+300: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,655), com tramo direito incorporado na escavação, e tramo esquerdo em aterro compactado convencional. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.

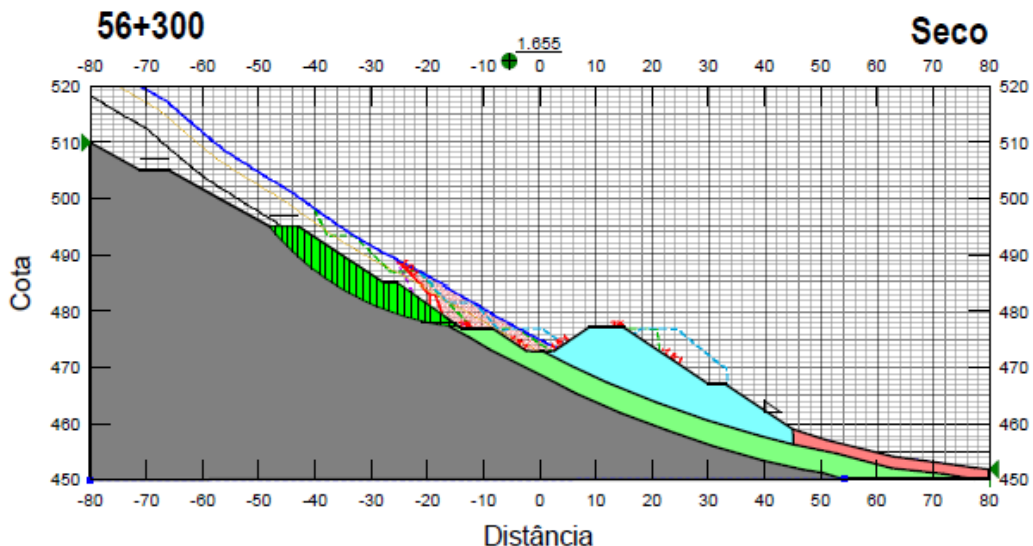
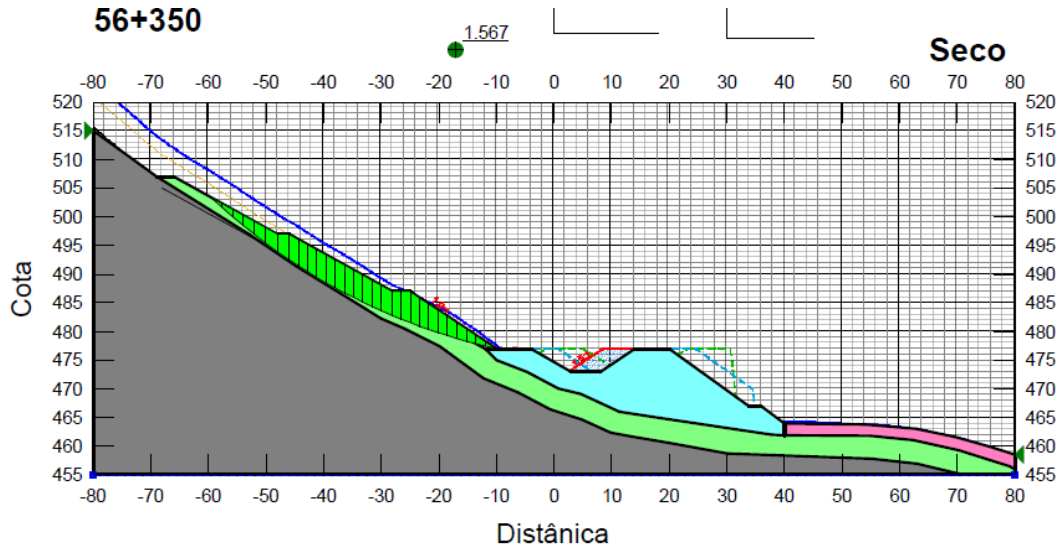


Figura 4.94 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+350: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,567), com tramo direito incorporado na escavação, e tramo esquerdo em aterro compactado convencional. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.



Entre as Seções km 56+600 e 56+700: solução com Terra Armada.

Figura 4.95 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+620: Solução com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,574) Terra Armada até a elevação 474,00 em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude.

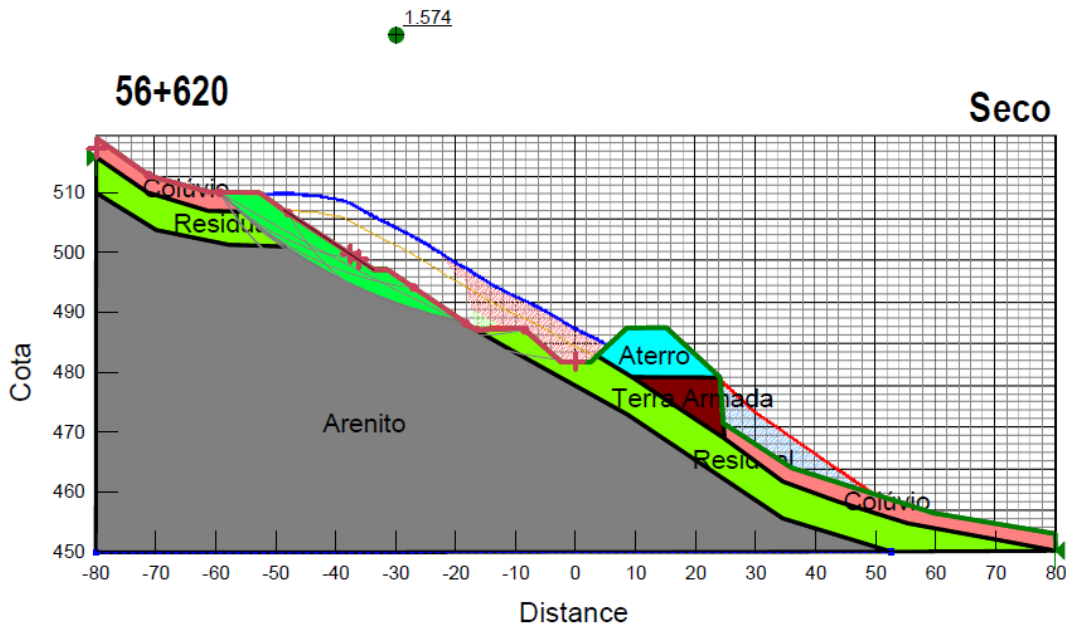
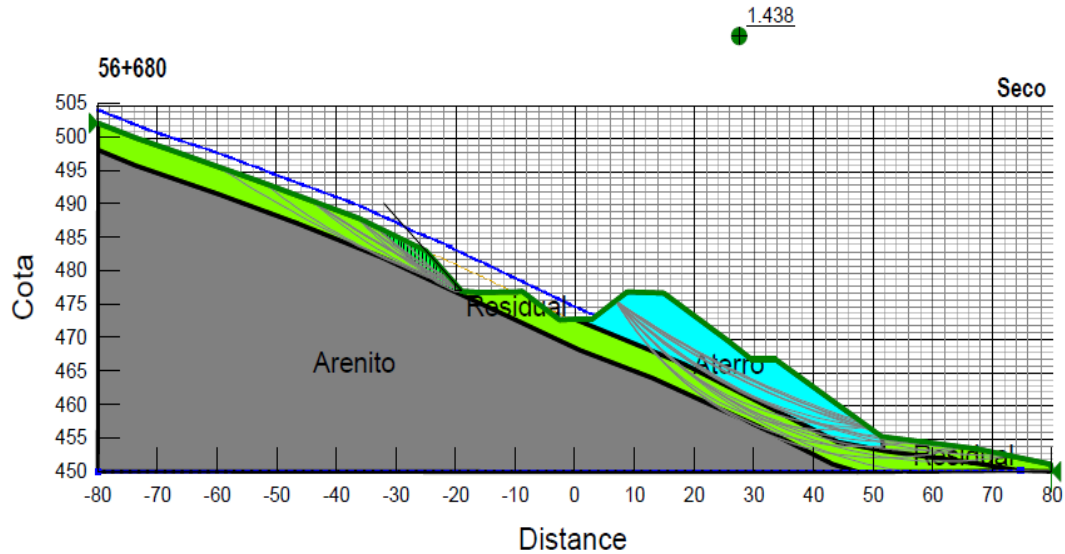


Figura 4.96 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+680: Solução conforme Seção km 56+620, com retaludamento da encosta íngreme com o NA seco (FS=1,438). Terra Armada até a elevação 472,00 em substituição do aterro compactado convencional no tramo esquerdo. Previu-se a instalação de dreno DHP e proteção vegetal no talude escavado.



Entre as Seções km 56+700 e 57+115: solução mista de corte – aterro compactado convencional.

Figura 4.97 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+760: Solução com tramo direito incorporado na escavação, e tramo esquerdo em aterro compactado convencional. Previu-se proteção vegetal no talude escavado.

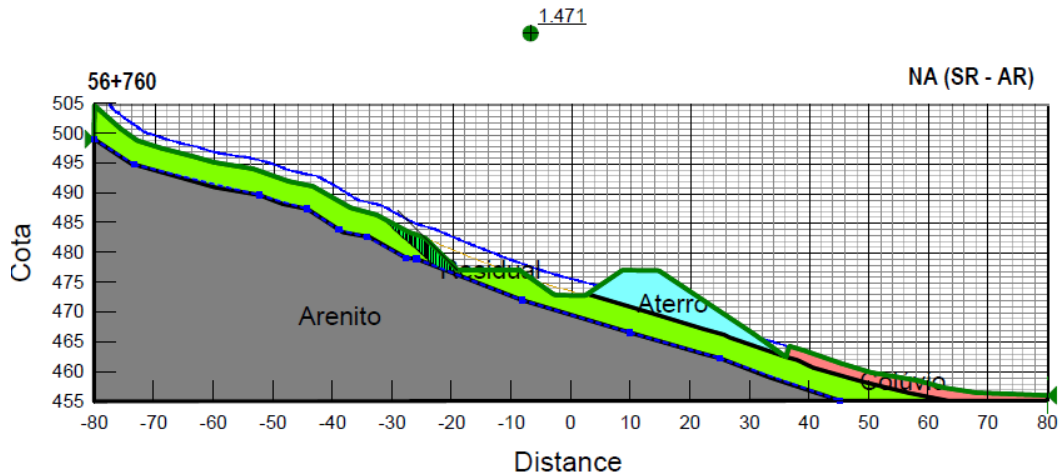


Figura 4.98 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+820: Solução com tramo direito incorporado na escavação, e tramo esquerdo em aterro compactado convencional. Previu-se proteção vegetal no talude escavado.

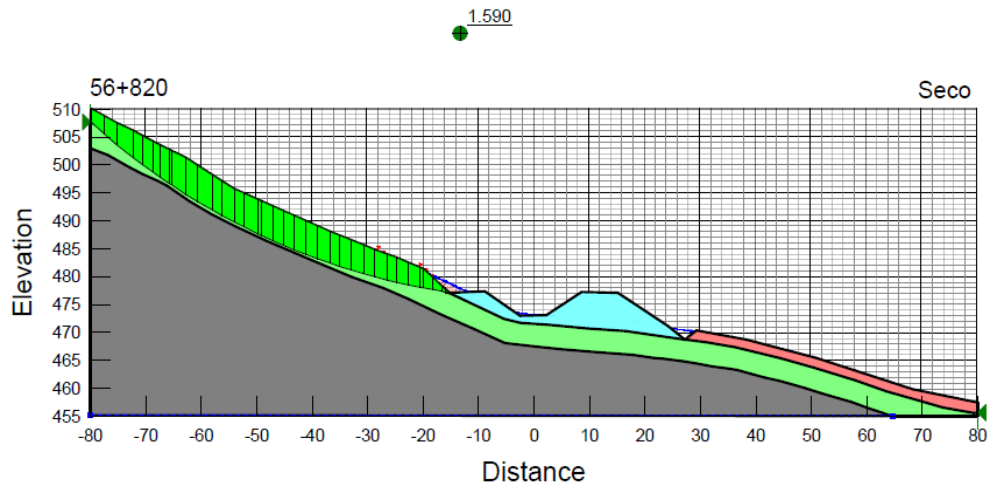


Figura 4.99 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+870: Solução com tramo direito e tramo esquerdo em aterro compactado convencional. Previu-se proteção vegetal no talude direito.

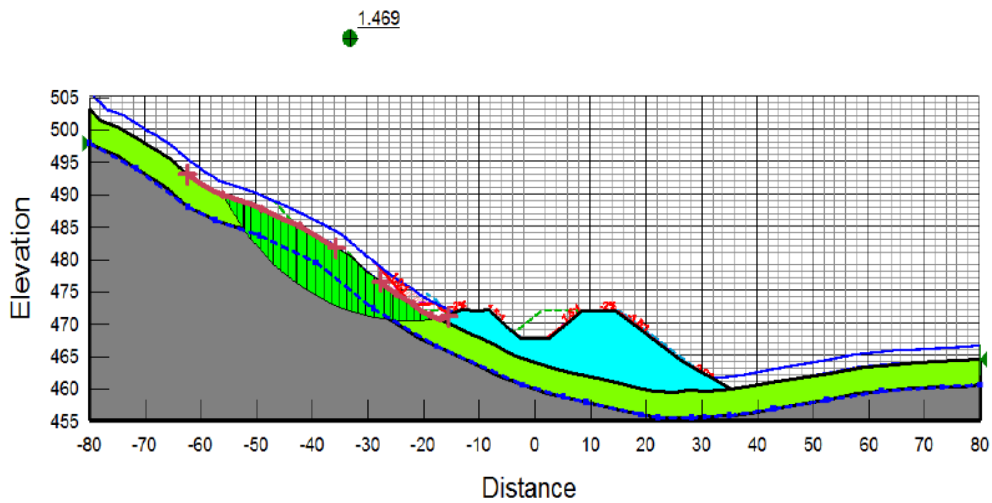
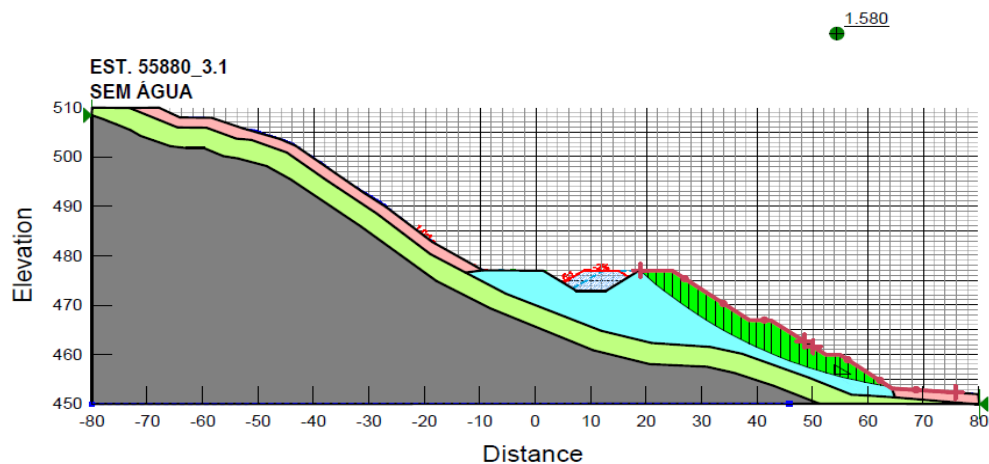


Figura 4.100 - Lote 2 Desvio 6– Seção km 56+880: Solução com tramo direito e tramo esquerdo em aterro compactado convencional. Previu-se proteção vegetal no talude direito.





Quadro 4.9 - Lote 2 – Desvio 6: Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 6 - LOTE 02 (E-55+810 A E-59+020)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução Adotada:	
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO				
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ		
55+690	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.640	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio eixo 6m para esquerda - Raspagem do Colúvio - Talude 1,5:1, Berma de 2m (Cota 487) e Talude 1,5:1	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.438	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.833	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.834	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
55+630	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.940	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio eixo 6m para esquerda - Raspagem do Colúvio - Talude 2:1 (cota 477 a 487), Berma de 2m e Talude 2:1	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.536	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.778	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5:1	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.774	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
55+600	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.864	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 2:1 + berma 5m (Cota 487) + Talude 1,5:1 + Berma 5m + Talude 2:1 - Instabilidade nos taludes de arenito, trata-se de um material drenante, portanto é aceitável o FS=1.2 no NA limite residual e arenito	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.214	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.696	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Berma 2m + Talude 1,5:1	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.696	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		

Quadro 4.9 - Lote 2 – Desvio 6: Resumo dos resultados das análises de estabilidade (cont.)

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 6 - LOTE 02 (E-55+810 A E-59+020)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução Adotada:
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	
55+810	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.507	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio de 10m para a Direita - Aterro de Boa Qualidade
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.359	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.742	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.742	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
55+860	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.214	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio 10m para Direita - TN - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.088	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.774	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.774	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
55+890	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.494	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 2:1 + DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	0.868	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.564	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Berma 4m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.564	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
55+920	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.506	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5:1 a cada 10m com berma de 2m
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	0.852	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.746	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Berma de 4m a cada 10m + talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.746	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	



Quadro 4.9 - Lote 2 – Desvio 6: Resumo dos resultados das análises de estabilidade (cont.)

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 6 - LOTE 02 (E-55+810 A E-59+020)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução Adotada:
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	
55+980	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.548	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	T.N.
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.548	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.798	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.800	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
55+990	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.435	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Sem Colúvio + DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.264	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.869	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.869	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
56+000	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.241	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	TN + DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.201	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.880	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.880	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
56+050	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.481	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio 5m - Retirada do colúvio - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.229	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	2.130	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	2.130	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	

Quadro 4.9 - Lote 2 – Desvio 6: Resumo dos resultados das análises de estabilidade (cont.)

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 6 - LOTE 02 (E-55+810 A E-59+020)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução Adotada:
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	
56+080	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.839	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio de 5m para a Direita - Sem Colúvio - talude de 2:1 + Berma 3m + Talude 2:1 + Berma + Talude 2:1 - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.260	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.696	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.696	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
56+140	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.540	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1.5:1 + Berma 3m + Talude 1.5:1 + Berma 3m + Talude 1.5:1 + Berma 3m - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	0.992	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
56+190	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.653	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio 5m para a Direita Talude 1.5:1 + Berma 5m + Talude 1.8:1 + Berma 5m + Talude 1.8:1 - DHP
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.122	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	



Quadro 4.9 - Lote 2 – Desvio 6: Resumo dos resultados das análises de estabilidade (cont.)

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 6 - LOTE 02 (E-55+810 A E-59+020)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução Adotada:	
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO				
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ		
56+210	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.688	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio 5m para a Direita Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,8:1 + Berma 2m + Talude 1,8:1 + Berma 2m - DHP	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.055	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Terra Armada
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito		18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
56300	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.655	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5:1 + Berma de 3m + Talude 1,5:1 + berma de 5m + talude 1,8:1 - DHP	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.041	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.645	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Talude 1,5:1 + Berma 3m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.645	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
56+350	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.567	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Desvio 5m para a Direita Talude 1,5:1 + Berma 3m + Talude 1,8:1 + Berma 2m + Talude 1,8:1 + Berma 2m - DHP	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.168	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.626	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.626	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		

Quadro 4.9 - Lote 2 – Desvio 6: Resumo dos resultados das análises de estabilidade (cont.)

Quadro Resumo da Verificação da Seção Definitiva do Desvio 6 - LOTE 02 (E-55+810 A E-59+020)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução Adotada:	
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO				
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ		
56+620	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.574	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1,5 + Berma 2m (Cota 497) + Talude 1,5:1 + DHP	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.097	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	-	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Terra Armada
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	-	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
56+680	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.438	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Sem Colúvio - Talude 1:1 até TN	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.438	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.622	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Talude 1,5:1 + Berma 2m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.622	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
56+760	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.469	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Sem Colúvio - Talude 1:1 até TN	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.471	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.499	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.499	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
56+820	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.590	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Talude 1:1 até TN	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.457	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.719	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Talude 1,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.719	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
56+870	ANÁLISE 2.1	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1.627	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Sem Colúvio	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de Ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.514	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		
	ANÁLISE 3.1	Superfície de Ruptura Talude Direito Sem Água	1.898	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		Sem Colúvio
	ANÁLISE 3.2	Superfície de Ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.898	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°		

Conforme já citado os Desvios 2 e 5.1 apresentaram condições adequadas para implantação do canal, tendo sido simplesmente objetos de ajuste no traçado. A seguir são apresentadas algumas análises de estabilidade das mais importantes seções tipos:

Lote 2 Desvio 2 – Trecho com de 559,67m de comprimento, entre as estacas km 40+597,59 a 41+157,26, foi considerada a remoção da capa superficial de solo coluvial com blocos de arenito e eventual material orgânico, com o tramo direito do canal incorporado com corte em encosta de declividade muito variada, e o tramo esquerdo do canal com taludes definitivos em solo compactado, com ajustes da fundação (pequenos cortes do solo residual - escalonamento), para facilitar a implantação do aterro, associado com eventual proteção no pé, com gabião ou simples enrocamentos.

Figura 4.101 - Lote 2 Desvio 2– Seção km 40+660: Pequeno retaludamento da encosta do tramo direito com o NA no contato com o solo residual-arenito (FS=1,797).

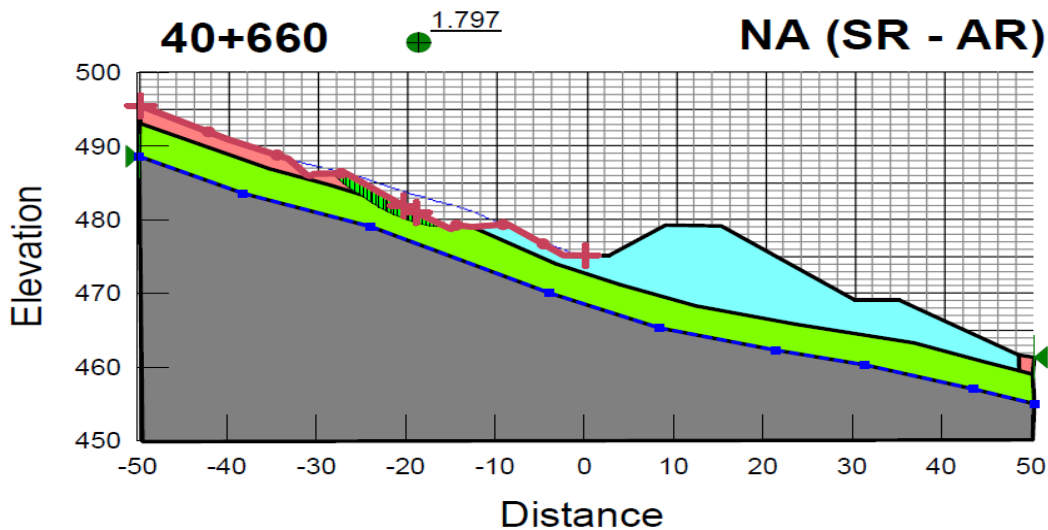


Figura 4.102 - Lote 2 Desvio 2– Seção km 40+660: Seção em aterro compactado sobre o solo residual bastante estável (FS=1,89).

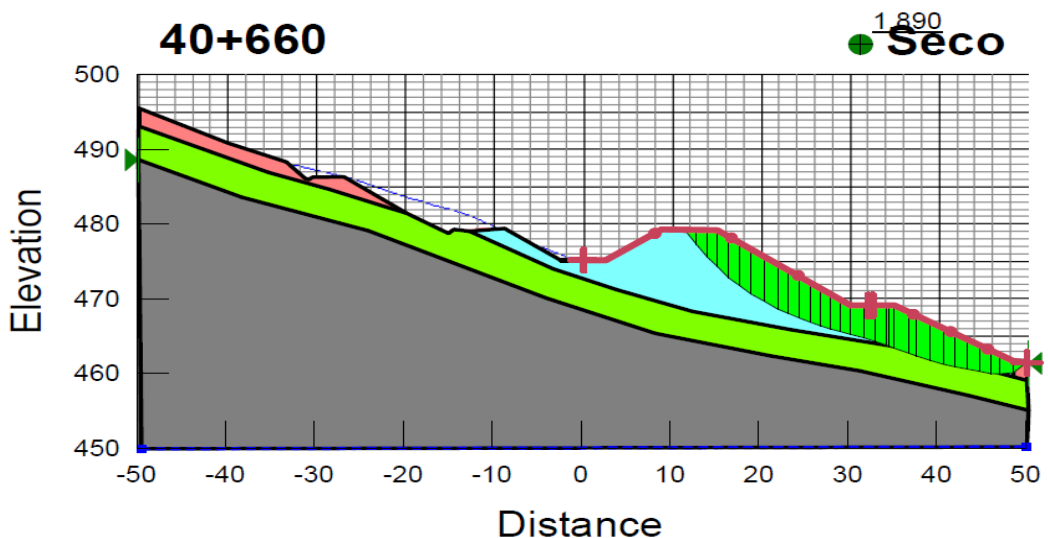


Figura 4.103 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+780: Retaludamento da encosta do tramo direito com o NA seco (FS=1,661).

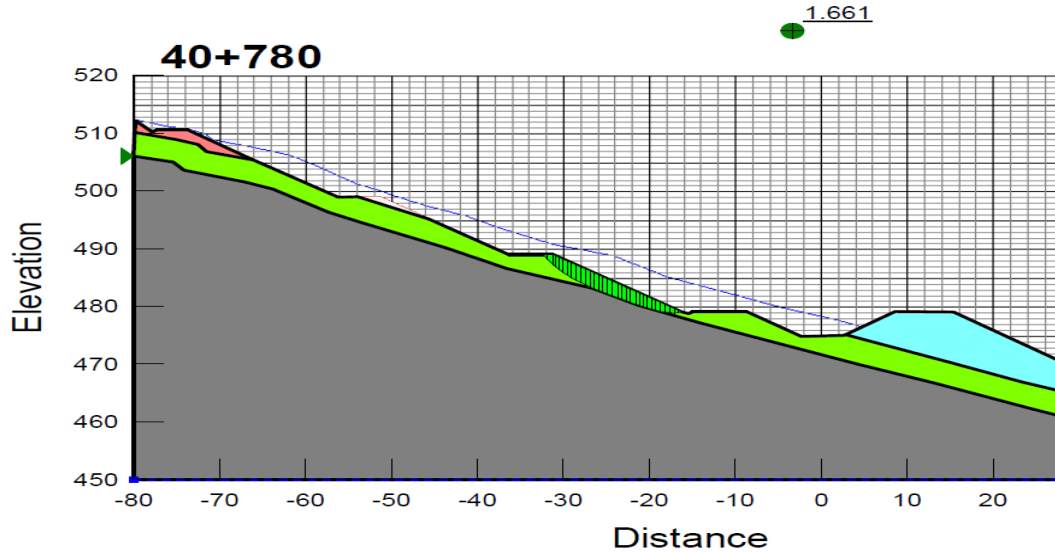


Figura 4.104 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+780: Seção em aterro compactado sobre o solo residual bastante estável (FS=1,743).

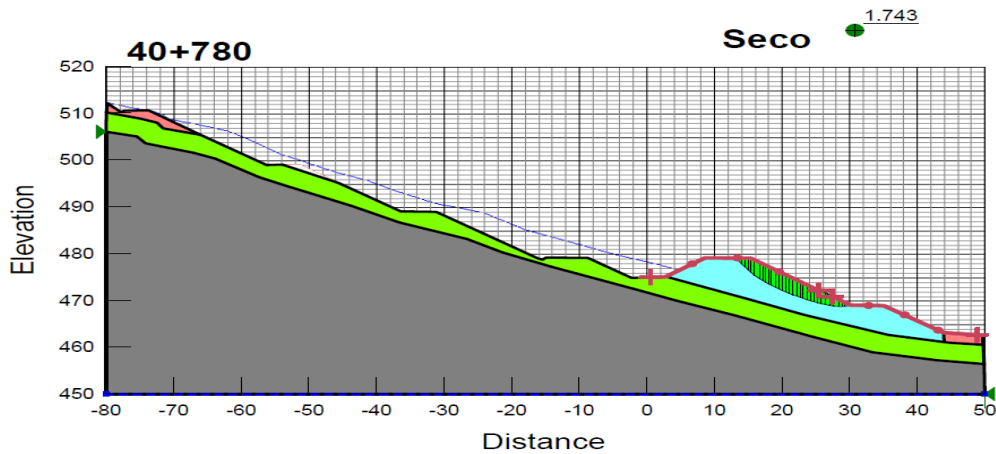


Figura 4.105 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+820: Retaludamento da encosta do tramo direito com o NA seco (FS=1,629).

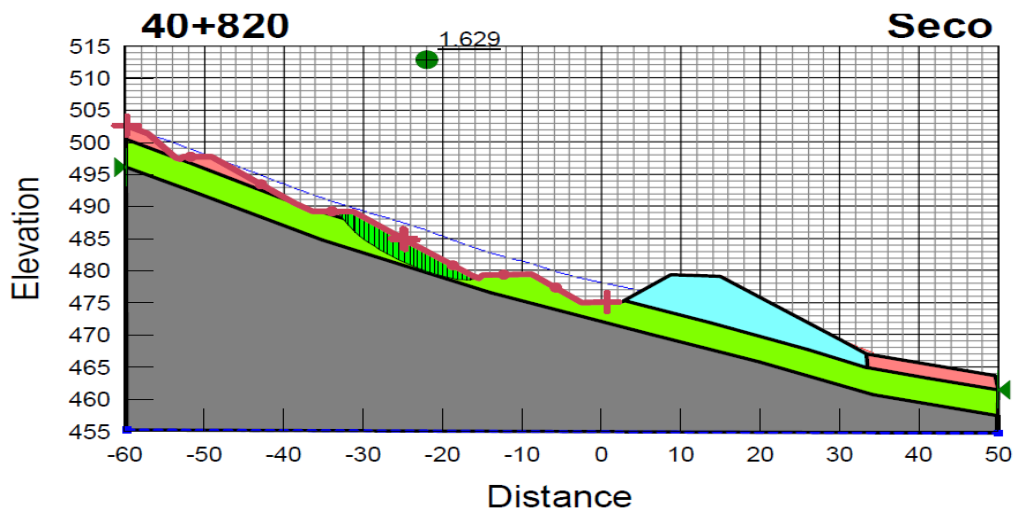


Figura 4.106 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+820: Seção em aterro compactado sobre o solo residual bastante estável (FS=1,640).

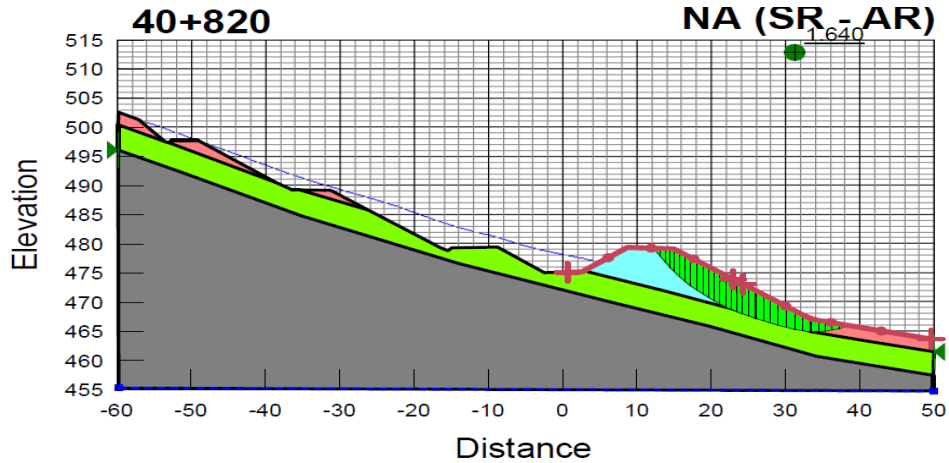


Figura 4.107 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+940: Retaludamento da encosta do tramo direito com o NA no contato solo residual-arenito (FS=1,368).

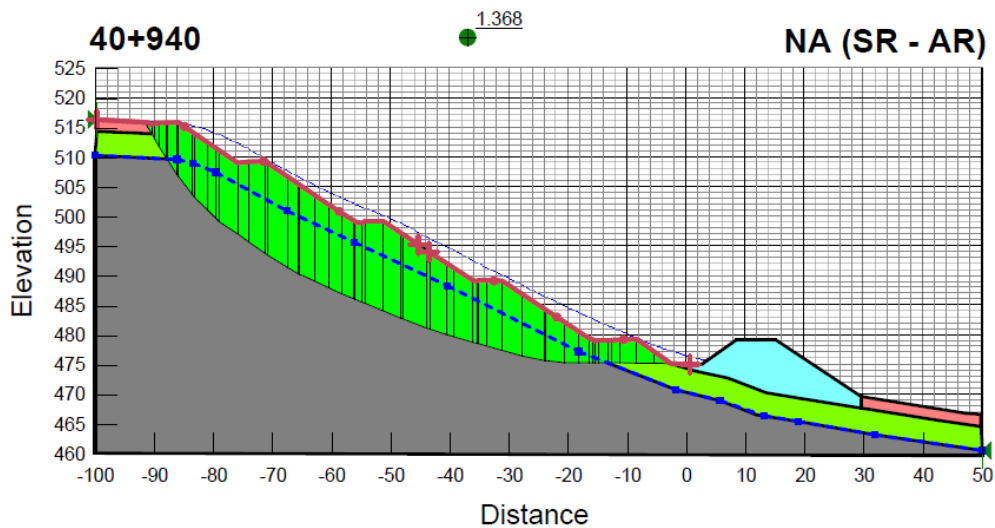


Figura 4.108 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+940: Retaludamento da encosta do tramo direito com o NA seco (FS=1,595).

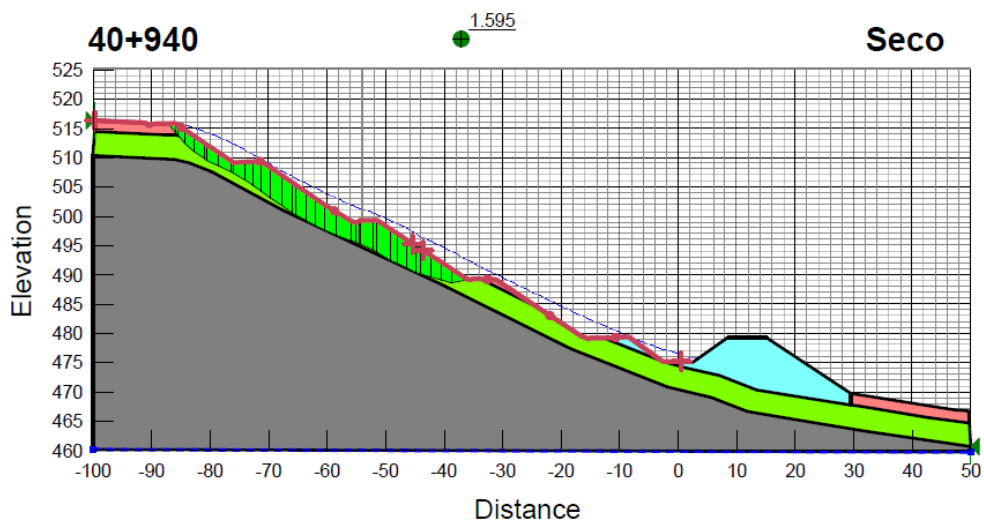


Figura 4.109 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 40+940: Seção em aterro compactado sobre o solo residual bastante estável (FS=1,805).

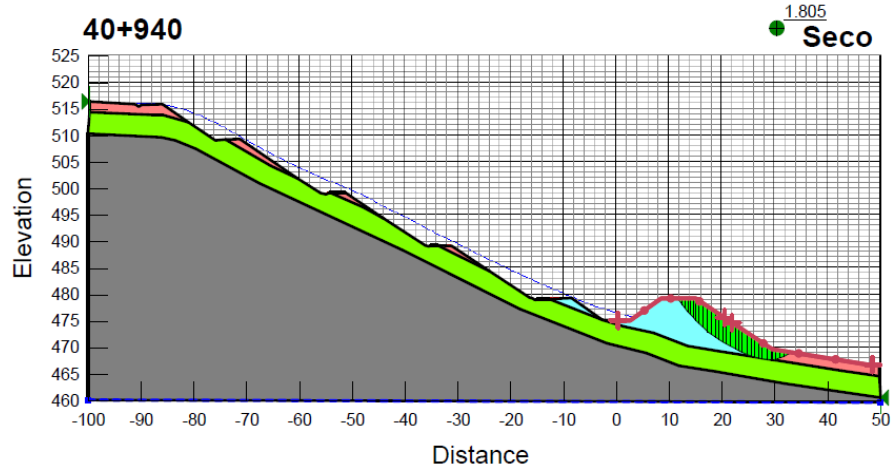


Figura 4.110 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 41+060: Retaludamento da encosta do tramo direito com o NA no contato solo residual-arenito (FS=1,63).

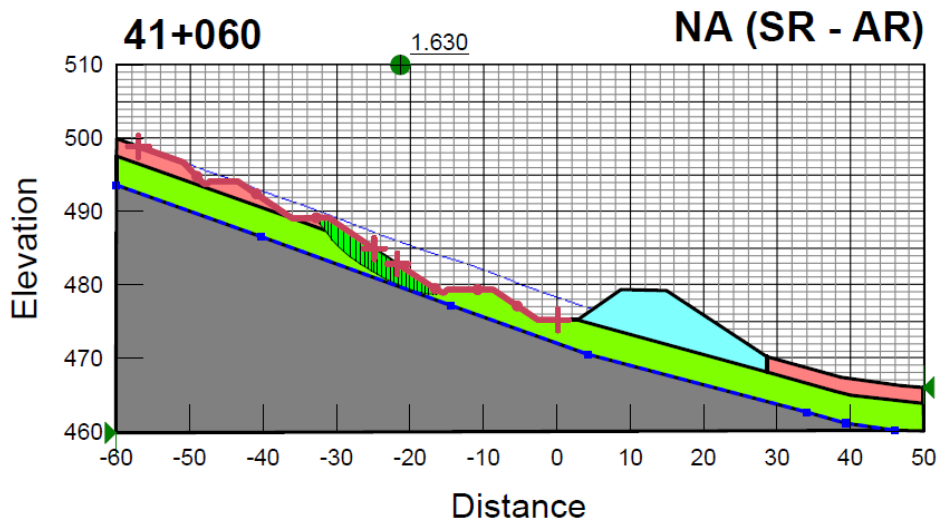


Figura 4.111 - Lote 2 Desvio 2- Seção km 41+060: Retaludamento da encosta do tramo direito com o NA seco (FS=1,642).

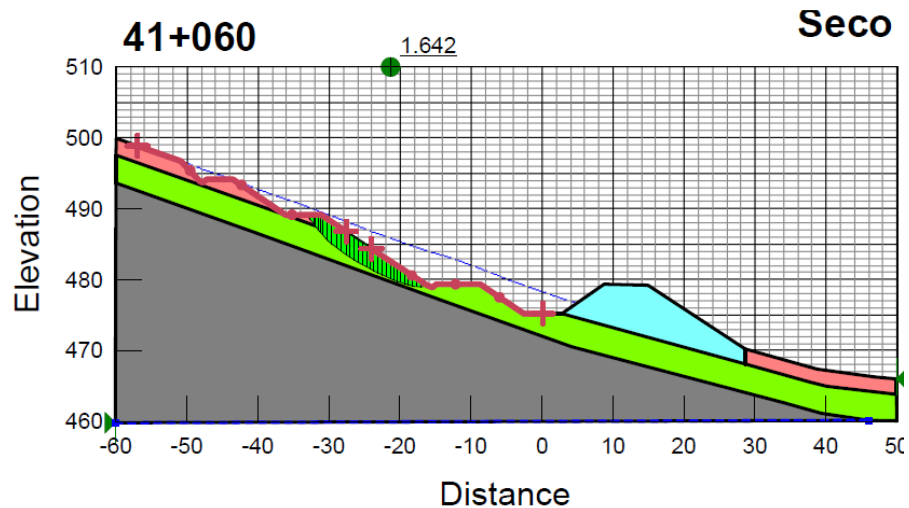
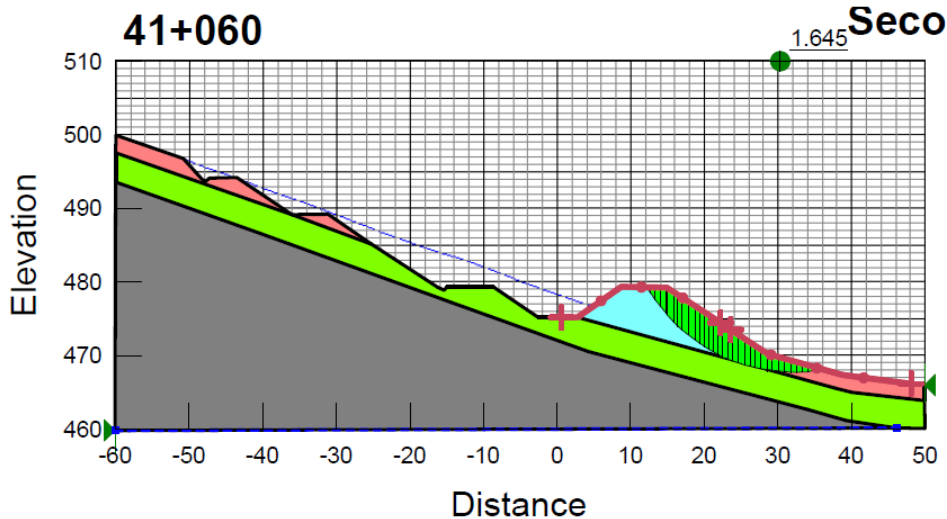




Figura 4.112 - Lote 2 Desvio 2– Seção km 41+060: Seção em aterro compactado sobre o solo residual estável (FS=1,645).



Quadro 4.10 - Lote 2 – Desvio 2: Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Quadro Resumo da Verificação Da Seção Definitiva do Desvio 2 - Lote 02 (E-40+597.57 A E-41+157.26)

ESTACA	Análise de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	
40+600	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	1.798	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1,5:1 + Berma + Talude 1,5:1 Lado Direito: Berma 5m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.797	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.890	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.890	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
40+780	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	1.661	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1,5:1 + Berma + Talude 1,5:1 Lado Direito: Berma 5m + Talude 1,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.332	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.743	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.743	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
40+820	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	1.629	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1,5:1 + Berma + Talude 1,5:1 Lado Direito: Talude 1,5:1 - Não foi necessário nenhum ajuste ao projeto. Seção Estável -
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.608	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.640	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.640	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
40+940	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	1.595	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1,5:1 + Berma + Talude 1,5:1 Lado Direito: Talude 1,5:1 - Não foi necessário nenhum ajuste ao projeto. Seção Estável -
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.368	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.805	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.805	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
41+060	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	1.642	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1,5:1 + Berma + Talude 1,5:1 Lado Direito: Talude 1,5:1 - Não foi necessário nenhum ajuste ao projeto. Seção Estável -
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	1.630	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.645	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.645	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	

Lote 2 Desvio 5.1 – Trecho com de 359,91m de comprimento, entre as estacas km 54+157,18 a 54+517,09 foi considerada a remoção da capa superficial de solo coluvial com blocos de arenito e eventual material orgânico, com o tramo direito do canal incorporado com corte em encosta de declividade muito variada, e o tramo esquerdo do canal com taludes definitivos em solo compactado, com ajustes da fundação (pequenos cortes do solo residual - escalonamento), para facilitar a implantação do aterro, associado com eventual proteção no pé, com gabião ou simples enrocamentos.

Figura 4.113 - Lote 2 Desvio 5.1- Seção km 54+200: Pequeno retaludamento da encosta do tramo direito com o NA seco (FS=2,128).

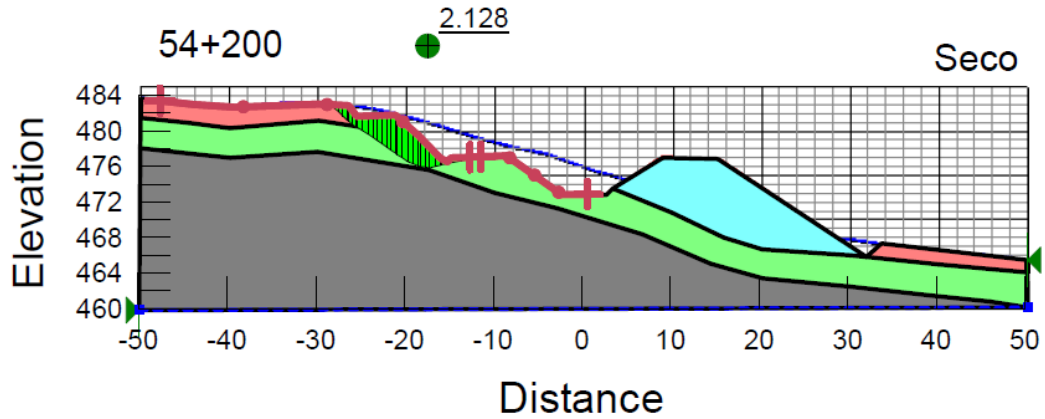


Figura 4.114 - Lote 2 Desvio 5.1- Seção km 54+200: Tramo esquerdo seção em aterro compactado sobre o solo residual bastante estável (FS=1,694).

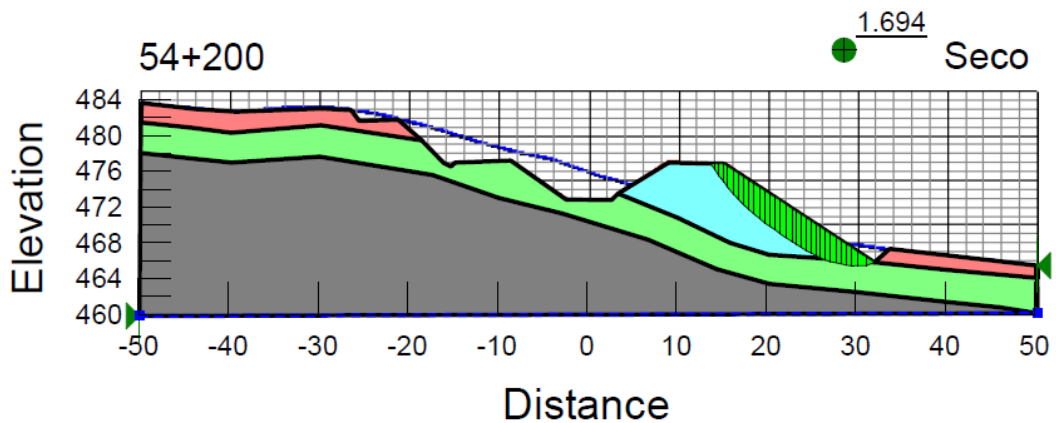


Figura 4.115 - Lote 2 Desvio 5.1- Seção km 54+360: Retaludamento da encosta direita sentido fluxo com o NA seco (FS=1,483).

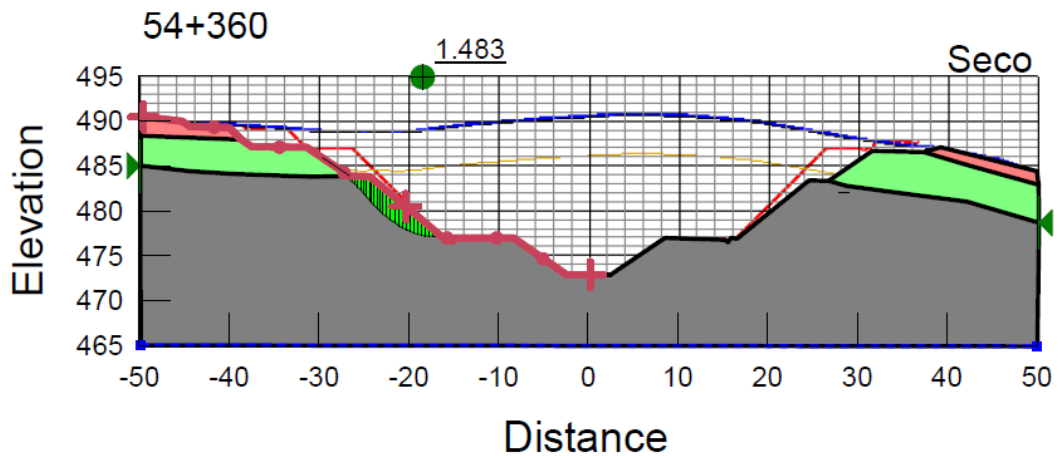


Figura 4.116 - Lote 2 Desvio 5.1- Seção km 54+360: Retaludamento da encosta esquerda sentido fluxo com o NA seco (FS=1,517).

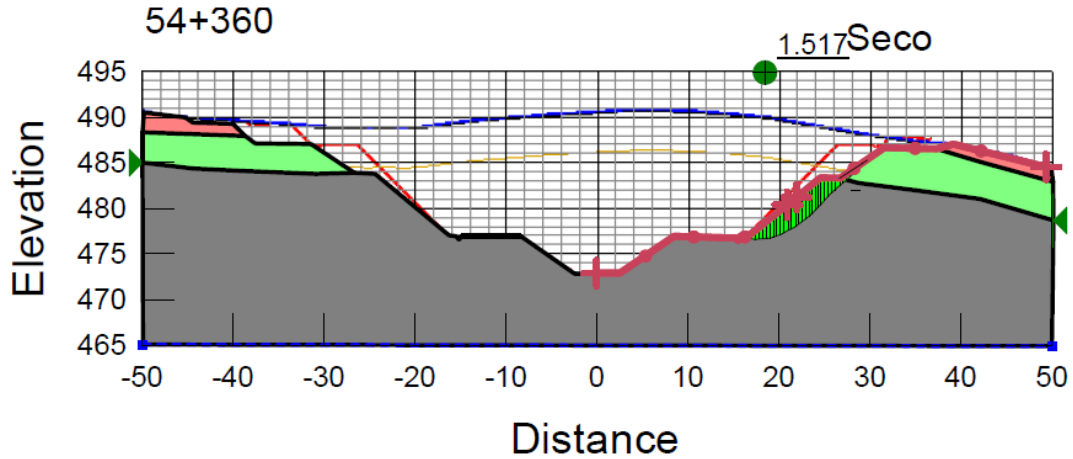


Figura 4.117 - Lote 2 Desvio 5.1- Seção km 54+500: Pequeno retaludamento da encosta do tramo direito com o NA seco (FS=2,198).

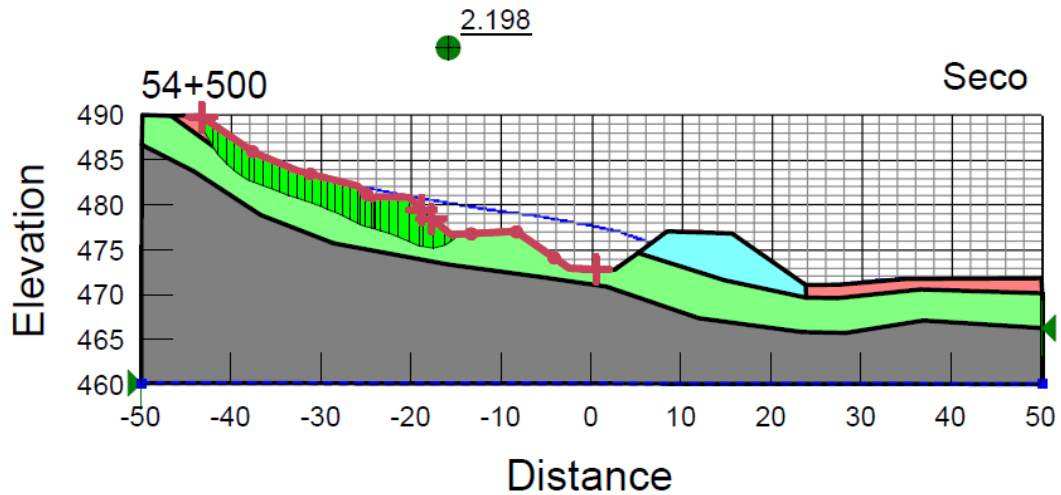
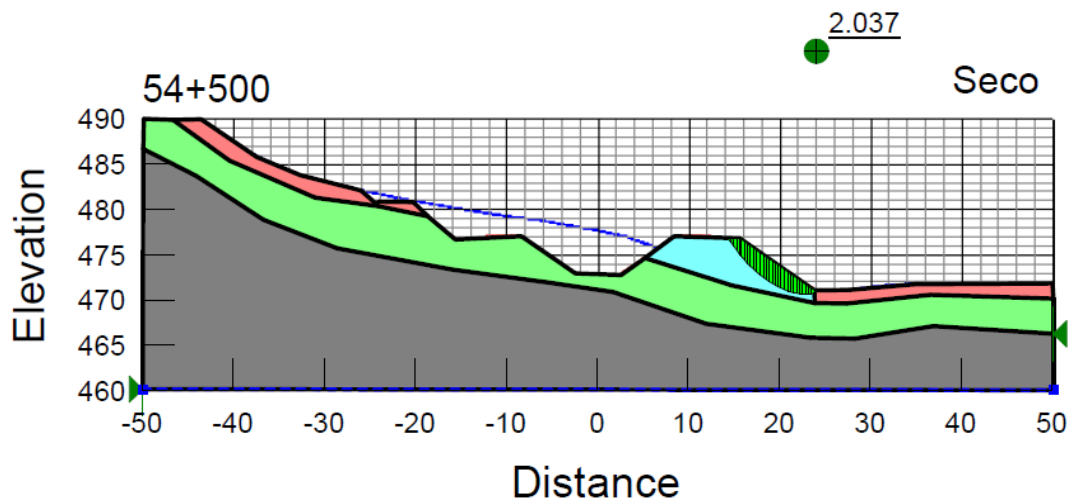


Figura 4.118 - Lote 2 Desvio 5.1- Seção km 54+500: Tramo esquerdo seção em aterro compactado sobre o solo residual bastante estável (FS=2,037).





Quadro 4.11 - Lote 2 – Desvio 5.1: Resumo dos resultados das análises de estabilidade

Quadro Resumo da Verificação Da Seção Definitiva do Desvio 5.1 - Lote 02 (E-54+157,18 A E-54+517,09)

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	Fs crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS												Solução
				COLUVIÃO			RESIDUAL			ARENITO			ATERRO			
				d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	d (kN)	c (kPa)	φ	
54+20.0	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	2.128	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1:1 + Berma + Talude 1:1 Lado Direito: Talude 1,5:1 Até TN - Não foi necessário nenhum ajuste ao projeto. Seção Estável -
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2.169	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.694	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	1.694	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
54+36.0	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	1.483	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo e Lado Direito: Talude 1,2:1 + Berma 2m no Contato Arenito e Solo Residual - DHP nos Dois Lados
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	0.938	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	1.517	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	0.959	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
54+50.0	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo SEM ÁGUA	2.198	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	Lado Esquerdo: Talude 1:1 + Berma + Talude 1:1 Lado Direito: Talude 1,5:1 Até TN - Não foi necessário nenhum ajuste ao projeto. Seção Estável -
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A no Arenito	2.196	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito SEM ÁGUA	2.037	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A no Arenito	2.037	18	5	30°	19	8	32°	24	10	35°	19	10	33°	



5 - LOTE 3

5.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Lote 3 com 35,940km é constituído pelas obras civis de adução, incluindo também o fornecimento e montagem dos sifões do subtrecho que inicia no Canal 15A2 e termina no subtrecho Canal 23.01 após o sifão do Crato (excluindo os túneis Cabaceira e Arajara e os respectivos emboques, desemboques destes e falsos túneis). Os subtrechos de acordo com os tipos de obras estão discriminados no **Quadro 5.1**, a seguir.

Quadro 5.1 – Localização e Extensão das Obras Componentes do Lote 3

	Obra	Inicial	Final	Extensão	Extensão (km)	Extensão acumulada	EXTENSÃO DAS OBRAS						EXTENSÃO TOTAL / FRENTE (KM)	VOLUME DE CORTE (M3)	VOLUME DE ATERRO (M3)	
							CANAIS		SIFÕES		TÚNEIS					
							QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO INCLUSIVE EMBOQUE/DESEMBOQUE (M)				
Lote 3	Canal 15A.2	75.140,00	75.169,09	29,09	0,03	75,17										
	Sifão 12 - Santana	75.169,09	75.694,50	525,41	0,53	75,69										
	Canal 16	75.694,50	76.892,31	1197,81	1,20	76,89										
	Sifão 13 - Roncador 1	76.892,31	77.100,24	207,93	0,21	77,10										
	Canal 17	77.100,24	77.655,81	555,57	0,56	77,66										
	Sifão 13A - Roncador 2	77.655,81	77.929,78	274,17	0,27	77,93										
	Canal 17A	77.929,78	79.694,54	1764,76	1,76	79,69										
	Comporta de Controle 8 (CC8)	79.694,54	79.701,54	7,00	0,01	79,70										
	Sifão 14 - Batoque	79.701,54	79.885,35	183,81	0,18	79,89										
	Canal 18	79.885,35	82.684,67	2799,32	2,80	82,68										
	Sifão 15 - CE-080	82.684,67	82.755,78	71,11	0,07	82,76										
	Canal 19.01	82.755,78	88.642,64	5886,86	5,89	88,64										
	Canal 19.02	88.642,64	88.844,64	202,00	0,20	88,64										
	Túnel 4 - Cabaceira	88.844,64	89.203,04	358,40	0,36	89,05				1	0,62	0,62				
	Canal 20.01	89.203,04	89.203,04	0,00	0,00	89,20										
	Canal 20.02	89.203,04	90.163,83	960,79	0,90	90,16										
	Comporta de Controle 9 (CC9)	90.163,83	90.170,83	7,00	0,01	90,17										
	Sifão 16 - São Francisco	90.170,83	91.050,79	879,96	0,88	91,05										
	Canal 21.01	91.050,79	91.982,45	931,66	0,93	91,98										
Canal 21.02	91.982,45	92.007,45	25,00	0,03	92,01											
Túnel 5 - Arajara	92.007,45	92.502,45	495,00	0,50	92,43					1	0,57	0,57				
Canal 22.01	92.502,45	92.502,45	0,00	0,00	92,55											
Canal 22.02	92.552,45	103.389,78	10837,33	10,84	103,39											
Comporta de Controle 10 (CC10)	103.389,78	103.396,78	7,00	0,01	103,40											
Sifão 17 - Crato (CE-292 / Metrofor)	103.396,78	109.917,90	6521,12	6,52	109,92											
Canal 23.01	109.917,90	111.073,00	1155,10	1,16	111,07											
Comporta de Controle 11 (CC11)	111.073,00	111.080,00	7,00	0,01	111,08											
SUB-TOTAL							10,00	26,09	7,00	8,66	2,00	1,19	35,94	4.671.174,70	2.262.843,80	

5.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

5.2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem entre os km 75+140 (montante) e o km 111+080, que para melhor entendimento da distribuição dos litotipos e características geológico-geotécnicas ao longo do traçado, foram subdivididos em trechos crescentes do estaqueamento em quilômetros.

5.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO

Trecho Km 75+140 até 111+080:

Conforme já citado o Mapa Geológico do Ceará da CPRM, mostra que o contato entre a Formação Missão Velha e a Formação Rio Batateiras é tectônico, estando separadas por uma falha normal, nas imediações do km 49+800 (Emboque do túnel Veneza).

O Lote 3 será implantado sobre os litotipos da Formação Rio Batateiras, que se situa estratigraficamente no Grupo Araripe, conforme mostrado no **Quadro 5.2**.

Quadro 5.2 - Coluna Lito-Estratigráfica

Coluna Estratigráfica		Lito-Estratigrafia		Símbolo
Era	Período	Grupo	Formações	
Cenozóica	Quaternário		Aluviões e Colúvios	NQc
	Terciário			
Mesozóica	Cretáceo	Araripe	Arajara	K1aa
			Santana	K1as
			Rio Batateiras	K1arb
		Vale do Cariri	Abaiara	K1va
			Missão Velha	J3k1vm
			Brejo Santo	J3vb
Paleozóica	Siluriano		Mauriti	Sm
Embasamento Cristalino	Pré-Cambriano	Cachoeirinha		NPcsg NP3γ3i NP3γ2i

Fonte: Adaptada de Ponte (1992)

A Formação Rio Batateiras é constituída na unidade basal predominantemente de fácies arenosas com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados. Os arenitos apresentam texturas finas a médias, subarredondados a subangulares, em geral bastante friáveis, argilosos e micáceos, às vezes seixos e/ou portadores de feldspatos caulinizados e pelotas de argila. A estratificação é cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, comparecendo também feições sigmoidais. Estes sedimentos se apresentam em ciclos com granodecrescência ascendente que culminam em intervalos pelíticos, interpretados como fluvio-lacustres, não só pelas litologias e estruturas sedimentares, mas pela presença de fósseis continentais (Assine, 1992).

Sondagens e levantamentos estratigráficos realizados nos túneis Veneza, Cabaceira e Arajara, exibem dois ciclos com granodecrescência ascendente. No trecho em referência e se estendendo inclusive no túnel Cabaceira ocorre uma camada de folhelhos pirobetuminosos pretos de aproximadamente oito metros, que se encontra entre o arenito inferior do primeiro ciclo e arenitos superior do segundo ciclo. Este intervalo, em meio ao qual se encontra uma camada decimétrica de calcário com aspecto brechóide e mineralizada em sulfetos, foi denominada “seqüência plumbífera do Araripe” por Farina (1974) e “camadas Batateiras” por Hashimoto et al. (1987).

Os folhelhos apresentam no geral foliação sub-horizontal, mas poderá ocorrer inclinações desfavoráveis localizadas, somente constatadas e solucionadas com a exposição da escavação dos canais. São plásticos e pegajosos quando molhados, e duro quando secos, podendo localmente apresentar teor de matéria orgânica. Estão sujeitos à contração volumétrica, apresenta estrutura de paralelepípedo, sendo comum a presença de slickensides nas superfícies dos paralelepípedos. Apresentam planos de fraqueza isolados e sem padrão, um pouco espelhados, podendo originar fortes escorregamentos. Além disso, é típico o desprendimento de fragmentos milimétricos a centimétricos, com forma aproximadamente discoide. Quando as litologias dessa unidade estão expostas às condições intempéricas, este processo é denominado de empastilhamento, sendo mais frequente nos siltitos.

Estudos petrográficos comparativos realizados nos arenitos friáveis da Formação Missão Velha e Rio Batateiras sinalizaram que os arenitos da segunda Formação são mais recentes, tanto mineralógica quanto textural, visto que os feldspatos possuem baixo grau de seleção, baixo grau de arredondamento e maior porcentagem de argilominerais e fragmentos de rocha. Os arenitos da Formação Rio Batateiras apresentam cores amareladas e esbranquiçado, friáveis a pouco coerentes, com as estruturas sedimentares típicas.

Especial atenção para o trecho aproximado entre as estacas do Km 87.000 a 89.000, caracterizado pela presença de folhelho, que adentra no túnel Cabaceira situado entre os km 88+752 (montante) e o km 89+144 (jusante). Os folhelhos são materiais bastante conhecidos no meio técnico, e no trecho citado apresentam texturas predominantemente siltosas, com pouco argila e areia fina, de baixa plasticidade, pouco coesivo e certamente baixo ângulo de atrito, que lhes confere baixa resistência ao cisalhamento. Ou seja nestas litologias com ângulo de atrito baixo, e ainda dependendo da atitude das camadas, no geral, quando saturados podem causar escorregamentos.

Esta Formação ocorre capeada ou mascarada por depósitos coluvionares de vários metros de espessura e com depósitos aluvionares nos riachos principais: Riacho Seco, Riacho São Francisco e Rio Batateiras.

O solo residual de arenitos da Formação Rio Batateiras apresenta texturas de areias argilosas ou siltosas, de baixa plasticidade, avermelhadas, com boas características geotécnicas para aterros.

Relativo à estabilidade dos cortes, os arenitos exibem encostas subverticais com algumas dezenas de metros de altura, conforme Lote 2 (Sifão Barreiros - km 69+700). As condições de estabilidade são entretanto condicionadas à presença de folhelhos. A partir do km 77+900 (desemboque Sifão Roncador II) ocorre com maior incidência, a exemplo do corte no km 78+700, com dezenas de metro de altura, de uma jazida de solo de terceiros, ativa. (Foto 5.1)



Foto 5.1–Lote 3: Jazida de folhelhos no km 78+700, nas imediações do canal adutor.

5.2.3 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Os taludes que compõem as encostas de maior criticidade ao longo do Lote 3 foram objetos de análises de estabilidade, tendo sido selecionados 06 (seis) seções transversais tipo com a geometria de escavação e aterro compactado que compõem o projeto. Para cada seção foram analisadas as seguintes condições: nível de água na condição mais crítica (fundo do canal); nível de água seco (abaixo da linha de referência, El. 460). As análises foram realizadas pelo Método de Bishop Simplificado, utilizando o software GeoSlopeW.

Todas as seções analisadas não apresentaram nenhum problema de estabilidade, com fator de segurança superior a 1,5. Portanto não foi necessário adotar nenhuma ajuste projeto.

Os parâmetros geotécnicos adotados para os materiais dos perfis analisados constam no **Quadro 5.3**.

Quadro 5.3 - Lote 3 - Parâmetros Geotécnicos Adotados dos Materiais

Tipo de Solo	d (kN)	C (kPa)	ϕ
Solo Residual	19	12	32°
Rocha Alterada	24	10	35°
Rocha São Coerente	26	30	40°

Figura 5.1 - Lote 3 – Seção km 92+660: Taludes de Escavação de Projeto – Análise de Estabilidade do Talude Esquerdo com NA no Fundo do Canal (FS =1,698)

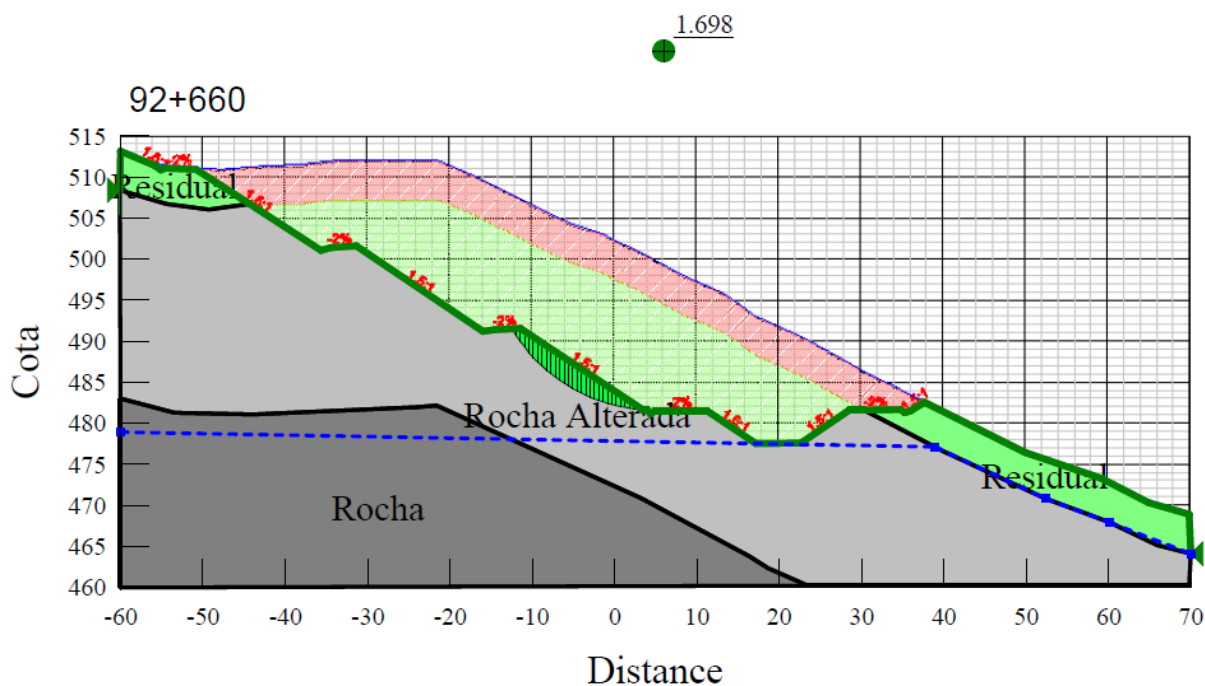




Figura 5.2 - Lote 3 – Seção km 92+660: Taludes de Escavação de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude Esquerdo com NA Seco (FS =1,698)

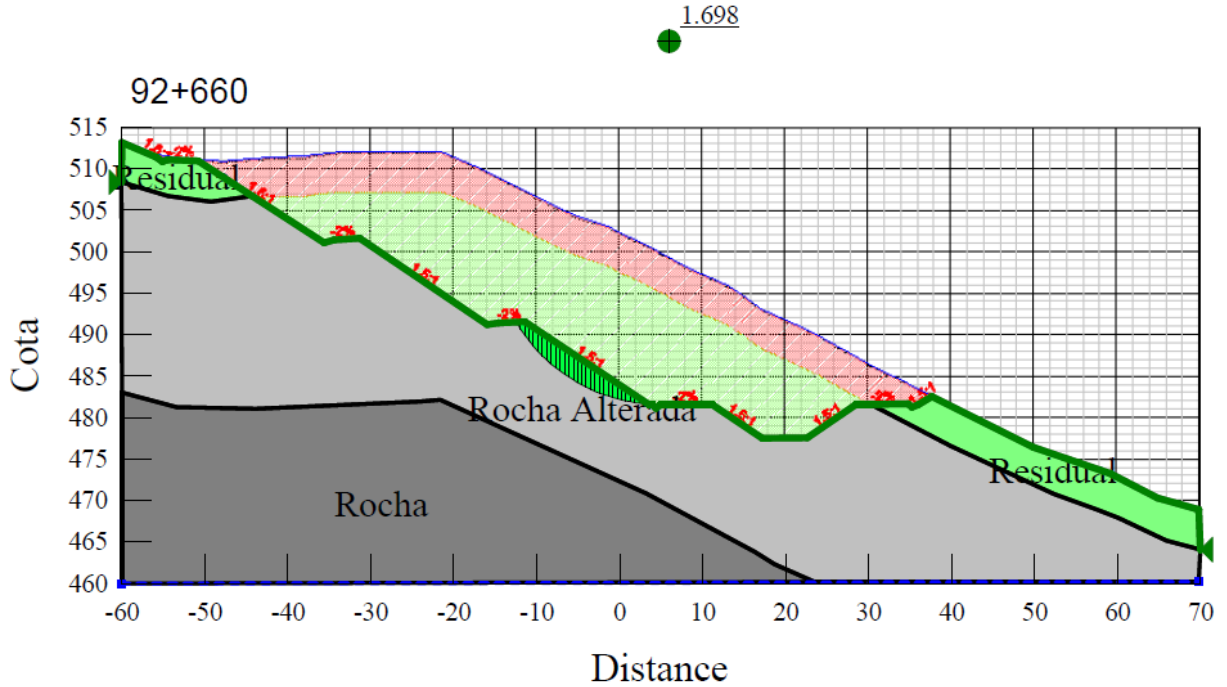


Figura 5.3 - Lote 3 – Seção km 92+660: Talude de Escavação de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude Direito com NA no Fundo do Canal (FS =2,258)

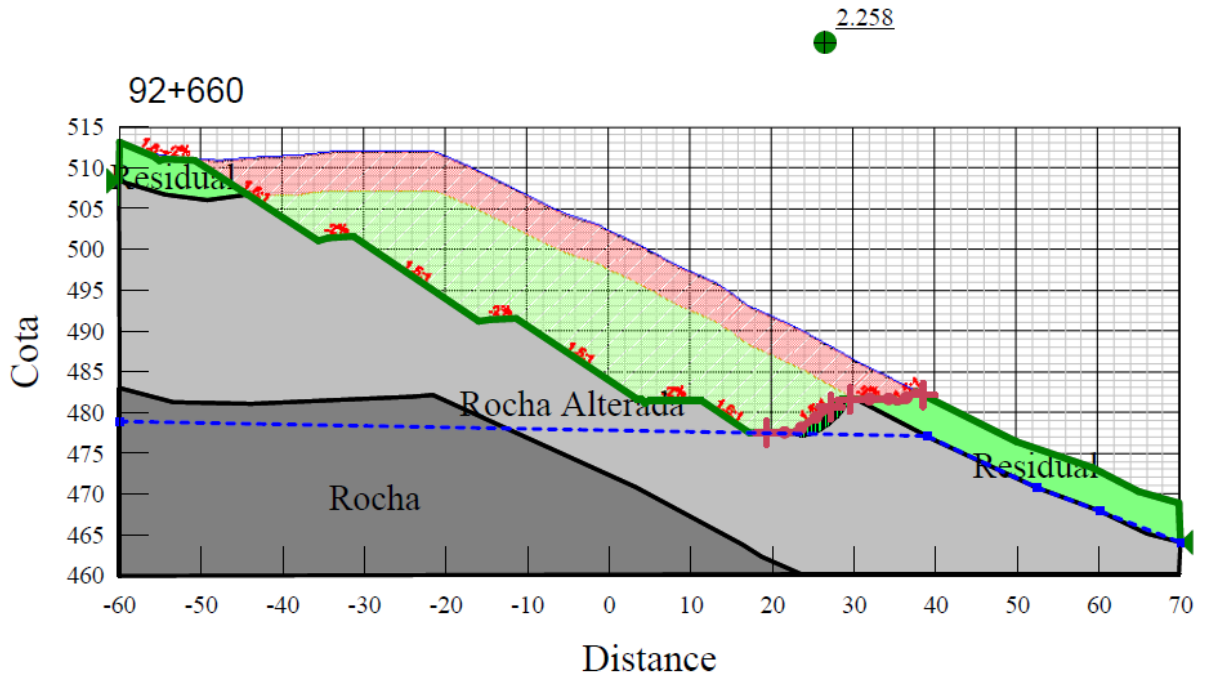
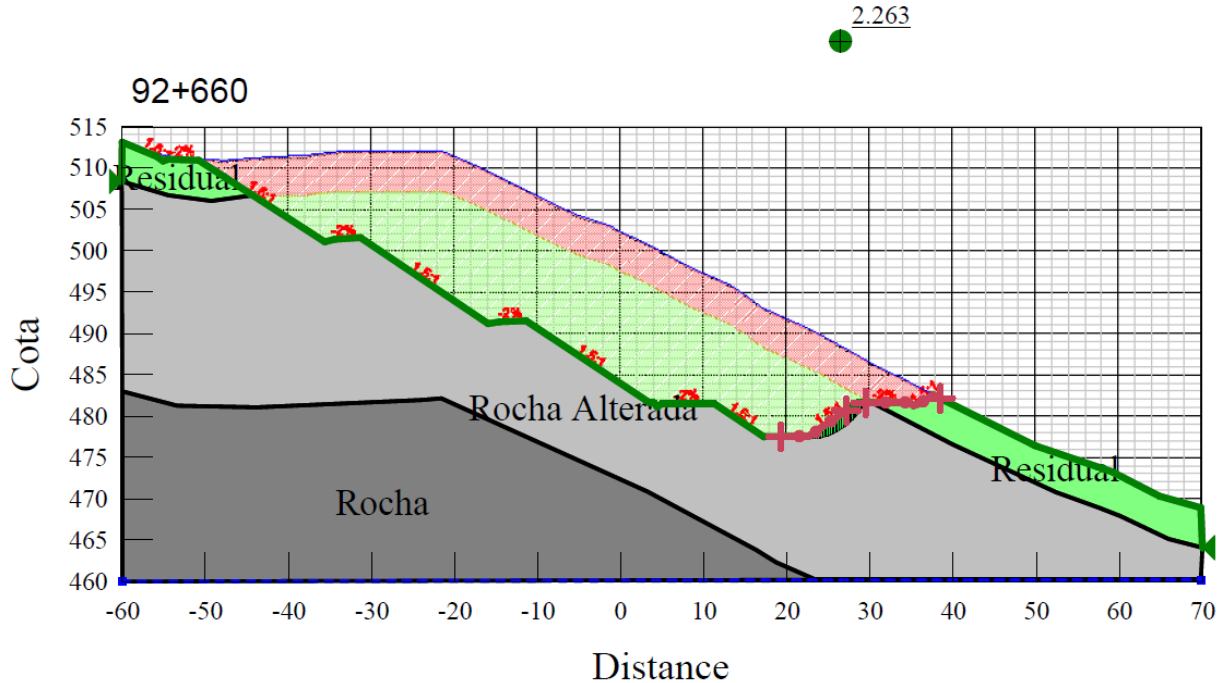


Figura 5.4 - Lote 3 – Seção km 92+660: Talude de Escavação de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude Direito com NA Seco (FS =2,263)

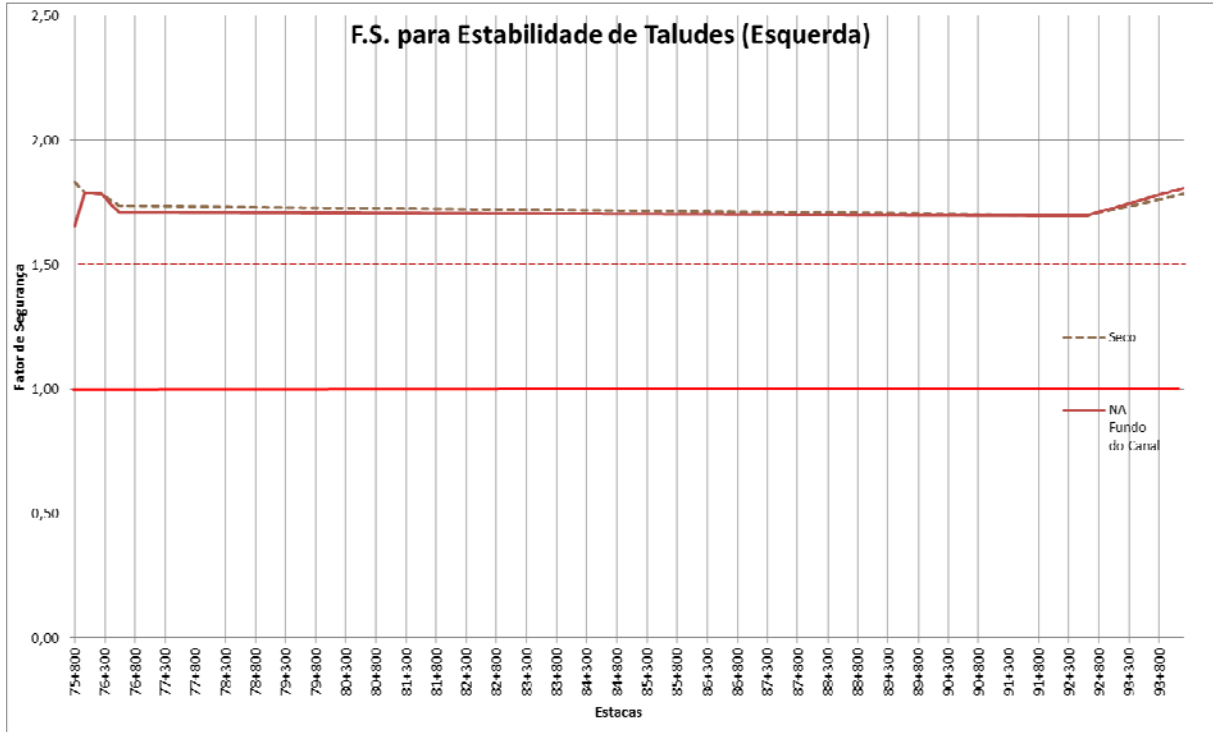


Observar nos Quadros 5.4 e 5.5 e nos gráficos das Figuras 5.5 e 5.6 que o nível d'água praticamente não afeta a estabilidade do talude, visto que o mesmo com a exposição da rocha (superfície livre) é naturalmente drenado (curvas coincidem). duas ocorrências com pequenas variações no FS (**Quadros 5.4 e 5.5**), certamente se devem às pequenas variações na geometria dos taludes, detectados pelo software.

Quadro 5.4 - Lote 3 – Talude Esquerdo de Projeto: Análise de Estabilidade (FS) de 15 Seções: Influência do Nível D'água.

Talude Esquerdo de Projeto (N.A. Seco)		Talude Esquerdo de Projeto (N.A. Fundo do Canal)	
ESTACA	F.S.	ESTACA	F.S.
75+800	1,83	75+800	1,66
75+960	1,79	75+960	1,79
76+240	1,78	76+240	1,78
76+540	1,74	76+540	1,71
92+660	1,70	92+660	1,70
94+200	1,79	94+200	1,81

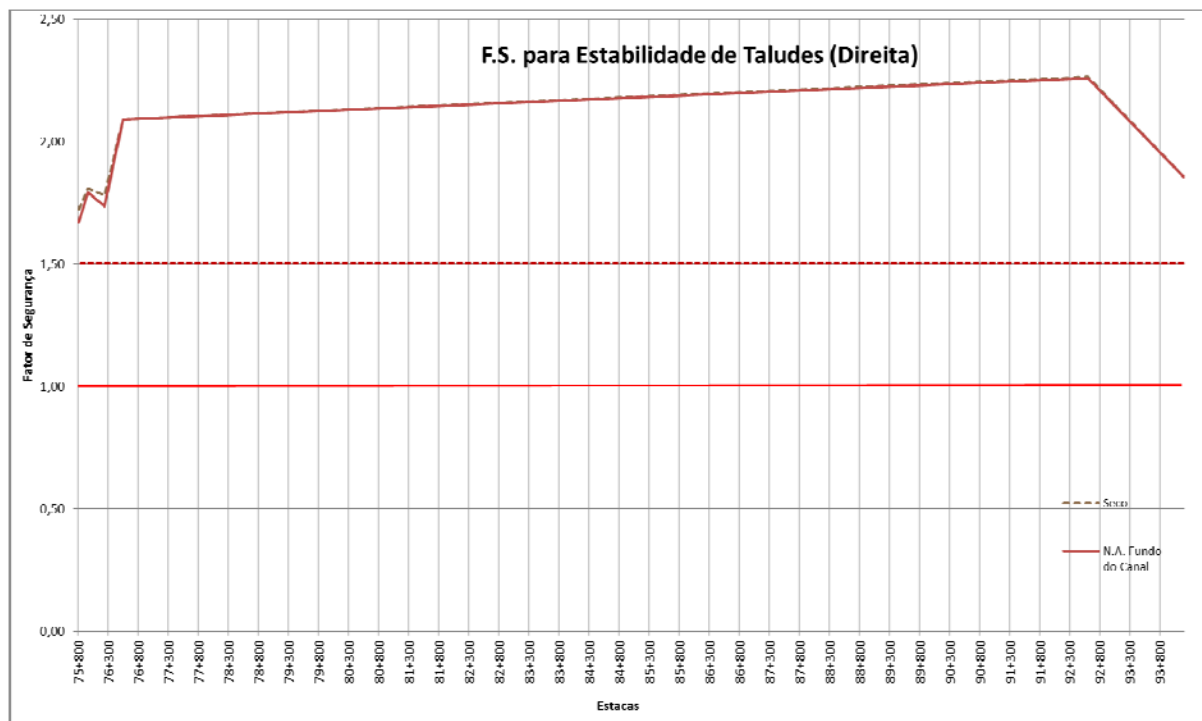
Figura 5.5 - Lote 4 – Talude Esquerdo de Projeto: Gráfico do Trecho Est. (km) x Fator de Segurança



Quadro 5.5 - Lote 3 – Talude Direito de Projeto: Análise de Estabilidade (FS) de 15 Seções: Influência do Nível D'água.

Talude Direito de Projeto (N.A. Seco)		Talude Direito de Projeto (N.A. Fundo do Canal)	
ESTACA	F.S.	ESTACA	F.S.
75+800	1,72	75+800	1,67
75+960	1,81	75+960	1,79
76+240	1,78	76+240	1,74
76+540	2,09	76+540	2,09
92+660	2,26	92+660	2,26
94+200	1,86	94+200	1,86

**Figura 5.6 - Lote 3 – Talude Direto de Projeto:
Gráfico do Trecho Est. (km) x Fator de Segurança**



5.2.4 - SOLUÇÃO DE PROJETO EM SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA

O trecho aproximado entre as estacas do Km 85.000 a 89.000, caracterizado pela presença de uma camada de provável folhelho com características geotécnicas inadequadas para implantação do projeto executivo original do canal.

Os folhelhos são materiais bastante conhecidos no meio técnico, e no local se nos apresentam com texturas predominantemente siltosas, com pouco argila e areia fina, de baixa plasticidade, muito pouca a nenhuma coesão e baixo ângulo de atrito (faixa de 100 a 200), que lhes confere baixa resistência ao cisalhamento.

O projeto neste trecho consiste de retaludamento das áreas de ocorrência de folhelho, com bermas executivas devidamente drenadas e protegidas contra a infiltração d'água, acima da seção do canal e, nesta o solo de folhelho é substituído por solo de qualidade adequada, compactado, a exemplo dos solos coluvial e residual de arenito, incluindo o rebaixo do piso e os taludes.

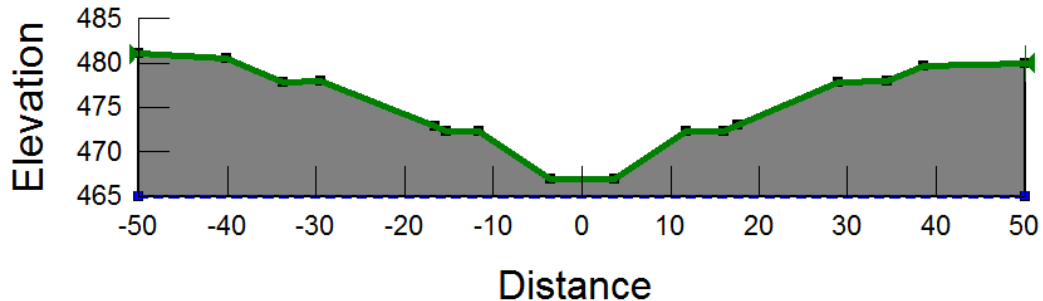
A **Figura 5.7** é uma seção transversal típica de escavação em trecho com ocorrência de espessa camada de folhelho, com taludes externos com inclinação de 1V: 2,5H e na seção do canal com inclinação de 1V: 1,5H. Para esta situação a fundação da base do canal será rebaixada 2,0m em folhelho, para confirmação da ocorrência do mesmo até esta profundidade, e possibilitar a marcação dos limites geométricos dos taludes externos (off sets).



Quadro 5.6 - Dados Gerais das Análises de Estabilidade de Seções Transversais do Lote 3

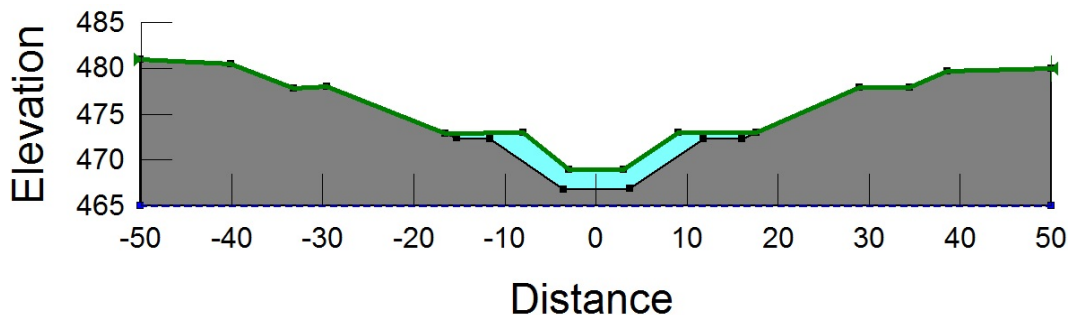
ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Solução	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS								
				RESIDUAL			ROCHA ALTERADA			ROCHA		
				d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ
75+800	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,833	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,833	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,722	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,670	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
75+960	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,790	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,790	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,808	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,792	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
76+240	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,783	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,783	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,780	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,735	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
76+540	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,737	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,709	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,089	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,089	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
78+540	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,781	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,757	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,711	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,711	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
92+660	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,698	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,698	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,263	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,258	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
94+200	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquedo Sem Água	1,785	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquedo N.A Fundo do Canal	1,809	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,856	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,856	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°

Figura 5.7 – Seção transversal de escavação (retaludamento) e na seção do canal em trecho com ocorrência de espessa camada de folhelho.



A **Figura 5.8** mostra a seção do canal reaterrada com solo compactado (o mesmo previsto no projeto executivo original) em substituição ao folhelho, com 2m de espessura na base, nas cristas com 0,6m de espessura e nos taludes com largura de 4m, restando somente os excessos para serem retirados quando da execução do revestimento. A compactação conforme previsto na ET, já citada, deverá apresentar camadas com espessura máxima após compactação igual a 20 cm, com grau de compactação entre 97% e 100% da densidade seca máxima de laboratório do Proctor Normal e teor de umidade próximo à ótima (+2%).

Figura 5.8 – Seção transversal de escavação (retaludamento) concluída e a seção do canal reaterrada com solo compactado em substituição ao folhelho



No **Anexo 11.1** consta a memória técnica-cálculo, com o desenvolvimento da metodologia construtiva da solução adotada do projeto executivo.





6 - LOTE 4

6.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Lote 4 com 34,241km é composto pelas obras civis de adução, incluindo também o fornecimento e montagem dos sifões do subtrecho que inicia no subtrecho Canal 23.02 após o Sifão do Crato e termina na obra de deságue no Rio Cariús (excluindo os túneis Boa Vista, Cruzeiro, Pai Mané e Carnaúba e, os respectivos emboques, desemboques destes e falsos túneis). Os subtrechos de acordo com os tipos de obras estão discriminados no Quadro 6.1, a seguir.

Quadro 6.1 – Localização e Extensão das Obras Componentes do Lote 4

Obra	Inicial	Final	Extensão	Extensão (km)	Extensão acumulada	EXTENSÃO DAS OBRAS						EXTENSÃO TOTAL / FRENTE (KM)	VOLUMES DE CORTE (M3)	VOLUMES DE ATERRO (M3)	
						CANAIS		SIFÕES		TÚNEIS					
						QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO - INCLUSIVE EMBOQUE/DESEMBOQUE (M)				
Canal 23.02	111.080,00	111.211,78	131,78	0,13	111,21										
Túnel 6 - Boa Vista	111.211,78	111.211,78	0,00	0,00	111,59					1	0,52	0,52			
Canal 24.01	111.592,78	111.602,78	10,00	0,01	111,60										
Canal 24.02	111.602,78	113.617,75	2014,97	2,01	113,62										
Sifão 18 - Sovado	113.617,75	113.884,91	267,16	0,27	113,88										
Canal 25	113.884,91	115.991,39	2106,48	2,11	115,99	3	6,67	2	0,73			7,40	802.495,00	713.873,80	
Sifão 19 - Serra do Juá	115.991,39	116.450,09	458,70	0,46	116,45										
Canal 26	116.450,09	119.000,00	2549,91	2,55	119,00										
Canal 26.1	119.000,00	120.380,00	1380,00	1,38	120,38										
Canal 27.01	120.380,00	125.127,85	4747,85	4,75	125,13	2	6,13					6,13	817.348,90	476.079,50	
Comporta de Controle 12 (CC12)	125.127,85	125.134,85	7,00	0,01	125,13										
Canal 27.02	125.134,85	125.251,85	117,00	0,12	125,25										
Túnel 7 - Cruzeiro	125.251,85	125.251,85	0,00	0,00	125,67					1	0,94	0,94			
Canal 28.01	125.607,85	126.070,85	463,00	0,40	126,07										
Canal 28.02	126.070,85	127.818,62	1747,77	1,75	127,82										
Sifão 21 - Pai Mané	127.818,62	128.139,20	320,58	0,32	128,14										
Comporta de Controle 13 (CC13)	128.139,20	128.146,20	7,00	0,01	128,15	3	2,34	1	0,32			2,66	517.722,30	348.092,90	
Canal 29.01	128.146,20	128.726,67	580,47	0,58	128,73										
Canal 29.02	128.726,67	128.741,67	15,00	0,02	128,74										
Túnel 8 - Pai Mané	128.741,67	129.025,07	283,40	0,28	129,03					1	0,43	0,43			
Canal 30.01	129.025,07	129.153,07	128,00	0,13	129,15										
Canal 30.02	129.153,07	135.754,28	6600,61	6,60	135,75	1	6,60					6,60	543.780,30	934.030,50	
Canal 30.03	135.754,28	135.796,28	42,00	0,04	135,80										
Túnel 9 - Carnaúba	135.796,28	136.093,28	297,00	0,29	136,09					1	0,37	0,37			
Canal 31.01	136.093,28	136.119,28	26,00	0,03	136,12										
Canal 31.02	136.119,28	137.000,00	880,72	0,88	137,00	1	0,88					0,88	281.764,90	83.573,90	
Canal 31.03	137.000,00	138.876,59	1876,59	1,88	138,88										
Sifão 22 - Caldeirão	138.876,59	139.199,38	322,79	0,32	139,20										
Canal 32	139.199,38	140.920,97	1721,59	1,72	140,92										
Sifão 23 - Canoas 1	140.920,97	141.295,35	374,38	0,37	141,30										
Canal 33	141.295,35	142.565,88	1270,53	1,27	142,57										
Sifão 24 - Canoas 2	142.565,88	142.775,88	210,00	0,21	142,78										
Canal 34	142.775,88	143.401,65	625,77	0,63	143,40										
Sifão 25 - Fundo 1	143.401,65	143.624,99	223,34	0,22	143,62										
Comporta de Controle 14 (CC14)	143.624,99	143.631,99	7,00	0,01	143,63										
Canal 35	143.631,99	143.864,25	232,26	0,23	143,86										
Sifão 26 - Fundo 2	143.864,25	143.982,06	117,81	0,12	143,98										
Canal 36	143.982,06	145.321,85	1339,79	1,34	145,32										
SUB-TOTAL			34.241,85	34,24	4.950,96	17,00	29,70	8,00	2,29	4,00	2,25	34,24	4.129.250,09	3.110.658,86	

6.2 - ASPECTOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS

6.2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, com o canal situado entre os km 111+080 (montante) e o km 145+321 (jusante), que para melhor entendimento da distribuição dos litotipos e características geológico-geotécnicas ao longo do traçado, foram subdivididos em trechos crescentes do estaqueamento em quilômetros.

6.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA AO LONGO DO TRAÇADO

Trecho Km 111+080 até 113+300:

Neste trecho, situado na borda da bacia sedimentar ocorrem os folhelhos, siltitos e arenitos da Formação Brejo Santo (J3vb). Apresentam estratificação sub-horizontal, com estruturas de acanalamento (Foto 6.1), que compreende uma estrutura preservada do

sedimento original alongada na direção do fluxo, termo também usado em interpretações geofísicas: “efeito é causado pelo acanalamento das correntes ao longo da direção principal da estrutura”.

Os arenitos são pouco coerentes (C3) a incoerentes (C4), portanto friáveis, de cor amarelada, apresentam estratificação cruzada de pouca persistência, em camadas de espessuras centimétricas a métricas com variações laterais, intercalando os siltitos e folhelhos acinzentados e amarelados (quando totalmente intemperizados).

Ensaio realizado nos folhelhos confirmaram suas características expansivas (Quadro 6.2).

Quadro 6.2 - Ensaio de Expansão Livre no Folhelho

Amostra	Umidade Natural (%)	Expansão Livre (%)	Pressão inicial	Pressão de Expansão (KPa)
SR-26 (26,10 –28,35 m)	12,90	6,05	13	153

O produto do intemperismo destes materiais são utilizados como matéria prima na fabricação de tijolos, telhas, de empresas da região do Crato/CE.



Foto 6.1 - Lote 3, região do Emboque do Túnel Boa Vista (km 111+215), mostrando estruturas de acanalamento – Corte de Jazida da iniciativa privada de empresas da região do Crato/CE.

No limite da bacia sedimentar (trecho Km 113+170-113+300), volta a florir os litotipos da Formação Mauriti (Sm), conforme mostrado na Foto 6.2.



Foto 6.2 - Ocorrência de arenito da Formação Mauriti no km 113+200

Trecho Km 113+300 até 119+430:

A partir da estaca 113+300, a litologia muda radicalmente, com novos afloramentos de rochas do complexo cristalino. Ocorrem um corpo intrusivo de rocha granítica e granodiorítica, de contato brusco e discordante com as unidades metassedimentares encaixantes, desenvolvendo, nas faixas de contato, auréolas de contato, com hornfels e tectônica ativa de borda. O granodiorito possui uma fácies grosseira, rósea, com encraves básicos e uma fácies mais fina, de coloração mais cinza. Na área existe uma pedreira em exploração comercial (Petrobrita), em plena atividade.

A **Figura 6.1** representa uma alteração diferencial, com blocos e matacões arredondados de tamanho métrico envolvidos no horizonte de solo saprolítico, resultante da ação intempérica que atuou ao longo das faturas ou zonas de menor resistência, representando mais uma condição de instabilidade para os cortes do canal.

Sondagens rotativas executadas detectaram um horizonte de solo saprolítico de 8m (na SR-102) e 26 m (na SR-103), realizadas no corte do km 119+400. Matacões superficiais compõem os depósitos de tálus das encostas, sendo comum (Foto 6.3).

Trecho Km 119+430 até 120+900:

O canal adutor, no trecho em referência, atravessa uma das regiões mais íngremes do CAC.

Com geologia simples continua atravessando o cristalino no limite entre duas Suítes: a primeira os granitóides do trecho anterior, e a segunda um micaxisto mosqueado de metamorfismo de contato, com estrutura porfiroblástica com estauroilite, com presença localizada de migmatitos. Muito comum as coberturas colúvias e depósitos de tálus.

Figura 6.1 - Corte típico da ação intempérica nos granitos do cristalino

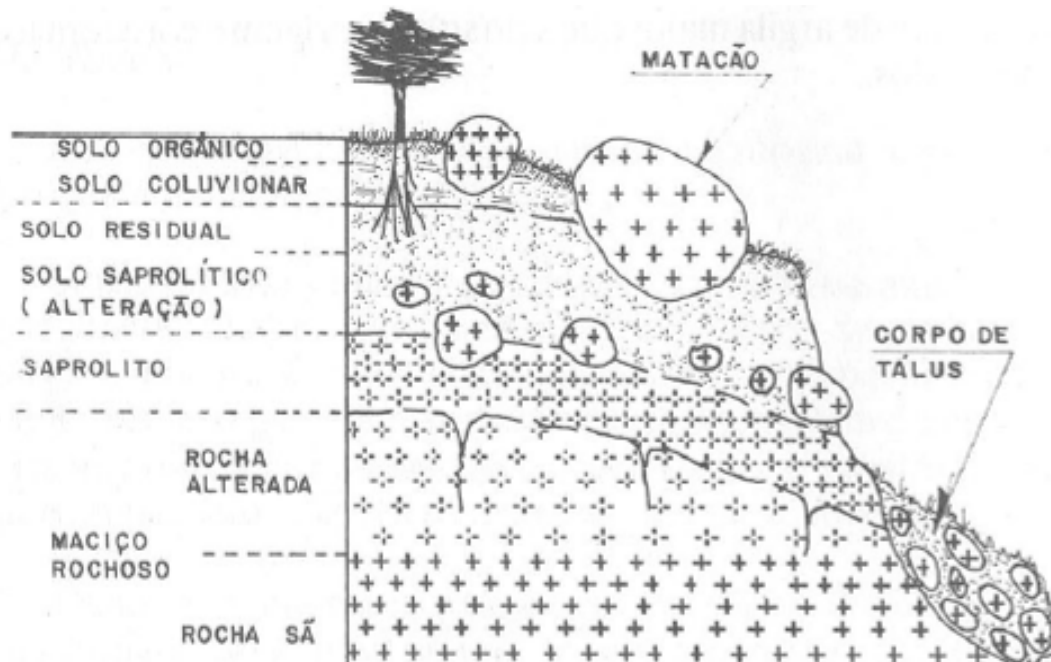
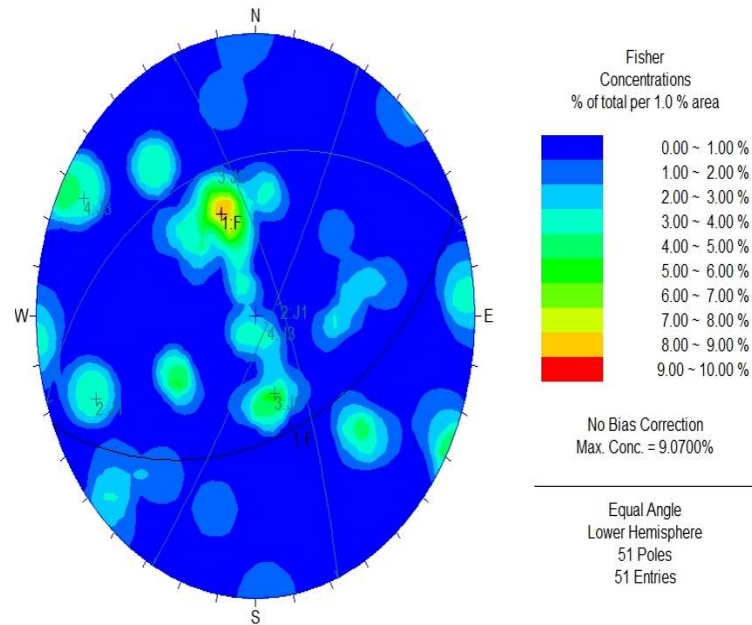


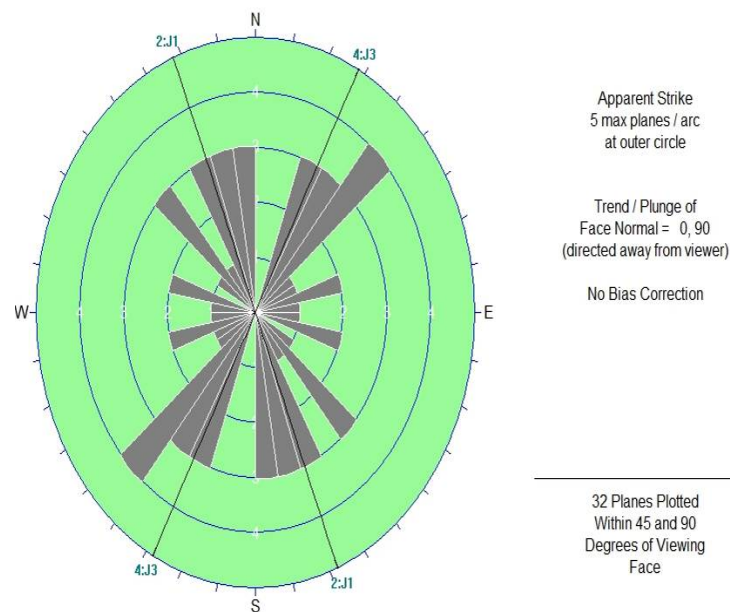
Foto 6.3 - Matações superficiais de granito no km 116+000

Estruturalmente atitudes medidas em micaxistos mosqueados indicaram xistosidade com direção E-W (Figura 6.3), coincidente com o trend regional da Província de Borborema, com mergulho 45° S, com presença de no mínimo três famílias de diaclases. Considerando que os cortes para implantação do canal são inclinados para Norte, as condições de estabilidade são favoráveis, e o desenvolvimento de eventuais cunhas serão a partir de diaclases secundárias de pequena persistência, portanto de diminuta massa rochosa.

**Figura 6.2 - Estereograma dos polos dos planos das
descontinuidades mais importantes de micaxistos mosqueados**



**Figura 6.3 - Diagrama em rosetas da direção dos planos das
descontinuidades em micaxistos mosqueados, correspondente da figura 6.2.**



Os granitos apresentam outro padrão de fraturamento, com três diaclases principais de grande persistência e abertas (> 5 mm), planos rugosos. Os granitóides são predominantes medianamente a pouco alterados e muito coerentes, com pequena espessura de solo residual (saprolítico).



Foto 6.4 - Ocorrência de granito com diaclases abertas km 120+500

Figura 6.4 - Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades mais importantes em granitos

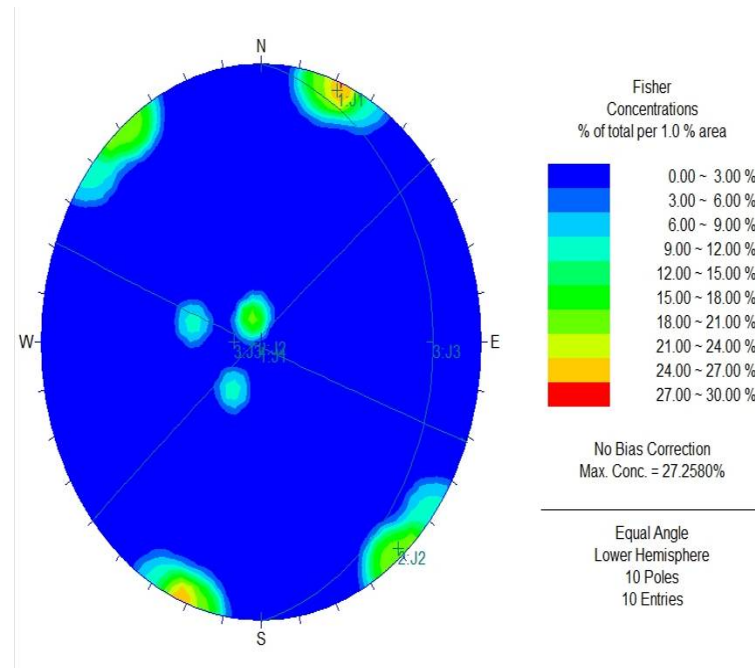


Figura 6.5 - Diagrama em rosetas da direção dos planos das discontinuidades em granitos, correspondente da figura 6.4.

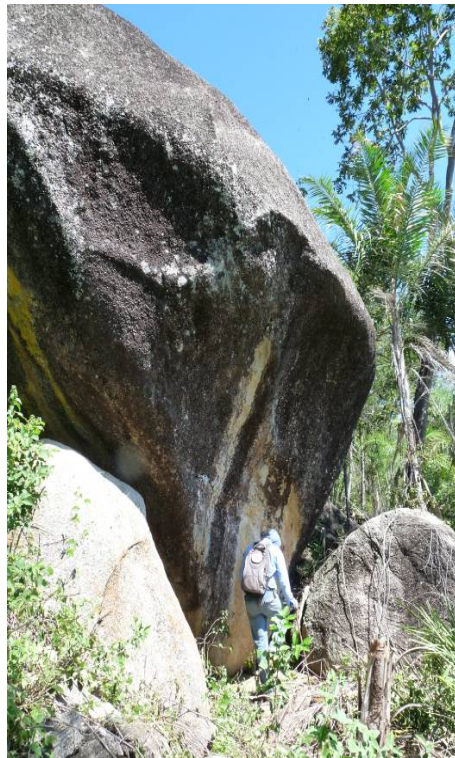
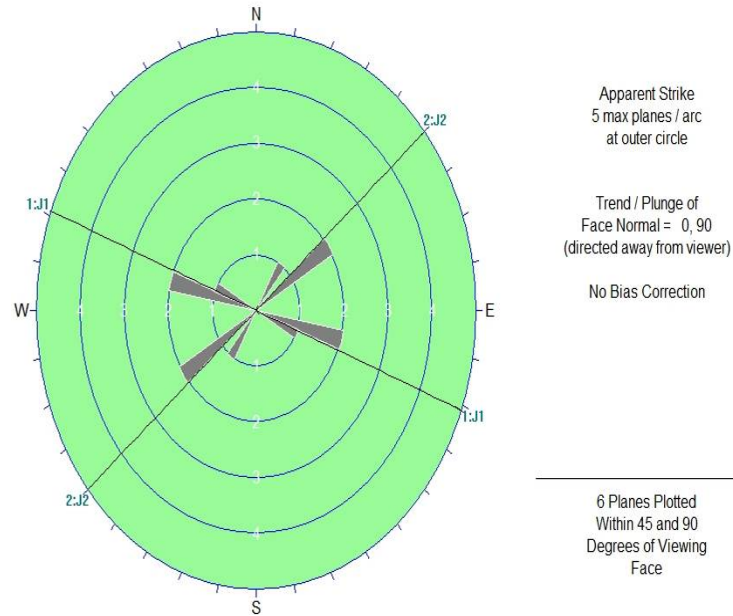


Foto 6.5 - Matacão de granito (depósito de tálus) no km 120+060

Em termos geomecânicos os taludes projetados são estáveis, embora ocorram depósitos de tálus com presença de matações de granito dispersos ao longo do trecho (Foto 6.5).

Trecho Km 120+900 até 121+400:

Neste trecho o canal decorre ainda no cristalino associado à Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), pertencente ao Grupo Cachoerinha, representado por metagnaisse medianamente alterado (A3), coerente (C1), apresentando superficialmente juntas abertas (Foto 6.6).



Foto 6.6- Ocorrência de metagnaisse no km 121+120

Figura 6.6 - Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades mais importantes em gnaisse.

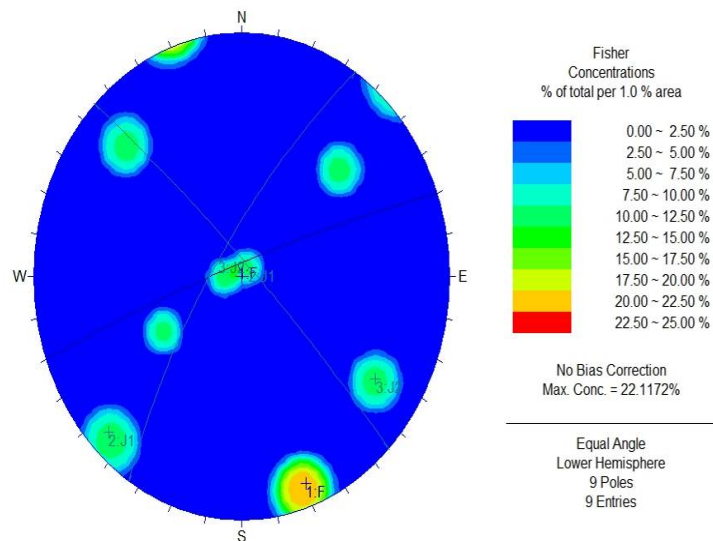
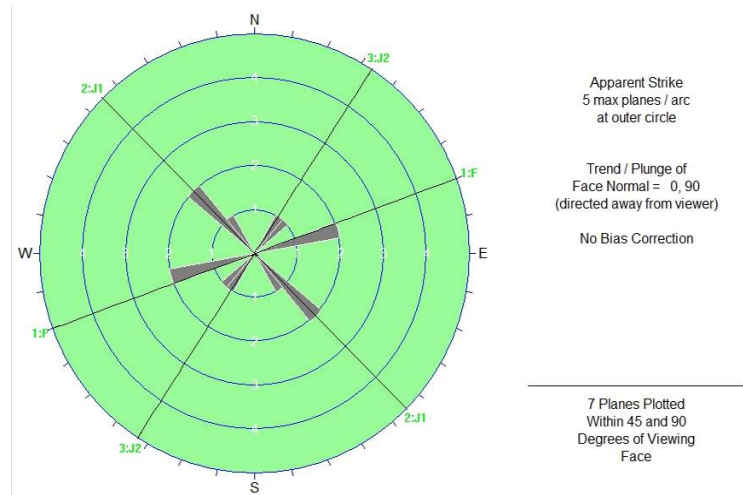


Figura 6.7 - Diagrama em rosetas da direção dos planos das discontinuidades em gnaiss, correspondente da Figura 6.6.



Trecho Km 121+400 até 130+870:

O canal volta atravessar os filitos e micaxistos mosqueados (Figuras 6.8 e 6.9) da Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), (Km 121+400 - 123+650), e conforme os dois trechos anteriores são frequentes os matacões de granito e depósitos de tálus, sobretudo entre os km 122+800 e 123+650.(Fotos 6.7 e 6.8).

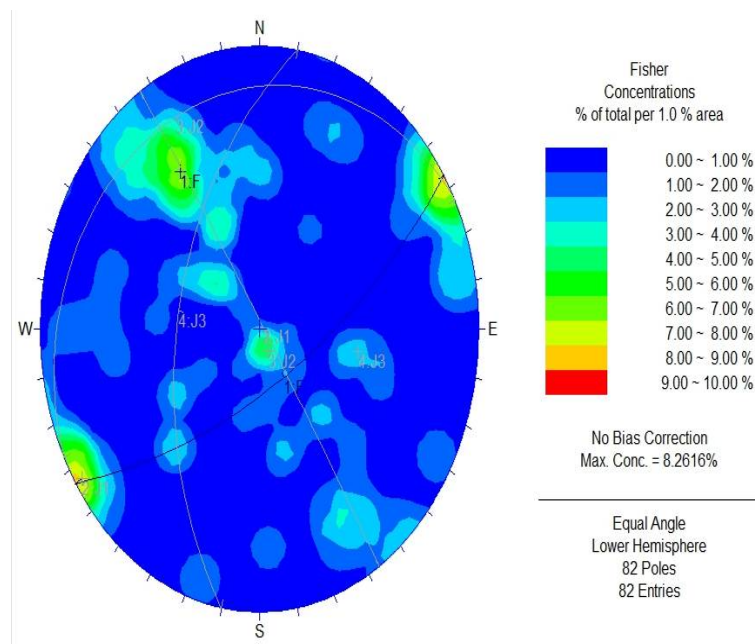


Foto 6.7- Matacões de granito acima dos filitos da Formação Santana dos Garrotes



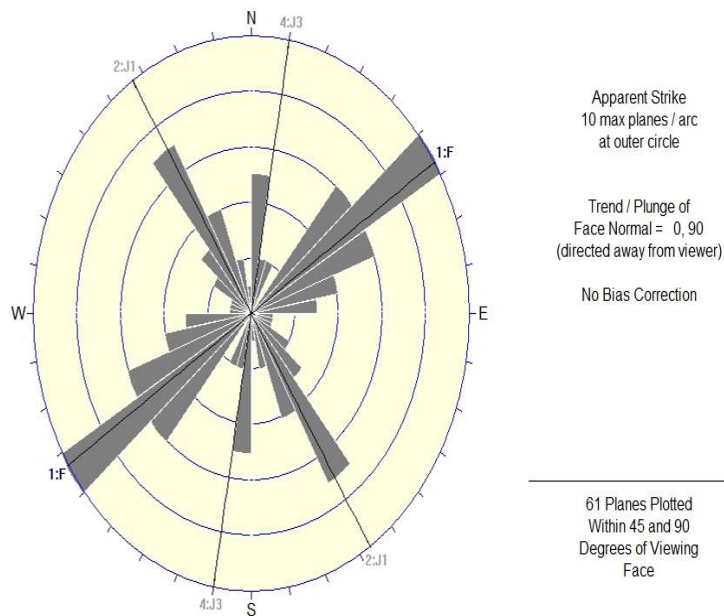
Foto 6.8- Depósitos de tálus no km 123+650

Figura 6.8 - Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades mais importantes em filitos e micaxistos mosqueados



A análise das discontinuidades não apresenta riscos importantes quanto a estabilidade dos cortes para implantação do canal, visto que a estrutura mais importante, a xistosidade, tem atitude média predominante Dip/DipDiretion (67/147), portanto mergulhando para SE. Os matacões, que persistem ao longo do trecho, serão removidos na escavação obrigatória.

Figura 6.9 - Diagrama em rosetas da direção dos planos das descontinuidades em filitos e micaxistos mosqueados, correspondente da figura 6.8.



Trecho Km 123+650 até 130+870:

A partir do km 123+650 o canal volta atravessar a Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), unidade Neoproterozóica, neste trecho constituindo uma sequência vulcanossedimentar metamórfica do embasamento cristalino, representada na área por filitos, micaxistos (sericita, muscovita e biotita), de tonalidade cinzenta e esverdeada (rocha sã), metasiltitos, metarenitos e metarcóseos.

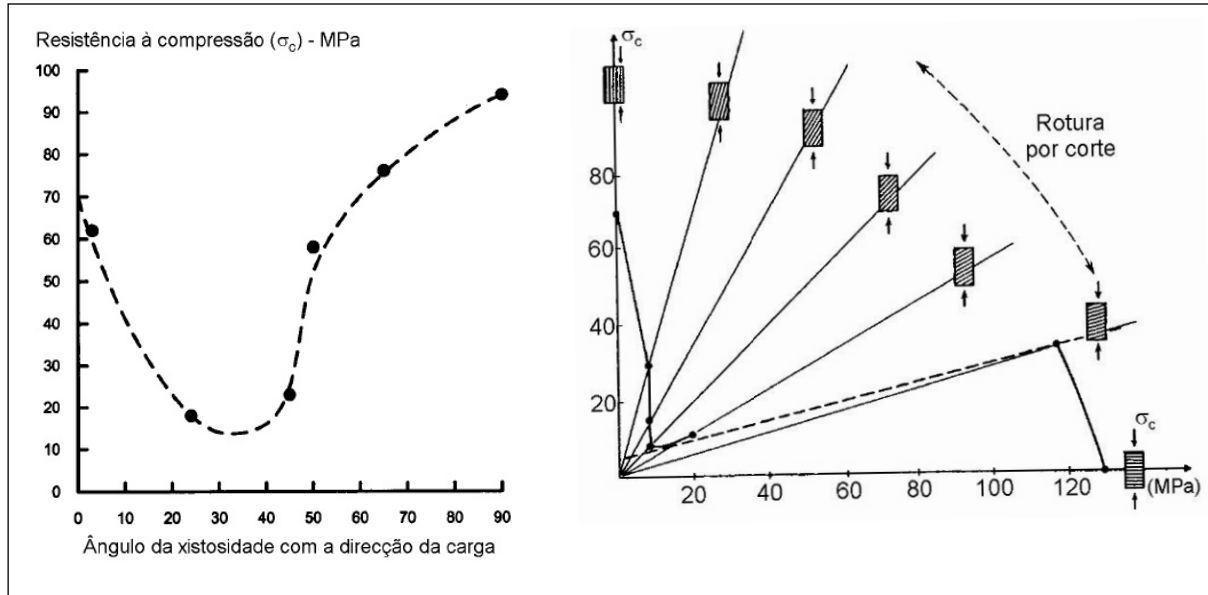
A exemplo, o Túnel Cruzeiro cruza uma elevação de alinhamento NE-SW, onde ocorrem metasiltitos (ou filitos), são coerentes e de corcinza-esverdeado ou simplesmente acinzentados, com foliação em geral subverticalizada.

Inspeções de campo realizadas ao longo do canal apontam uma espessura solo coluvial e residual pequena (inferior a 5m), com um horizonte de rocha medianamente a muito alterada (A3-A4) métrica, recobrando as rochas sã e coerentes citadas.

Sondagens realizadas tiveram baixa recuperação e consequente RQD baixo. Ensaio de compressão simples realizados em testemunho de sondagem tiveram resistências variando entre os valores de 16,50MPa e 35,05 MPa.

O plano de foliação é um plano de menor resistência e o valor obtido poderia mudar substancialmente se as mesmas amostras fossem ensaiadas com outra orientação. A anisotropia da resistência à compressão uniaxial é uma característica importante da natureza do maciço rochoso ocorrente. A Figura 6.10 mostra um gráfico onde é possível observar a variação da resistência à compressão simples em função da orientação do corte dos testemunhos de ensaio em micaxistos e filitos.

Figura 6.10 – Gráficos da Resistência à compressão simples x Ângulo da xistosidade com a direção da carga



Com relação a geologia estrutural, as atitudes medidas ao longo do canal, a partir da análise estereográfica com uso do software DIPS 5.0 mostraram a existência de no mínimo quatro famílias de descontinuidade, incluindo a foliação\xistosidade (F), que tem direção NE-SW e 56° de mergulho para SE, alinhada portanto com o “trend” regional da Província Borborema.

Concluem-se que taludes de escavação do canal com orientação NE-SW mergulhando para SE, podem ter problemas de instabilidade tipo planar, mesmo assim cortes com inclinação de 1 (H): 1 (V) reduz significativamente este risco, visto que o mergulho médio da xistosidade é superior a (56°). Eventuais risco em locais isolados podem ocorrer onde a foliação tenha mergulho inferior à 45°.

Taludes de escavação alinhados nas direções E-W ou N-S, com a foliação com mergulho menor que 45° podem formar pequenas cunhas a favor da xistosidade, podendo em um dos taludes serem potencialmente instáveis.

Desta forma os taludes de projeto foram concebidos com base nas informações de campo, considerando a xistosidade com elevada inclinação, entretanto a possibilidade de instabilidades não foi descartada, visto que em rochas metamórficas competentes a direção do plano localmente poderá mudar (por exemplo, com a formação de uma dobra), situações portanto previsíveis a serem solucionadas com a exposição das escavações.

Figura 6.11 - Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades mais importantes em filitos

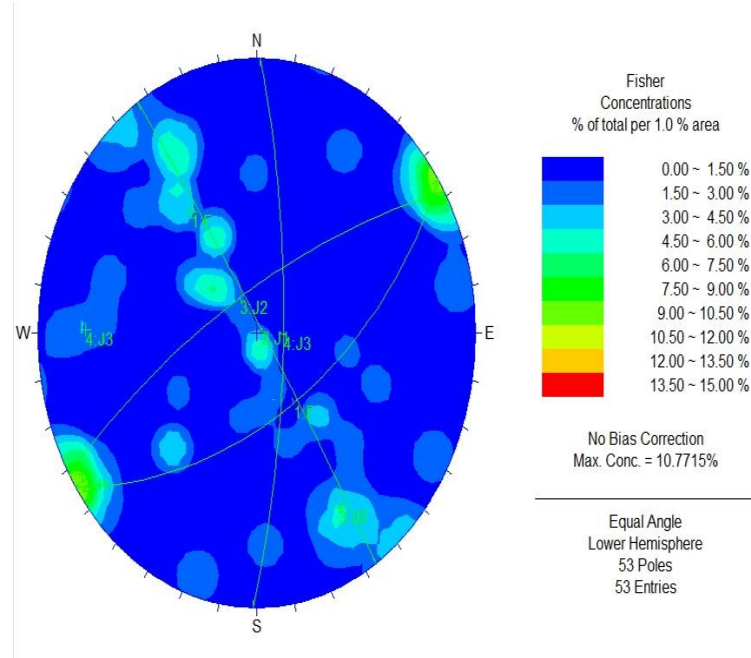


Figura 6.12 - Diagrama em rosetas da direção dos planos das discontinuidades em filitos, correspondente da figura 6.11.

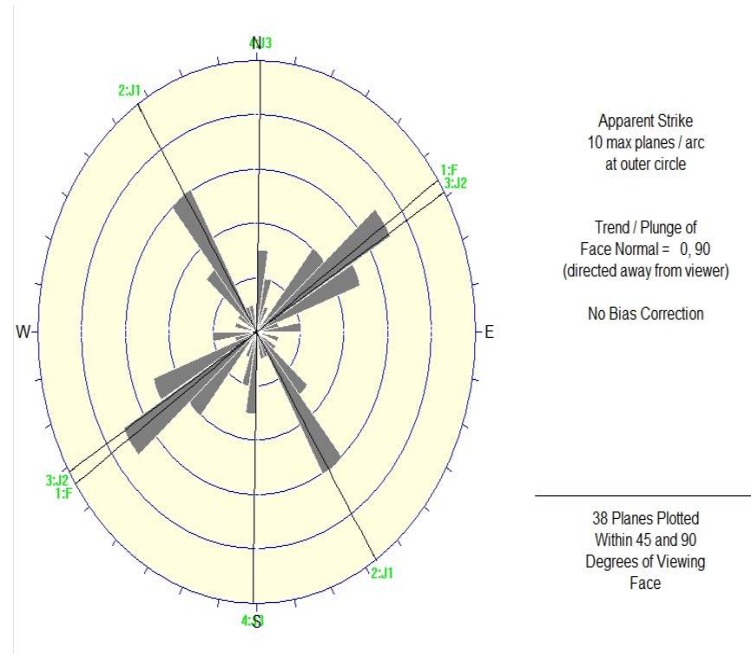




Foto 6.9- Ocorrência de filitos no km 127+530 (próximo Paí Mané)

Trecho Km 130+870 até 145+321,85:

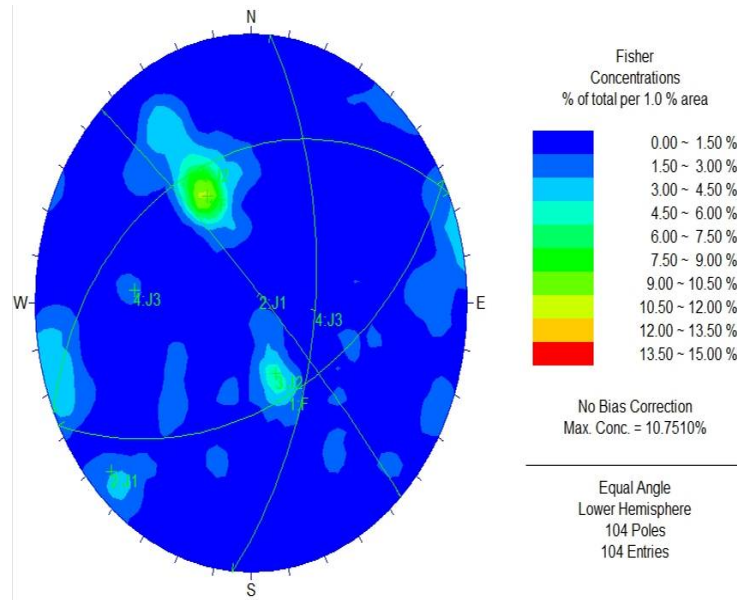
Os metassedimentos da Formação Santana dos Garrotes volta ocorrer, com predominância de filitos de cor cinza esverdeada, com níveis de quartzo branco, e ocorrências localizadas de metasiltitos, metarenitos e metagnaises. O maciço rochoso é composto de rochas medianamente a muito alterada (A3-A4), medianamente a pouco coerente (C2-C3) e medianamente a muito fraturada (F3-F4).

Do ponto de vista estrutural, foram detectadas quatro famílias de descontinuidades importantes, incluindo a xistosidade, com direção seguindo o padrão médio regional NE-SW e mergulho médio predominante 48°SE, com variações entre 30° e 78°.(Figura 6.13 e 6.14).

Ensaio de compressão simples realizados em testemunhos de sondagem apresentaram valores variando entre 4,54MPa e 37,64 MPa (em muitos casos rompeu no plano da xistosidade).

A espessura de solo residual é relativamente pequena, menor que 1,50 m.

**Figura 6.13-Estereograma dos polos dos planos das
descontinuidades mais importantes em filitos**



**Figura 6.14- Diagrama em rosetas da direção dos planos das descontinuidades em filitos,
correspondente da figura 6.13.**

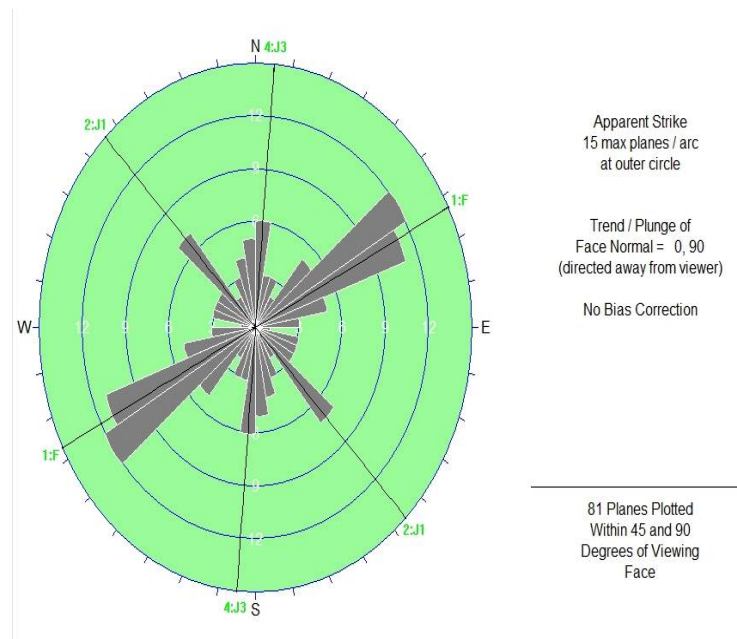




Foto 6.10 - Ocorrência de filito coerente, na área do Sifão Fundo 2 (km 143+920).

Os arenitos Silurianos da Formação Mauriti (Sm), voltou ocorrer em pequeno trecho (km133+650-133+860) em contato discordante com o cristalino. Trata-se com um trecho de topografia suave, onde o canal se desenvolve em pequenos cortes.(Foto 6.11)



Foto 6.11 - Solo residual de arenito da Formação Mauriti km 133+660

Apresenta solo residual de espessura variável, atingindo 11 m na Jazida Umari e praticamente 0,0 m no km 132+920, com textura de silte arenoso de média plasticidade (ML, IP 12%), com peso específico seco máximo (Proctor Normal) $\gamma_{max}=16,76 \text{ kN/m}^3$, umidade ótima de 18,55%, e ISC=14%. Ocorrem em pequena percentagem seixos de quartzo com diâmetro menor que 2 cm.

O trecho final do canal se desenvolve por uma região muito abrupta e íngreme em rochas da Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), com as características já descritas. Conforme mostrado na Foto 6.14 no fundo do vale a rocha apresenta-se sã e muito coerente.



Foto 6.12 – Afloramento de filitos no topo do Túnel Carnaúba



Foto 6.13 – Afloramento de filitos em uma pista de acesso



Foto 6.14 – Afloramento de rocha sã no fundo do rio Cariús.

6.2.3 - ANÁLISES DE ESTABILIDADE

Os taludes que compõem as encostas de maior criticidade ao longo do Lote 4 foram objetos de análises de estabilidade, tendo sido selecionados 07 (sete) seções transversais tipo com a geometria de escavação e aterro compactado que compõem o projeto. Para cada seção foram analisadas as seguintes condições: nível de água na condição mais crítica (fundo do canal); nível de água seco (abaixo da linha de referência, El. 460). As análises foram realizadas pelo Método de Bishop Simplificado, utilizando o software GeoSlopeW.

Todas as seções analisadas são estáveis, pelo menos para a fase de obras (FS+1,3). Das sete seções de maior criticidade analisadas três não apresentaram nenhum problema de estabilidade, com fator de segurança superior a 1,5. As seções km 114+ 280, 115+960, 119+380 e 119+180 apresentaram problemas localizados de instabilidade, tendo sido solucionado com pequenos ajustes; nas três primeiras o talude mais superficial passou de (0,5H:1,0V) para (1,0H:1,0V), executar obrigatoriamente o reaterro até 2m acima da galeria (que já era recomendado para fins ambientais e de segurança); já a última seção, somente adotar (1,0H:1,0V) no talude mais superficial. O fator de segurança adotado no projeto para a fase de operação é de 1,5.

Os parâmetros geotécnicos adotados para os materiais dos perfis analisados constam no Quadro 6.3.

Quadro 6.3 - Lote 4 - Parâmetros Geotécnicos Adotados dos Materiais

Tipo de Solo	d (kN)	C (kPa)	ϕ
Solo Residual	19	12	32°
Rocha Alterada	24	10	35°
Rocha Sã Coerente	26	30	40°

Figura 6.15 - Lote 4 – Seção km 119+380: Talude de Escavação Sem o Ajuste de Projeto – Análise de Estabilidade do Talude Direito com NA no Fundo do Canal (FS =1,343)

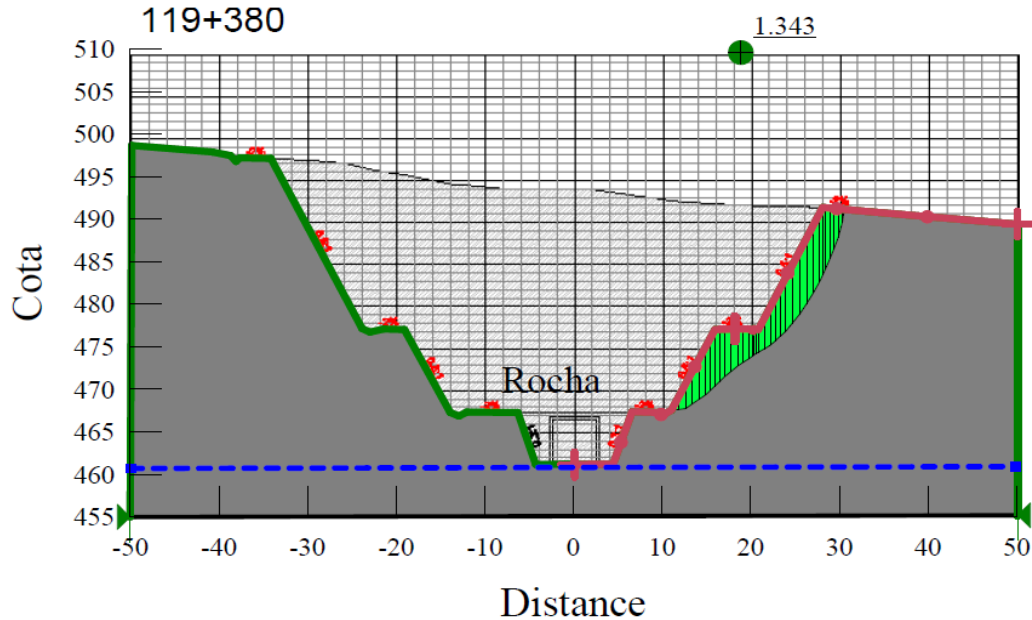
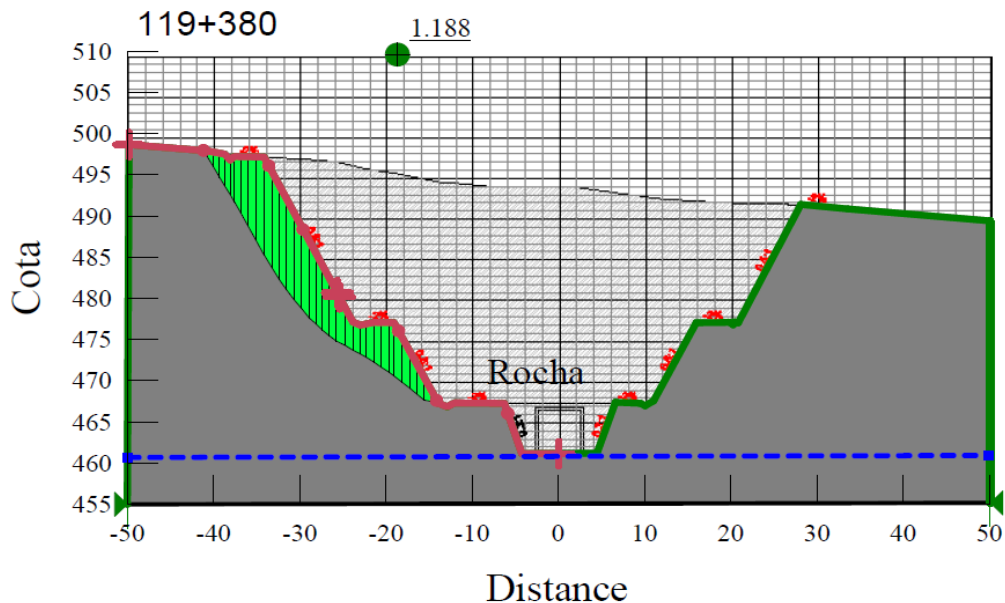


Figura 6.16 - Lote 4 – Seção km 119+380: Talude de Escavação Sem o Ajuste de Projeto – Análise de Estabilidade do Talude Esquerdo com NA no Fundo do Canal (FS =1,19)



Observar nos Quadros 6.4 e 6.5 e nos gráficos das Figuras 6.19 e 6.20 que o nível d'água praticamente não afeta a estabilidade do talude, visto que o mesmo com a exposição da rocha (superfície livre) é naturalmente drenado (curvas coincidem). Três ocorrências com pequenas variações no FS (Quadros 5.4 e 5.5), certamente se devem às pequenas variações na geometria dos taludes, detectados pelo software.



Figura 6.17 - Lote 4 – Seção km 119+380: Talude de Escavação de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude Direito com NA Seco (FS =1,49)

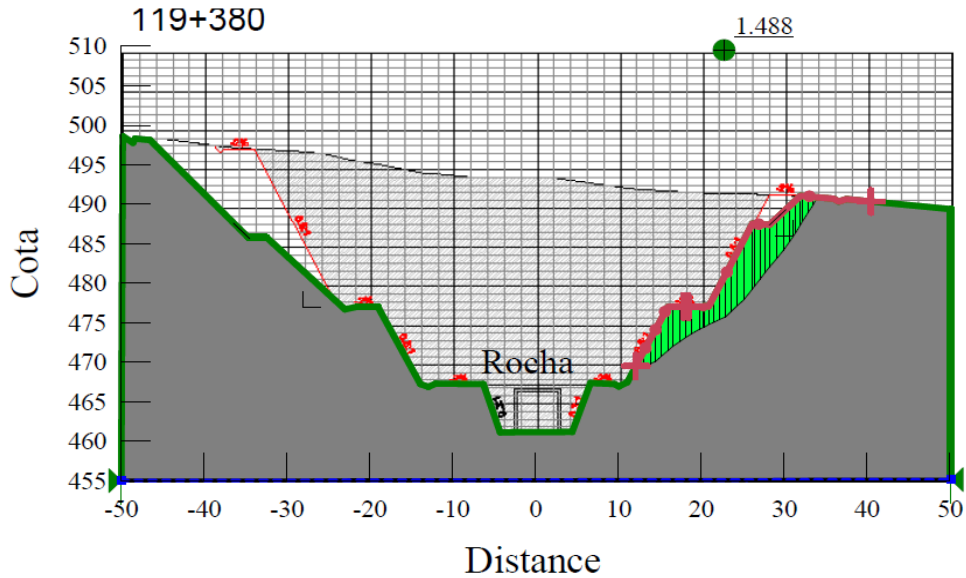
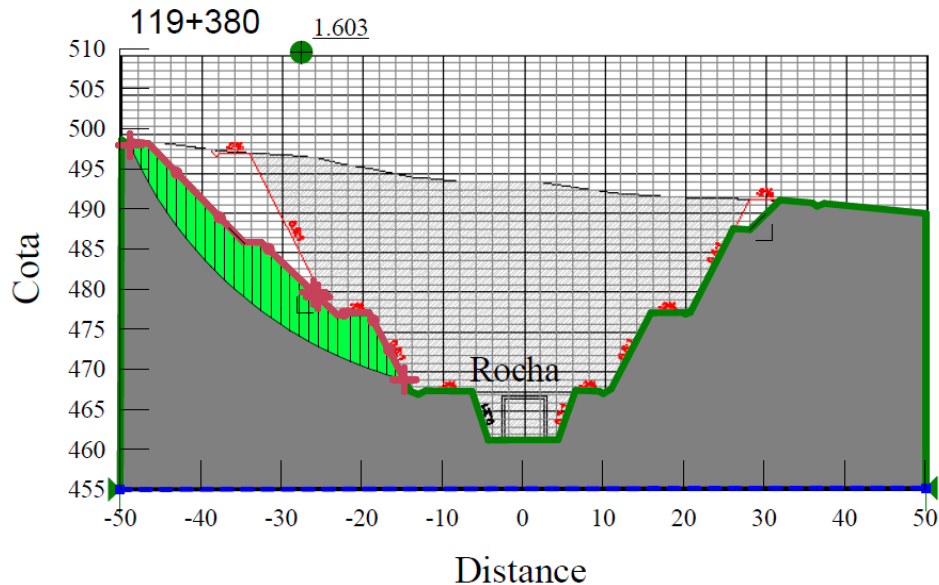


Figura 6.18 - Lote 4 – Seção km 92+660: Talude de Escavação de Projeto
Análise de Estabilidade do Talude Esquerdo com NA Seco (FS =1,60)



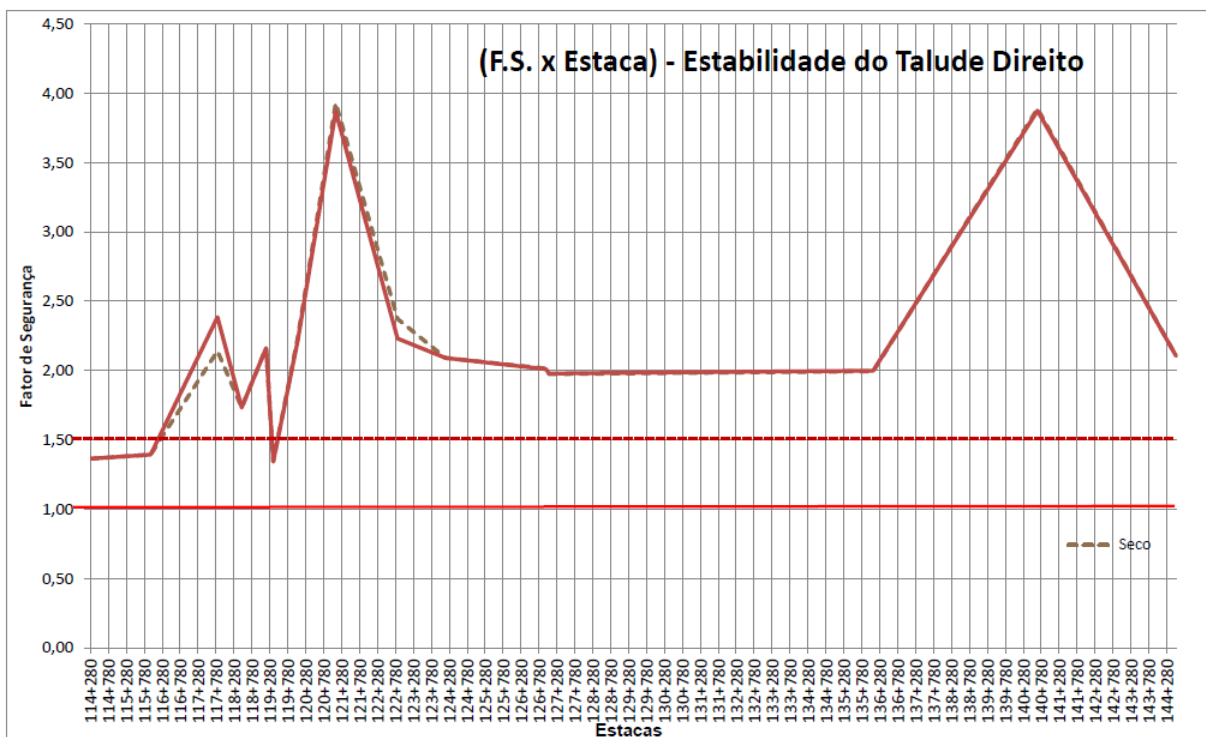
Quadro 6.4 - Lote 4 – Talude Direito de Projeto: Análise
de Estabilidade (FS) de 15 Seções: Influência do Nível D'água.

Talude Direito de Projeto (N.A. Seco)		Talude Direito de Projeto (N.A. Fundo do Canal)	
ESTACA	F.S.	ESTACA	F.S.
114+280	1,36	114+280	1,36
115+960	1,39	115+960	1,39
117+820	2,14	117+820	2,39
118+500	1,73	118+500	1,73
119+180	2,16	119+180	2,16
119+380	1,34	119+380	1,34
120+060	2,23	120+060	2,21



Talude Direito de Projeto (N.A. Seco)		Talude Direito de Projeto (N.A. Fundo do Canal)	
121+120	3,93	121+120	3,87
122+840	2,37	122+840	2,23
124+180	2,09	124+180	2,09
126+980	2,01	126+980	2,01
127+060	1,97	127+060	1,98
136+100	1,99	136+100	2,00
140+680	3,89	140+680	3,88
144+540	2,11	144+540	2,11

**Figura 6.19 - Lote 4 – Talude Direito de Projeto:
Gráfico do Trecho Est. (km) x Fator de Segurança**



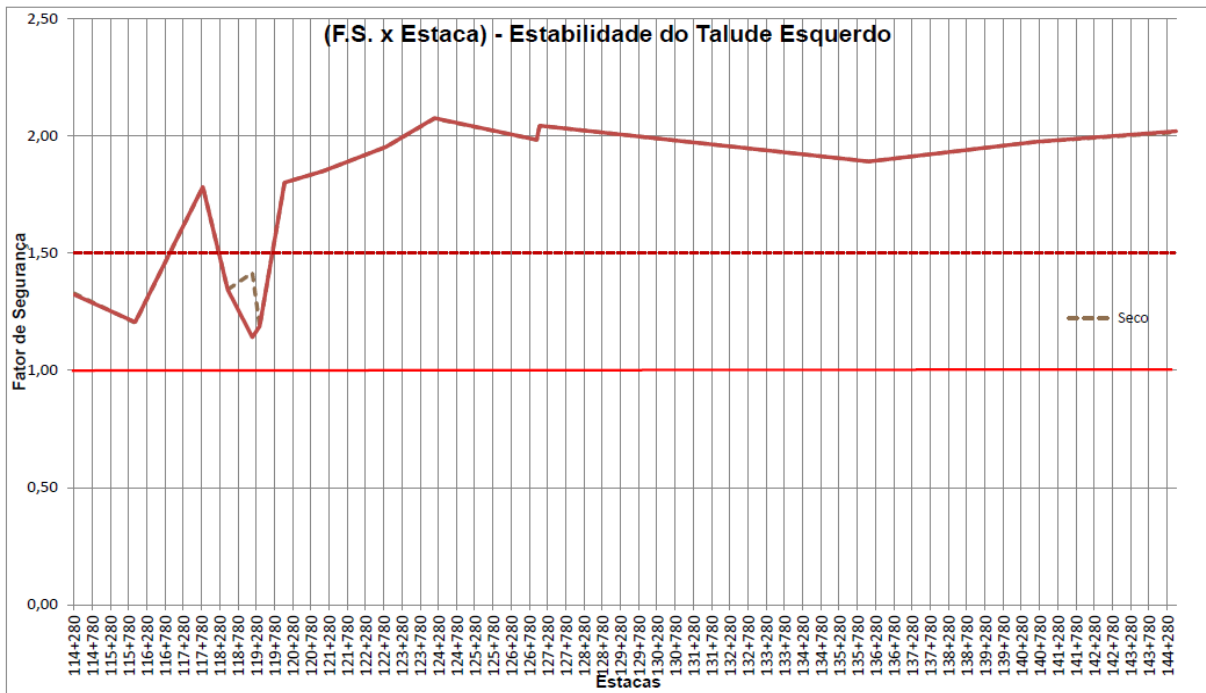
**Quadro 6.5. Lote 4 – Talude Esquerdo de Projeto:
Análise de Estabilidade (FS) de 15 Seções: Influência do Nível D'água.**

Talude Esquerdo de Projeto (N.A. Seco)		Talude Esquerdo de Projeto (N.A. Fundo do Canal)	
ESTACA	F.S.	ESTACA	F.S.
114+280	1,33	114+280	1,32
115+960	1,20	115+960	1,21
117+820	1,78	117+820	1,78
118+500	1,35	118+500	1,35
119+180	1,42	119+180	1,14
119+380	1,19	119+380	1,19
120+060	1,80	120+060	1,80
121+120	1,85	121+120	1,85
122+840	1,95	122+840	1,95
124+180	2,07	124+180	2,08
126+980	1,98	126+980	1,98
127+060	2,04	127+060	2,04
136+100	1,89	136+100	1,89

Talude Esquerdo de Projeto (N.A. Seco)	
140+680	1,98
144+540	2,02

Talude Esquerdo de Projeto (N.A. Fundo do Canal)	
140+680	1,98
144+540	2,02

Figura 6.20 - Lote 4 – Talude Esquerdo de Projeto: Gráfico do Trecho Est. (km) x Fator de Segurança



Os dados gerais das análises de estabilidade das seções transversais do Lote 4 constam no Quadro 6.6.



Quadro 6.6. Dados Gerais das Análises de Estabilidade de Seções Transversais do Lote 4.

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Projeto	FS crítico Alternativa	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS									Alternativa
					RESIDUAL			ROCHA ALTERADA			ROCHA			
					d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
114+280	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,329	1,483	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Reatero da galeria 2m acima da crista. Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 1m, Inferior 0,5:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,324		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,363	1,458	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Reatero da galeria 2m acima da crista. Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 1m, Inferior 0,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,363		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
115+960	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,203	1,361,538	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Reatero da galeria 2m acima da crista. Alternativa 1: Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 2m, Inferior 0,5:1. Alternativa 2: Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 2m, Inferior 1:1.
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,206		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,393	1,438	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Reatero da galeria 2m acima da crista. Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 1m, Inferior 0,5:1
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,393		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
117+820	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,783		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,783		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,141		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,385		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
118+500	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,345	1,482	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Talude Superior 0,5:1 modificado para 1:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,345		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,732		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,732		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
119+180	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,416	1,510	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Talude Superior 0,5:1 modificado para 1:1
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,416		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,162		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,162		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
119+380	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,188	1,603	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Reatero da galeria 2m acima da crista. Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 2m, Inferior 1:1 com 10m altura
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,188		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,343	1,488	19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Reatero da galeria 2m acima da crista. Dividir Talude Superior: Talude superior 1:1, Berma 2m, Inferior 0,5:1 com 10m de altura
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,343		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
120+060	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,801		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,801		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,233		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,214		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	



Quadro 6.6. Dados Gerais das Análises de Estabilidade Seções Transversais do Lote 4 (cont.).

ESTACA	Análises de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade: Local de análise e Nível de água	FS crítico Projeto	FS crítico Alternativa	CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS									Alternativa
					RESIDUAL			ROCHA ALTERADA			ROCHA			
					d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	d (kN)	c (kPa)	Φ	
121+120	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,850		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,850		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	3,931		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	3,870		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
122+840	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,953		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,953		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,372		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,230		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Muro Gabião
124+180	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2,074		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	2,076		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,091		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,091		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
126+980	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,984		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,984		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,014		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,010		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
127+060	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2,044		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	2,044		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,973		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,979		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
136+100	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,891		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,891		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	1,994		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	1,998		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
140+880	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	1,975		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	1,975		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	3,888		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	3,875		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	Muro Gabião ou Ciclópico
144+540	ANÁLISE 2.1	Superfície de ruptura Talude Esquerdo Sem Água	2,016		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 2.2	Superfície de ruptura Talude Esquerdo N.A Fundo do Canal	2,020		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.1	Superfície de ruptura Talude Direito Sem Água	2,105		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	
	ANÁLISE 3.2	Superfície de ruptura Talude Direito N.A Fundo do Canal	2,105		19	12	32°	24	10	35°	26	30	40°	



7 - LOTE 5

7.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Lote 5 compreende as obras civis dos 09 túneis, incluindo os respectivos emboques, desemboques e macrodrenagem. Os subtrechos de acordo com os tipos de obras estão discriminados no **Quadro 7.1**, a seguir.

Quadro 7.1 – Localização e Extensão das Obras Componentes do Lote 5

Lote 5	Obra	Inicial	Final	Extensão	Extensão (km)	Extensão acumulada	EXTENSÃO DAS OBRAS					EXTENSÃO TOTAL / FRENTE (KM)	
							CANAIS		SIFÕES		TÚNEIS		
							QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE	EXTENSÃO (KM)	QUANTIDADE		EXTENSÃO - INCLUSIVE EMBOQUE/DESEMBOQUE (M)
	Canal 09.02	88.642,64	88.844,64	202,00	0,20	88,84							
	Túnel 1 - Sítio Alto 1	88.844,64	89.054,64	210,00	0,21	89,05				1	0,62	0,62	
	Canal 10.01	89.054,64	89.263,64	209,00	0,21	89,26							
	Canal 10.03	41.137,22	41.505,22	368,00	0,37	41,51							
	Túnel 2 - Sítio Alto 2	41.505,22	42.295,22	790,00	0,79	42,30				1	1,49	1,49	
	Canal 11.01	42.295,22	42.627,22	332,00	0,33	42,63							
	Canal 12.02	49.601,88	49.946,88	345,00	0,35	49,95							
	Túnel 3 - Veneza	49.946,88	52.484,88	2538,00	2,54	52,48				1	3,16	3,16	
	Canal 13.01	52.484,88	52.762,88	278,00	0,28	52,76							
	Canal 19.02	88.642,64	88.844,64	202,00	0,20	88,84							
	Túnel 4 - Cabaceira	88.844,64	89.054,64	210,00	0,21	89,05				1	0,62	0,62	
	Canal 20.01	89.054,64	89.263,64	209,00	0,21	89,26							
	Canal 21.02	91.982,45	92.007,45	25,00	0,03	92,01							
	Túnel 5 - Arajara	92.007,45	92.426,45	419,00	0,42	92,43				1	0,57	0,57	
	Canal 22.01	92.426,45	92.552,45	126,00	0,13	92,55							
	Canal 23.02	111.080,00	111.211,78	131,78	0,13	111,21							
	Túnel 6 - Boa Vista	111.211,78	111.592,78	381,00	0,38	111,59				1	0,52	0,52	
	Canal 24.01	111.592,78	111.602,78	10,00	0,01	111,60							
	Canal 27.02	125.134,85	125.251,85	117,00	0,12	125,25							
	Túnel 7 - Cruzeiro	125.251,85	125.667,85	416,00	0,42	125,67				1	0,94	0,94	
	Canal 28.01	125.667,85	126.070,85	403,00	0,40	126,07							
	Canal 29.02	128.726,67	128.741,67	15,00	0,02	128,74							
	Túnel 8 - Pai Mané	128.741,67	129.025,67	284,00	0,28	129,03				1	0,43	0,43	
	Canal 30.01	129.025,67	129.153,67	128,00	0,13	129,15							
	Canal 30.03	135.754,28	135.796,28	42,00	0,04	135,80							
	Túnel 9 - Carnaúba	135.796,28	136.093,28	297,00	0,30	136,09				1	0,37	0,37	
	Canal 31.01	136.093,28	136.119,28	26,00	0,03	136,12							
	SUB-TOTAL			8.713,78	8,71	2.599,26	0,00	0,00	0,00	0,00	9,00	8,71	8,71

7.2 - TÚNEL SÍTIO ALTO 1

7.2.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Sítio Alto 1, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 38+745,90 (montante) e o km 39+756,90 (jusante), conforme **Quadro 7.2**.

Quadro 7.2 -Túnel Sítio Alto 1: Localização das Estruturas

Identificação	Localização		
	Estaca Inicial	Estaca Final	Comprimento (m)
Canal Emboque	38+745.90	39+013.26	267.36
Falso Túnel	39+013.26	39+086.76	73.50
Túnel	39+086.76	39+566.76	480.00
Falso Túnel	39+566.76	39+658.26	91.50
Canal Desemboque	39+658.26	39+756.90	98.64
Total Sítio Alto 1			1.011.00

7.2.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Sítio Alto 1 atravessa a Formação Missão Velha, de idade Jurássica, constituída por arenitos quartzosos, por vezes feldpáticos e/ou caolínicos, localmente conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e/ou acanalada, desenvolvidas em planícies fluviais de sistemas entrelaçados, caracterizado por canais rasos e de alta energia, localmente ocorrem troncos e fragmentos de madeira silicificada. Superficialmente, ocorrem as coberturas sedimentares de espriamento aluvial (NQc) que inclui capeamento de planaltos e coluviões.

Depósitos coluvionares com espessura máxima de três metros, procedentes da dinâmica das encostas, com maior no desemboque, composto por blocos heterométricos de arenito ferruginoso avermelhados, às vezes de grande tamanho, com matriz de areia argilosa ou siltosa (SC-SM) de plasticidade baixa e restos vegetais.

Os solos residuais caracterizam-se com texturas de areias argilosa ou siltosa (SC-SM) de plasticidade baixa e medianamente compacta a compacta, a serem escavados nos cortes do emboque e desemboque.

Os afloramentos de arenitos são escassos somente encontrado em única ocorrência superficial de arenitos esbranquiçados no km 49+260, tendo ali se obtido informações geotécnicas e geomecânicas importantes do maciço rochoso, em termos de atitudes e persistência de descontinuidades, visto que nas sondagens rotativas realizadas neste túnel tiveram baixa recuperação, inferior a 25% no perfil do túnel, portanto baixíssimo RQD, típico de rochas friáveis.

Relativo à resistência dos arenitos, no Quadro 7.3 constam os resultados obtido de ensaios de compressão simples realizados em corpos de prova de blocos indeformados e de testemunhos de sondagem rotativa.

Quadro 7.3 -Túnel Sítio Alto 1: resultados de ensaios de compressão simples em solos residuais e arenito friável

Amostra	Profundidade (m)	Resistência(MPa)	Amostra	Profundidade (m)	Resistência (MPa)
BI-1 (1)	0,40	0,335	BI-6 (1)	0,40	0,410
BI-1 (2)	0,40	0,253	BI-6 (2)	0,40	0,370
BI-1 (3)	0,40	0,390	BI-9 (1)	0,40	0,640
BI-2 (1)	0,40	0,253	BI-9 (2)	0,40	0,761
BI-3 (1)	0,40	0,340	SR-37	49,95-44,02	1,010
BI-3 (2)	0,40	0,415	SR-47	11,05-11,15	1,160
BI-3 (3)	0,40	0,440	SR-47	17,65-17,73	1,358

Amostra	Profundidade (m)	Resistência(MPa)	Amostra	Profundidade (m)	Resistência (MPa)
BI-3 (4)	0,40	0,450	SR-47	44,10-44,17	0,488
BI-4 (1)	0,40	0,450	SR-47	17,10-17,60	1,100
BI-4 (2)	0,40	0,365	BI-1 (1)	0,40	1,020
BI-4 (3)	0,40	0,310	BI-1 (2)	0,40	0,315

Considerando que a ruptura dos testemunho ocorre através das descontinuidades (diaclasses), porém, a resistência uniaxial desta rocha de acordo com ISRM (1981), se situa entre os valores de 1,0 a 5,0 MPa, sendo os limites da rocha friável para valores de 0,25 a 20 MPa.

Com base nas informações obtidas nas prospecções o maciço rochoso arenítico no tração do túnel foi estimativamente compartimentado geomecanicamente, conforme mostrado no Quadro 7.4.

Quadro 7.4 -Túnel Sítio Alto 1: Compartimentação do Maciço Rochoso

Túnel Sítio Alto 1					
TRECHO	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO	%	CLASSE
1	39+086,76	39+100,00	13,24	2,76	V
2	39+100,00	39+220,00	120,00	25,00	III
3	39+220,00	39+252,96	32,96	6,87	IV
4	39+252,96	39+444,36	191,40	39,88	II/III
5	39+444,36	39+476,43	32,07	6,68	V
6	39+476,43	39+540,00	63,57	13,24	IV
7	39+540,00	39+566,76	26,76	5,58	V
TOTAL			480,00	100	-

Figura 7.1 -Túnel Sítio Alto 1: Estereograma dos polos dos planos das descontinuidades

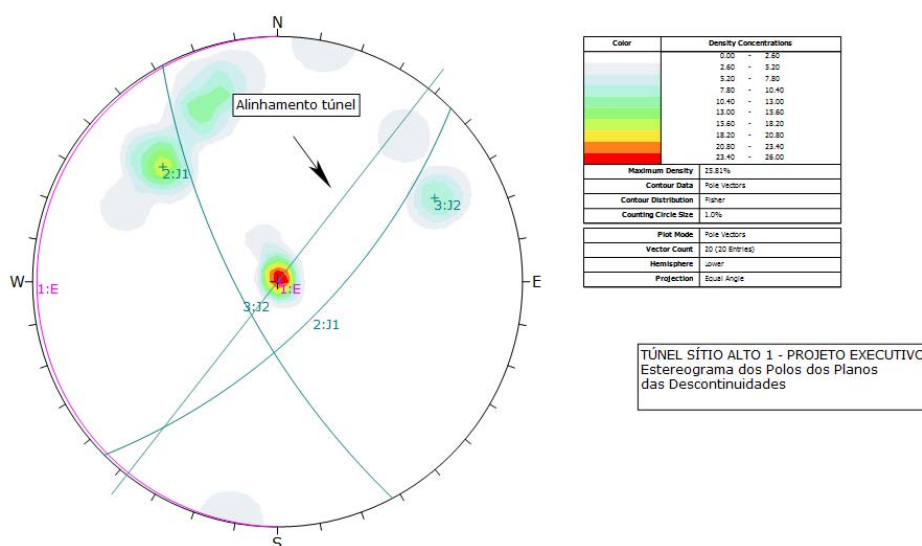
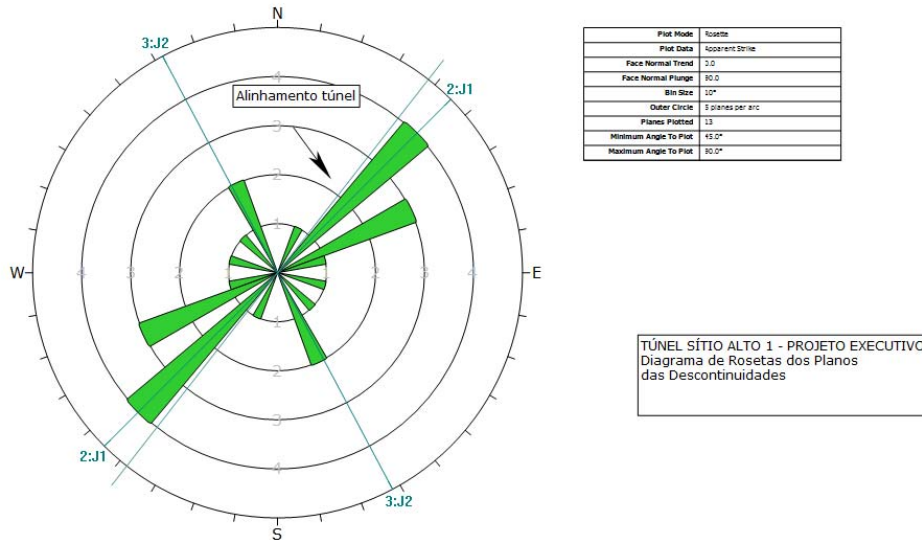


Figura 7.2-Túnel Sítio Alto 1: Diagrama em rosetas da direção das descontinuidades, correspondente da Figura 7.1.



7.2.3 - CONTENÇÕES E SUPORTES

Como suporte da escavação, serão empregados tirantes de barras de aço CA-50, fixados com resina epóxi, e concreto projetado de resistência final à compressão simples superior a 25 MPa. Os tirantes deverão apresentar uma carga de incorporação de 10 tf, devendo ser ancorados ao suporte através de placas e dispositivos apropriados. Em termos de ganho de resistência, é especificado um ganho de 1,0 MPa por hora, sendo requerido 10 MPa às 12hs. Para liberação do avanço das escavações, é especificada uma resistência mínima de 5,0 MPa.

Em termos de durabilidade do revestimento, é especificada uma relação água/cimento, A/C, mínima de 0,5. O reforço do concreto projetado será implantado com fibras metálicas, o que privilegiará a velocidade de execução. Entretanto, quando houver a necessidade de tornar curvo o revestimento para ser eficaz, trabalhando à compressão, serão utilizadas telas a certa distância da frente de escavação.

A geometria de escavação para Maciços Classe II correspondem a 20% da extensão do túnel do túnel Sítio Alto 1. A **Figura 7.3** apresenta a seção final do túnel para esta condição.

O suporte da escavação é composto por tirantes sistemáticos na calota, além de 10 cm de concreto projetado reforçado fibras de aço. O revestimento secundário é composto por 10 cm de concreto projetado reforçado com uma tela metálica tipo Q-92, sendo considerado aderido ao revestimento primário.

A **Figura 7.4** apresenta um detalhe do revestimento do túnel para maciços classe II.

A geometria de escavação para Maciços Classe III correspondem a 45% da extensão do túnel do túnel. A **Figura 7.5** apresenta a seção final do túnel para esta condição.

Figura 7.3 – Seção final do túnel em maciço Classe II

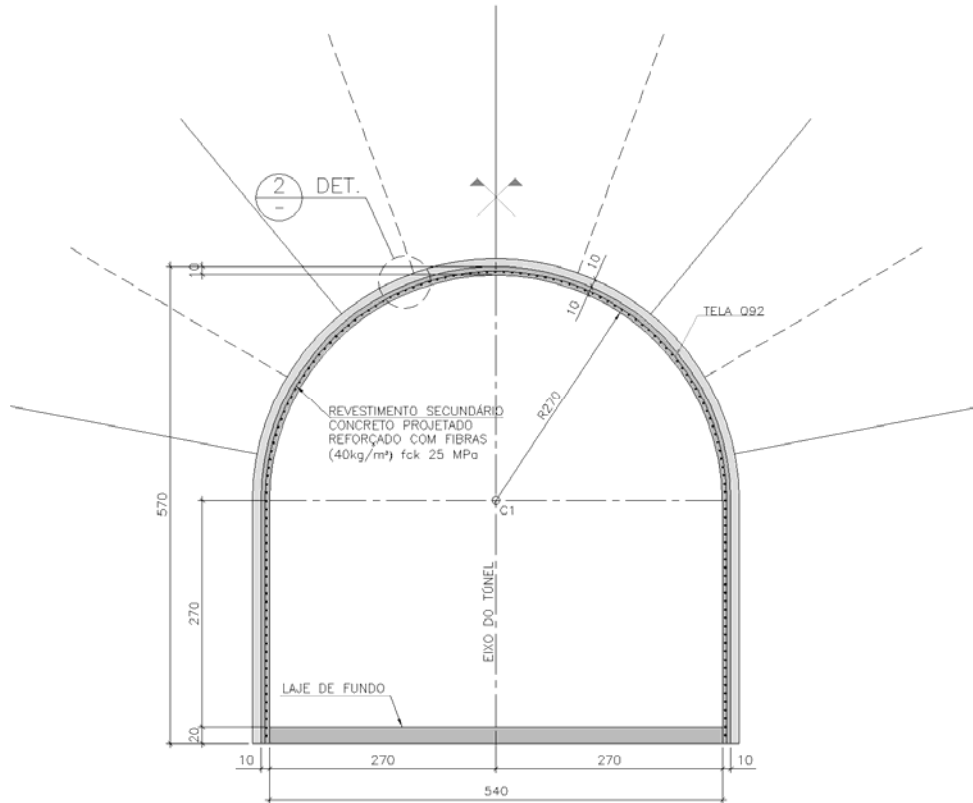


Figura 7.4 – Detalhe do revestimento do túnel para maciços classe II

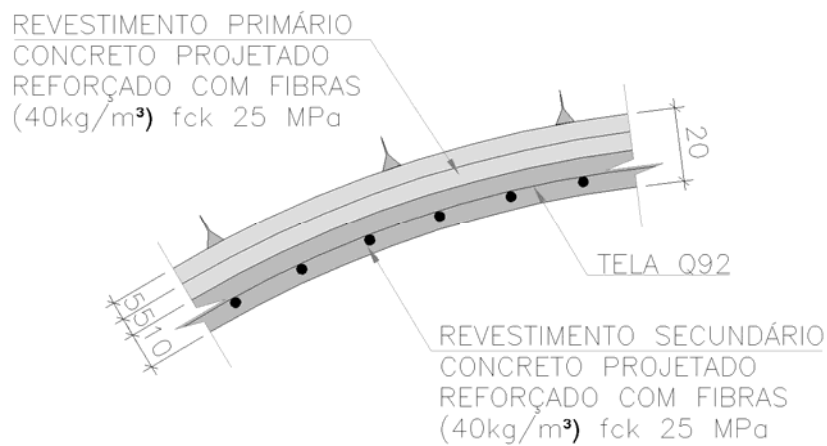
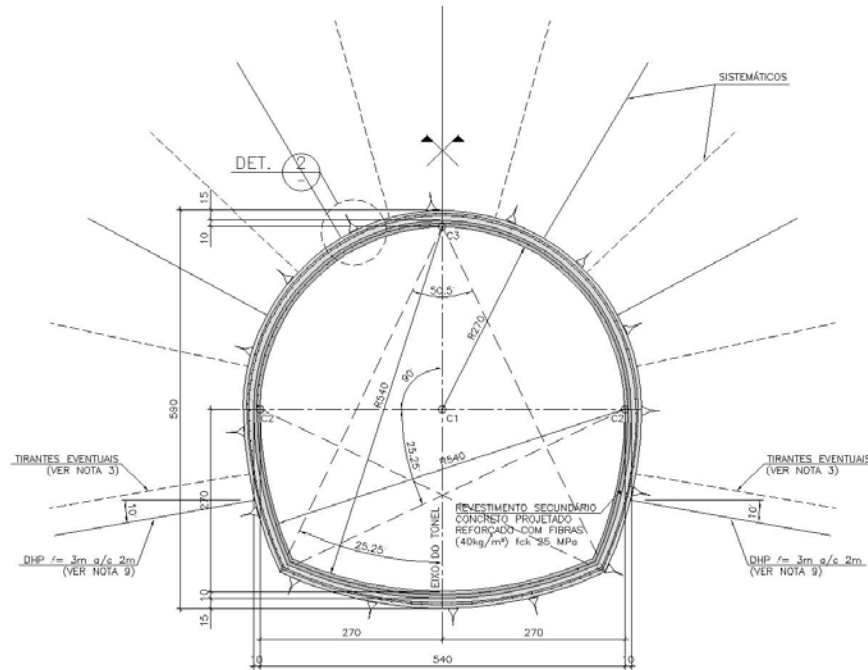


Figura 7.5 – Seção final do túnel em maciço Classe III



O suporte da escavação é composto por tirantes sistemáticos na calota e eventuais no rebaixo, além de 15 cm de concreto projetado reforçado com duas telas metálicas tipo Q-92. O revestimento secundário é composto por 10 cm de concreto projetado reforçado com uma tela metálica tipo Q-92, sendo considerado aderido ao revestimento primário. A **Figura 7.6** apresenta um detalhe do revestimento do túnel para maciços classe III.

A geometria de escavação para Maciços Classe IV correspondem a 20% da extensão do túnel. A **Figura 7.7** apresenta a seção final do túnel para esta condição.

O suporte da escavação é composto por tirantes sistemáticos na calota e no rebaixo, além de 20 cm de concreto projetado reforçado com duas telas metálicas tipo Q-92. O revestimento secundário é composto por 10 cm de concreto projetado reforçado com uma tela metálica do tipo Q-92, sendo considerado aderido ao revestimento primário. A **Figura 7.8** apresenta um detalhe do revestimento do túnel para maciços classe IV.

A geometria de escavação para Maciços Classe V correspondem a 15% da extensão do túnel. A **Figura 7.9** apresenta a seção final do túnel para esta condição.

O suporte da escavação é composto por um revestimento primário de 30 cm de concreto projetado, tratamentos sistemáticos de enfilagens (CCPh's, Enfilagens Injetadas de Aço tipo Schedule, ou de aço CA-50 cravadas sistematicamente) e drenagens sistemáticas por drenos horizontais profundos (DHP's) ou poços para bombas submersas (PBS's). O revestimento secundário é composto por 10 cm de concreto projetado reforçado com uma tela metálica tipo Q-92, sendo considerado aderido ao revestimento primário. Observe-se que a forma da cambota metálica implica a escavação para formação de uma sapata para a calota orientando a carga para a direção vertical. A **Figura 7.10** apresenta um detalhe do revestimento do túnel para maciços classe V.

Figura 7.6 – Detalhe do revestimento do túnel para maciços classe III

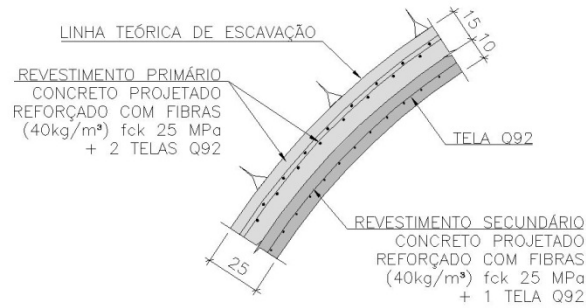


Figura 7.7 – Seção final do túnel em maciço classe IV

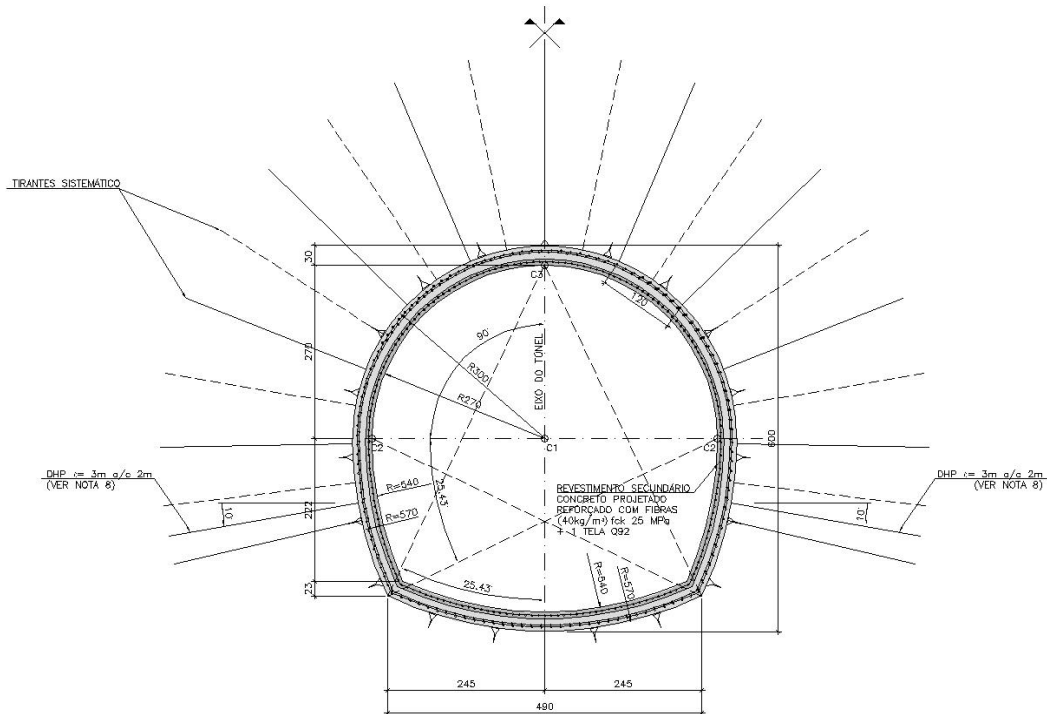


Figura 7.8 - Detalhe do revestimento do túnel para maciços classe IV

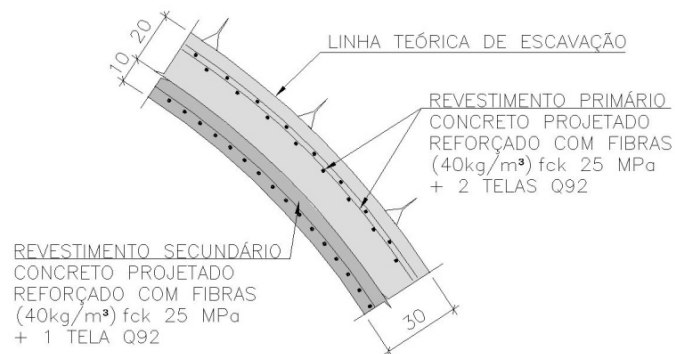


Figura 7.9 – Seção final do túnel em maciço Classe V

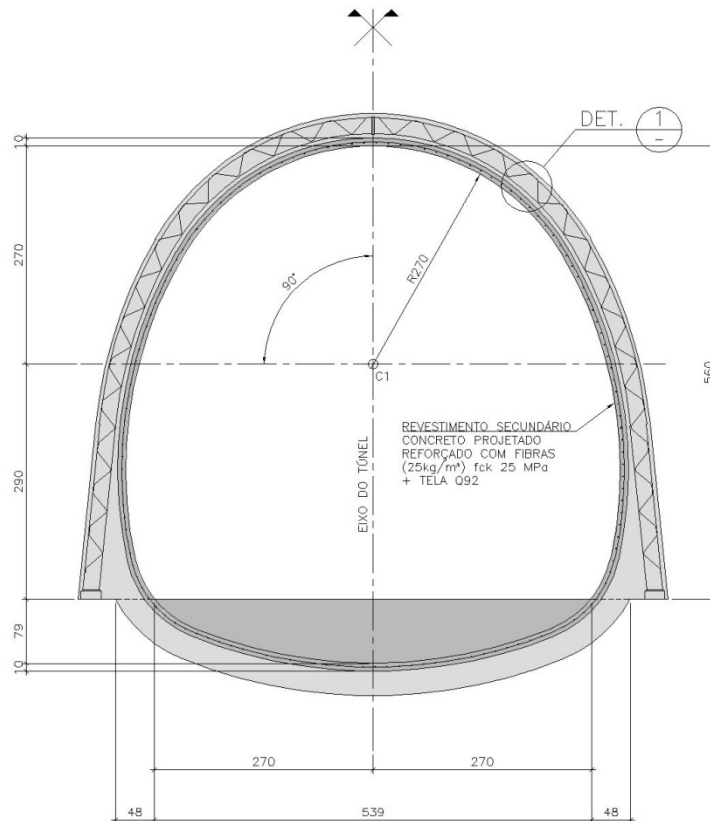
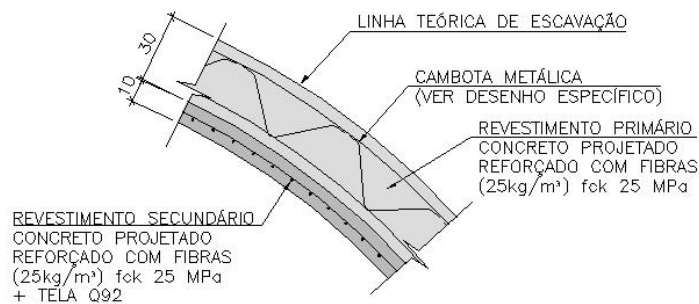


Figura 7.10 - Detalhe do revestimento do túnel para maciço classe V



Os Suportes Contenções e Tratamentos empregadas nos 13 (treze) túneis e obras correlatas do CAC foram similar, estando apresentados nos documentos do Projeto Executivo, desenhos específicos de cada túnel e memórias de cálculo, a exemplo do Túnel Sítio Alto 1, apresentado no Anexo 2 (Mídia).

7.2.4 - MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULO

Conforme MEMÓRIA DE CÁLCULO–Túnel Sítio Alto 1, Março/2014 apresentado no Anexo 2 (Mídia) são apresentados os cálculos de dimensionamento do suporte da

escavação do Túnel Sítio Alto 1, bem como as verificações estruturais de seu revestimento secundário.

O túnel Sítio Alto 1 com cobertura variando entre 90 m e 10 m, é escavado praticamente todo em arenito, com classificações geomecânicas de Bieniawski (1989), apresenta maciço rochoso com classes variando entre II a V. Para as classes III a IV, é empregado o modelo de *Terzaghi* (1946) para estimar os carregamentos potenciais sobre o suporte da escavação. Na sequência é realizada uma avaliação da capacidade resistiva do “anel” resistente mobilizado pelo suporte da escavação. Para os trechos de classe V, é realizada uma simulação numérica pelo método dos elementos finitos para inferir os esforços do suporte e do revestimento secundário do túnel.

A referida memória de cálculo apresenta as verificações necessárias de dimensionamento do suporte da escavação e do revestimento definitivo dos túneis, entretanto neste e demais túneis do CAC entende-se que:

- Nos maciços de classe II a IV, o suporte da escavação baseado no uso de tirantes de barras de aço e concreto projetado está adequado para os carregamentos e solicitações impostas;
- O Acompanhamento Técnico de Obra (ATO) deverá exercer fundamental trabalho de análise e ajustes na sequência executiva, definição e ajustes no tratamento, bem como na classificação do maciço;
- Nos maciços de classe V, o suporte da escavação, baseado na aplicação de 30 cm de concreto projetado reforçado com cambotas treliçadas, está adequadamente dimensionado para resistir aos carregamentos e solicitações impostas;
- Em todos os casos, o suporte é considerado aderido ao revestimento final do túnel e, por consequência, parte integrante no que se refere a resistir aos esforços solicitantes durante a fase operativa do túnel;
- Tanto as leituras as estimativas de nivelamento vertical na calota do túnel e de convergência horizontal em cada parede apresentam magnitude da ordem de 2,5 mm, mas admite-se, como valor de referência a valor de 10mm, correspondente a aproximadamente a 2% do vão. Este valor deve ser entendido como estimativa inicial e são muito dependentes das características do maciço escavado, o que reforça a necessidade do trabalho de atendimento Técnico de Obra – ATO, representado pelas equipes da Fiscalização e Supervisora.
- - Os materiais e métodos considerados forneceram resultados condizentes aos relatados na bibliografia especializada.

No Anexo 2 (Mídia) encontram-se:

- MEMÓRIA DE CÁLCULO– Túnel Sítio Alto 1, Março/2014 relativos ao dimensionamento do suporte da escavação, bem como as verificações estruturais dos revestimentos primário e secundário;
- MEMÓRIA DE CÁLCULO– Túnel Falso dos Emboques e Desemboques do Sítio Alto 1, Janeiro/2014 relativos ao dimensionamento do suporte da escavação, bem

como as verificações estruturais de seu revestimento secundário, inclusive reaterro, e

- MEMÓRIA DE CÁLCULO GEOTÉCNICO – TÚNEL SÍTIO ALTO I, Janeiro/2014 relativa a verificação da estabilidade dos cortes a serem realizados no emboque e desemboque, do dimensionamento do suporte da escavação, bem como as verificações da estabilidade das paredes, com e sem o revestimento com concreto projetado, tirantes e drenos DHP.

Os Suportes Contenções e Tratamentos empregadas nos 13 (treze) túneis e obras correlatas do CAC foram similar, estando apresentados nos documentos do Projeto Executivo, específicos de cada túnel, a exemplo das Memórias de Cálculo Geotécnico do Túnel Sítio Alto 1, citado, e incluso no Anexo II (Mídia).

7.3 - TÚNEL SÍTIO ALTO 2

7.3.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Sítio Alto 2, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 41+160.00 (montante) e o km 42+573.63 (jusante), conforme Quadro 7.5.

Quadro 7.5 - Túnel Sítio Alto 2: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	41+160.00	41+505.22	345.22
Falso Túnel	41+505.22	41+628.22	123.00
Túnel	41+628.22	42+240.22	612.00
Falso Túnel	42+240.22	42+295.22	55.00
Canal Desemboque	42+295.22	42+573.63	278.41
Total Sítio Alto 2			1.413.63

7.3.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Sítio Alto 2 atravessa a Formação Missão Velha, de idade Jurássica, constituída por arenitos quartzosos, por vezes feldpáticos e/ou caolínicos, localmente conglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e/ou acanalada, desenvolvidas em planícies fluviais de sistemas entrelaçados, caracterizado por canais rasos e de alta energia, localmente ocorre troncos e fragmentos de madeira silicificada. Superficialmente, ocorrem as coberturas sedimentares de espriamento aluvial (NQc) que inclui capeamento de planaltos e coluviões.

Depósitos coluvionares com espessura de até três metros, composto por blocos heterométricos de arenito ferruginoso avermelhados, às vezes de grande tamanho, com matriz de areia argilosa ou siltosa (SC-SM) de plasticidade baixa e restos vegetais.

Os solos residuais caracterizam-se com texturas de areias argilosa ou siltosa (SC-SM) de plasticidade baixa e medianamente compacta a compacta, a serem escavados nos cortes do emboque e desemboque.

O túnel Sítio Alto 2, será integralmente escavado em arenitos de textura média a grossa, com intercalações de microconglomerado. Na zona superficial exhibe uma coloração avermelhada ou amarelada, causada pela oxidação dos minerais que ele contém, se bem depois muda a esbranquiçado a creme. Os arenitos se apresentam em camadas decimétricas, com estratificação cruzada tabular e/ou acanalada, desenvolvidas em planícies fluviais de sistemas entrelaçados, caracterizado por canais rasos e de alta energia. São freqüentes níveis isolados com pelotas de argila cinza.

Os afloramentos de arenitos são escassos, não ocorrem no alinhamento do túnel, estando completamente mascarada pelos depósitos coluvionares (NQc). Entretanto a cerca de 600 m ao Norte do túnel ocorre uma encosta abrupta em arenitos esbranquiçados da mesma formação apresentando estratificação sub-horizontal de muita persistência, com laminação cruzada e diaclases subverticais de grande persistência.

Relativo à resistência dos arenitos, no Quadro 7.6 constam os resultados obtido de ensaios de compressão simples realizados em corpos de prova de blocos indeformados.

Quadro 7.6 - Túnel Sítio Alto 2: resultados de ensaios de compressão simples em solos residuais e arenito friável

Amostra	Profundidade (m)	Resistência (MPa)	Amostra	Profundidade (m)	Resistência (MPa)
BI-58 (1)	3,30	0,738	BI-58 (9)	3,30	0,790
BI-58 (2)	3,30	0,640	BI-58 (10)	3,30	0,900
BI-58 (3)	3,30	0,960	BI-58 (11)	3,30	0,658
BI-58 (4)	3,30	1,000	BI-58 (12)	3,30	0,900
BI-58 (5)	3,30	0,720	BI-58 (13)	3,30	0,940
BI-58 (6)	3,30	0,880	BI-58 (14)	3,30	1,000
BI-58 (7)	3,30	0,550	BI-58 (15)	3,30	0,800
BI-58 (8)	3,30 m	1,020			

Considerando que a ruptura dos testemunho ocorre através das descontinuidades (diaclases), porém, a resistência uniaxial desta rocha de acordo com ISRM (1981), se situa entre os valores de 1,0 a 5,0 MPa, sendo os limites da rocha friável para valores de 0,25 a 20 MPa.

Com base nas informações obtidas nas prospecções o maciço rochoso arenítico no tração do túnel foi estimativamente compartimentado geomecanicamente, conforme mostrado no Quadro 7.7.

Quadro 7.7 - Túnel Sítio Alto 1: Compartimentação do Maciço Rochoso

Túnel Sítio Alto 1					
TRECHO	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO	%	CLASSE
1	39+086,76	39+100,00	13,24	2,76	V
2	39+100,00	39+220,00	120,00	25,00	III
3	39+220,00	39+252,96	32,96	6,87	IV
4	39+252,96	39+444,36	191,40	39,88	II/III
5	39+444,36	39+476,43	32,07	6,68	V
6	39+476,43	39+540,00	63,57	13,24	IV
7	39+540,00	39+566,76	26,76	5,58	V
TOTAL			480,00	100	-



Foto 7.1: Poço profundo emboque Sítio Alto 2 com horizontes de colúvio e solo residual

Figura 7.3-Túnel Sítio Alto 2: Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades

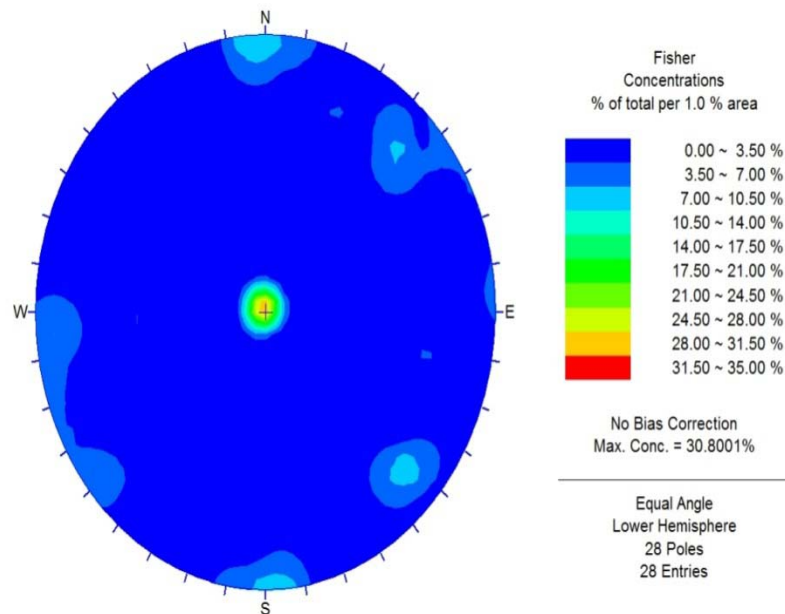
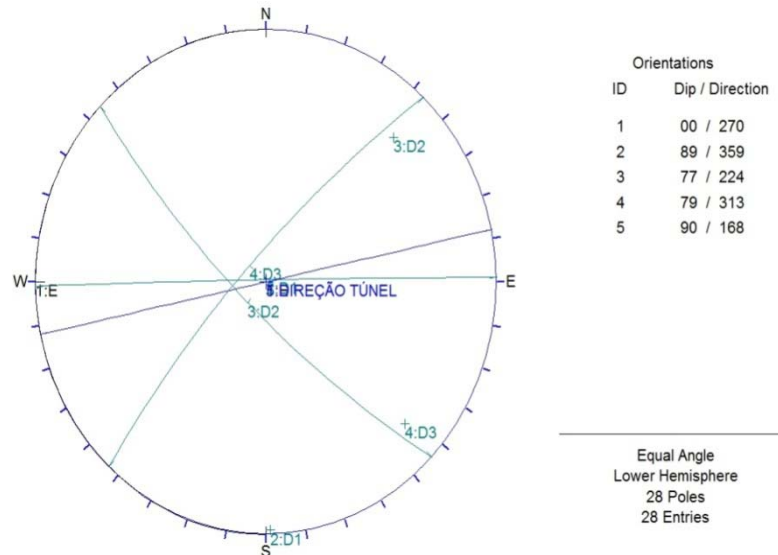


Figura 7.4-Túnel Sítio Alto 2: Estereograma dos polos dos planos das principais descontinuidades



7.3.3 - CONTENÇÕES E SUPORTES

As contenções e suporte da escavação empregados o Túnel Sítio Alto 2 foram similar aos previstos para o Túnel Sítio Alto 1, descrito em 7.2.3.

7.3.4 - MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULO

A Memória de Cálculo do Túnel Sítio Alto 2 é similar à MEMÓRIA DE CÁLCULO-Túnel Sítio Alto 1, Março/2014 apresentado no Anexo 2 (Mídia) onde são apresentados os cálculos de dimensionamento do suporte da escavação do Túnel Sítio Alto 1, bem como as verificações estruturais de seu revestimento secundário.

A Memória de Cálculo do Túnel Falso dos Emboques e Desemboques do Túnel Sítio Alto 2 é similar à MEMÓRIA DE CÁLCULO-Túnel Sítio Alto 1, Janeiro/2014, relativos ao dimensionamento do suporte da escavação, bem como as verificações estruturais de seu revestimento secundário, inclusive reaterro do recinto entre as galerias e paredes, apresentado no Anexo 2 (Mídia).

A Memória de Cálculo Geotécnico do TÚNEL SITIO ALTO 2, e similar MEMÓRIA DE CÁLCULO GEOTÉCNICO do TÚNEL SITIO ALTO I, Janeiro/2014, relativa a verificação da estabilidade dos cortes a serem realizados no emboque e desemboque, do dimensionamento do suporte da escavação, bem como as verificações da estabilidade das paredes, com e sem o revestimento com concreto projetado, tirantes de drenos DHP, também apresentado no Anexo 2 (Mídia).

7.4 - TÚNEL VENEZA

7.4.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Venezia, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 49+725.01 (montante) e o km 52+692.73(jusante), conforme Quadro 7.8.

Quadro 7.8 -Túnel Venezia: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	49+725.01	49+946.88	221.87
Falso Túnel	49+946.88	50+084.88	138.00
Túnel	50+084.88	52+409.88	2.325.00
Falso Túnel	52+409.88	52+484.88	75.00
Canal Desemboque	52+484.88	52+692.73	207.85
Total Túnel Venezia			2.967.72

7.4.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

Tendo como referência as investigações para projeto executivo registram-se, que a partir do estaqueamento 17+580 até o emboque do Túnel Venezia, o canal atravessa uma série monótona de arenitos com níveis isolados de folhelhos da Formação Missão Velha.

Localmente a Formação Missão Velha ocorre capeada por coluviões da Coberturas Sedimentares Neo-Quaternárias (NQc), constituídos de sedimentos argilo-arenosos e arenos-argilosos de tons amarelados e avermelhados com áreas de concentrações de cascalhos e sedimentos laterizados, e também por depósitos aluvionares nos leitos de riachos da região.

Sondagens à percussão executadas em dois importantes trechos da Formação Missão Velha apresentaram profundidades máximas, respectivamente de 18 m e 19 m) de solos residuais (materiais de primeira categoria) caracterizados como areias siltosas, de baixa a nenhuma plasticidade, pouco a medianamente compactas, de cor marrom.

Sob o nível de solos residuais da Formação Missão Velha, em profundidades da ordem de até 48 metros as sondagens detectaram rocha medianamente a extremadamente (A3-A5) alterada, medianamente a pouco coerente (C2-C3) de cor marrom claro, conforme sondagens rotativas executadas no Túnel Sitio Alto I, portanto sem ocorrência de rocha sã até a profundidade investigada.

As escavações a partir do terreno natural detectaram solos coluvionares superficiais constituídos por areias argilo-siltosas avermelhadas, com matacões isolados heterométricos de arenito avermelhado ferruginoso. A espessura destes depósitos aumenta significativamente de sul a norte, com espessura mínima de 1,20 m e máxima superior a 7,00 m.

Sobre a citada camada superficial, ocorrem rochas sedimentares friáveis da Formação Rio Batateiras. Nos cortes diferenciam-se duas fácies, a saber:

Figura 7.5-Túnel Venezia: Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades

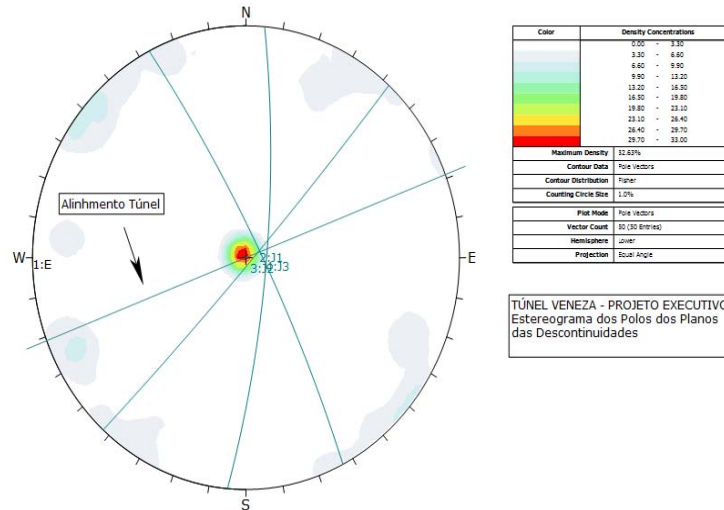
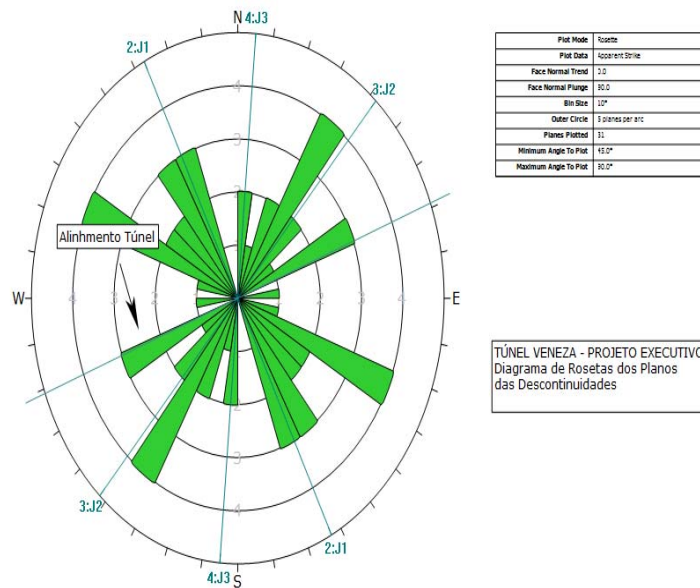


Figura 7.6- Túnel Venezia: Diagrama em rosetas da direção das discontinuidades, correspondente da Figura 7.5.



- Abaixo da cota 500 aproximadamente (unidade basal), é constituída predominantemente de fácies arenosas de cor creme com intercalações delamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados deconglomerados. Os arenitos são finos a médios, subarredondadosa subangulares, em geral friáveis, argilosos e micáceos, às vezes seixos quartzosos os e/ou feldspáticos caulinizados e pelotas de argila. A estratificação é cruzada, demédio a pequeno porte, tabular-planar ou tangencial na base, com presença localizadas de feições sigmoidais.
- Acima da cota 500, na crista do talude escavado ocorrem fragmento finos de arenito friável com intercalações centimétricas de estratos de siltitos acinzentados a marrom- amarelados, em intervalos pelíticos.

Especificamente na região do Desemboque, em síntese ocorrem duas formações discordantes. Na zona mais superficial ocorrem depósitos coluvionares do Quaternário, com espessura variável aumentando em direção noroeste. Sobre os depósitos coluvionares, observa-se os arenitos friáveis cor creme, às vezes amarelado quando esta em contato com o talus, com estratificação horizontal e cruzadas e com dos famílias de diaclases sub-verticais detectadas. Desta forma, de topo para a base distinguem-se dois tipos de materiais distintos: o primeiro, o mais superficial constituído de areias siltosas\argilosas marrom a marrom avermelhado e. o segundo, observa-se na base, em contato discordante com a formação de arenitos Rio Batateiras, constituído por blocos heterométricos de arenito ferruginoso em matriz areno-argiloso marrom avermelhado.

Quadro 7.9 –Túnel Veneza: Compartimentação do Maciço Rochoso

IDENT.	Túnel Veneza Trecho Montante				
TRECHO	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO	%	CLASSE
1	50+084,88	50+272,68	187,8	16,86	V
2	50+272,68	50+477,77	205,09	18,41	IV
3	50+477,77	50+628,63	150,86	13,54	III
4	50+628,63	50+798,78	170,15	15,28	IV
5	50+798,78	50+998,83	200,05	17,96	III/IV
6	50+998,83	51+198,78	199,95	17,95	V
TOTAL			1113,9	100	-

Quadro 7.10 –Túnel Veneza: Compartimentação do Maciço Rochoso

IDENT.	Túnel Veneza Trecho Jusante				
TRECHO	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO	%	CLASSE
7	51+198,78	51+498,78	300,00	24,77087	III
8	51+498,78	51+648,92	150,14	12,39699	IV
9	51+648,92	51+798,78	149,86	12,37387	V
10	51+798,78	51+857,27	58,49	4,829494	III
11	51+857,27	51+998,78	141,51	11,68442	IV
12	51+998,78	52+101,44	102,66	8,476592	V
13	52+101,44	52+298,78	197,34	16,29428	IV
14	52+298,78	52+409,88	111,10	9,173479	V
TOTAL			1211,10	100	-

Quadro 7.11 –Túnel Veneza: Classe-Seção e Previsão de Comprimento

CLASSE	SEÇÃO DE PROJETO	COMPRIMENTO (m)	%
V	5 (5A ou 5B)	751,37	32,32
IV	4	864,23	37,17
III	3	509,35	21,91
III/IV	3 / 4	200,05	8,60
TOTAL		2325,00	100,00



Foto 7.2: Vale lateral visto da elevação do Túnel Venezia

7.5 - TÚNEL CABACEIRA

7.5.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Cabaceira, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 88+751,70 (montante) e o km 89+144,23 (jusante), conforme Quadro 7.12.

Quadro 7.12 –Túnel Cabaceira: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	88+751.70	88+844.64	92.94
Falso Túnel			
Túnel	88+844.64	89+024.64	180.00
Falso Túnel	89+024.64	89+054.64	30.00
Canal Desemboque	89+054.64	89+144.23	89.59
Total Túnel Cabaceira			392.53

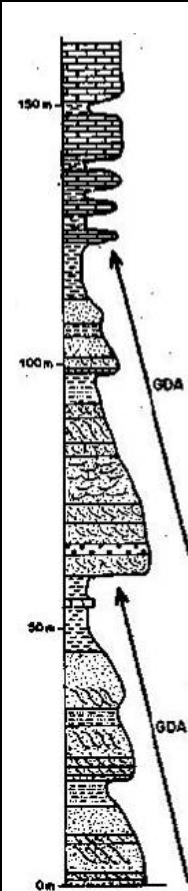
7.5.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Cabaceira atravessa a Formação Rio Batateiras, de idade Cretácea, constituída na unidade basal predominantemente de fácies arenosas com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados (Assine,1992).

Os arenitos são finos a médios, subarredondados a subangulares, em geral bastante friáveis, argilosos e micáceos, às vezes seixosos e/ou portadores de feldspatos caulinizados e bolas de argila. A estratificação é cruzada, de médio a pequeno porte, tabular planar ou tangencial na base, comparecendo também feições sigmoidais. Tais sedimentos se apresentam em ciclos com granodrecência ascendente que culminam em intervalos pelíticos. São interpretados como fluvio-lacustres, não só pelas litologias e estruturas sedimentares, mas pela presença de fósseis continentais.

Sondagens e levantamentos estratigráficos realizados no túnel Cabaceira mostraram dois ciclos com granodrecrescência ascendente. O túnel Cabaceira decorre por uma camada de aproximadamente de 11 metros de folhelhos pirobetuminosos pretos, que se encontra entre o arenito inferior do primeiro ciclo e arenitos superior do segundo ciclo. Este intervalo, em meio ao qual se encontra uma camada decimétrica de calcário com aspecto brechóide e mineralizada em sulfetos, foi denominada “seqüência plumbífera do Araripe” por Farina (1974) e “camadas Batateira” por Hashimoto et al. (1987), ilustrado no Quadro 7.7.

Quadro 7.7 – Corte tipo da Formação Rio Batateiras e situação aproximada do túnel Cabaceira

	<p>Túnel Cabaceira</p>	<p>Calcário laminado fossilífero (fragmentos algálicos, pequenos peixes), intercalados com folhelhos verdes calcíferos ricos em ostrácodes.</p> <p>FORMAÇÃO SANTANA</p> <p>FORMAÇÃO RIO BATATEIRAS:</p> <p>Arenitos finos a muito grosso, subangulares, com estratificação cruzada de médio porte, planar ou acanalada, em alguns casos sigmoidal. Níveis decimétricos de ortoconglomerados quartzosos acham-se presentes, intercalados com arenitos.</p> <p>Intervalo pelítico-carbonático (“camadas Batateira” de Hashimoto et al. 1967, “seqüência plumbífera do Araripe” de Farina, 1974); brecha calcária mineralizada em sulfatos, entremeada em siltitos cinza escuros e folhelhos pretos pirobetuminosos</p> <p>Arenitos quartzosos, às vezes feldspáticos, finos a grosso, localmente conglomeráticos, em “sets” com estratificação cruzada de médio porte, planar ou acanalada, às vezes sigmoidal. Neles se intercalam lamitos de colorações avermelhadas/amareladas.</p>
--	----------------------------	--

Segundo o estudo realizado pela Unicamp (N.B. de Avila et al.) estas camadas da Formação Rio Batateiras possuem 0,0085 g/g rocha de matéria orgânica.

Na imediações do túnel Cabaceira, conforme mostrado no Quadro 7.6-2 ocorrem dois níveis de arenito intercalando rochas de textura fina e foliada predominado os Folhelhos, de forma que a referida estrutura será integralmente escavado nos folhelhos betuminosos incoerentes a pouco coerentes da Formação Rio Batateiras. Conforme citado, trata-se de uma camada de cerca de 11 metros de espessura, intercalado por arenitos friáveis amarelados.

Os folhelhos apresentam coloração cinza a cinza escuro, e no contato com o arenito superior exibe cor marrom amarelada decorrente do intemperismo, com juntas oxidadas com a mesma cor. Na zona central tem um intervalo, em meio ao qual se encontra uma camada decimétrica de calcário com aspecto brechóide e mineralizada em sulfetos, as já citadas “Seqüência Plumbífera do Araripe” e “Camadas Batateira”.

Os ensaios em solos residuais de folhelho os caracterizaram como argila (CH) plástica (CH). As sondagens rotativas exibiram intenso faturamento e RQD=0% (maciço muito fraco), dificultando sobremaneira a moldagem de corpos de prova. Ensaios de resistência a compressão simples realizados em amostras indeformadas coletadas no poço PE-144 apresentaram valores relativamente baixos, conforme Quadro 7.14.

Quadro 7.14 – Resultados dos ensaios de compressão simples em folhelho

Amostra	Profundidade	Resistência (MPa)	Amostra	Profundidade	Resistência (MPa)
PE-144 (1)	9,00 m	1,320	PE-144 (1)	9,00 m	2,400

Os litotipos rochosos da Formação Rio Batateiras apresenta estratificação sub-horizontal em níveis de 10 a 30 cm de espessura, apresentam estruturas de paralelepípedo e “slickensides” são frequentes nas superfícies dos planos, sendo comum em folhelhos a presença de planos de fraqueza isolados e sem padrão, um pouco espelhados, potencialmente instáveis. Além disso, é típico o desprendimento de pequenos fragmentos milimétricos a centimétricos, com forma aproximadamente discoide. Este processo denominado empastilhamento sendo mais frequente nos siltitos e menos nos argilitos, embora também ocorra no folhelho (Foto 7.5). Estas rochas são notadamente expansivas, fragmentando-se em um período curto de tempo, sobretudo quando expostos às severas condições intempéricas.

Figura 7.8-Túnel Cabaceira: Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades

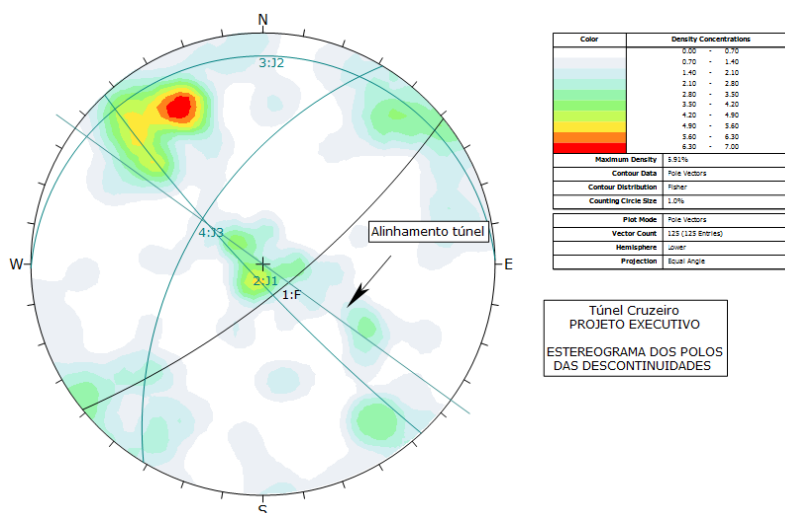
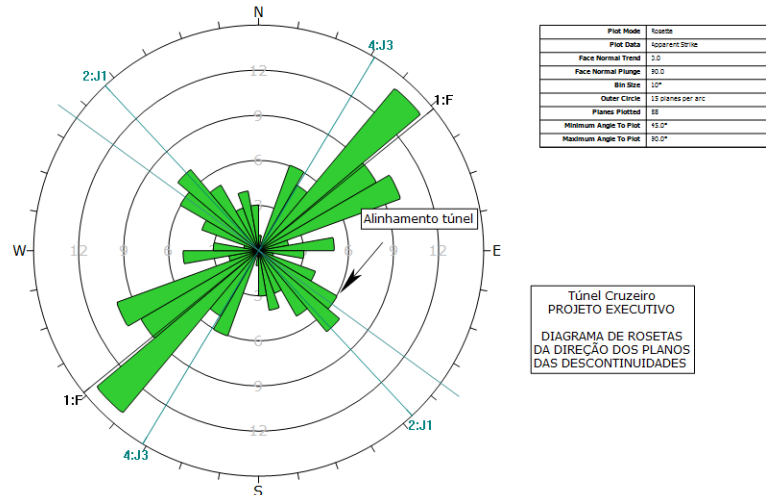


Figura 7.9-Túnel Cabaceira: Diagrama em rosetas da direção das descontinuidades, correspondente da Figura 7.8.



Os solos residuais são plásticos e untuosos (pegajosos) quando molhados, e duro quando secos, sujeitos à contração volumétrica, inclusive os saprolitos (solos de alteração com estruturas da rocha mãe). Em superfície natural apresentam considerável teor de matéria orgânica.

Os arenitos apresentam texturas média a grossa, pouco a medianamente coerentes (C3-C2), portanto friáveis, em cores marrom amarelado a branco que exibe uma grano descendência ascendente, mostrando níveis centimétricos de siltitos no topo da encosta.

Os solos residuais de arenitos apresentam textura areno-argilosa (SC) de plasticidade baixa a nula, de pouca a média compacidade, em cores amarela, amarela avermelhada, amarelo-clara tendendo a branca.

Sondagens rotativas executadas apresentaram baixa recuperação e elevado grau de faturamento, com Índice de Qualidade da Rocha - (RQD=0%). A intensa estratificação sub-horizontal dos arenitos, com laminação cruzada de pequeno porte, e diaclases sub-verticais conjugadas são as principais responsáveis pela baixa pontuação geomecânica do índice RMR



Foto 7.3 - Calcário com aspecto brechóide e mineralizado em sulfetos (Camada Batateira)



Foto 7.4 -Estado natural do folhelho



Foto 7.5–Folhelho ciclado por 6 meses, mostrando o empastilhamento.



Foto 7.6 – Arenito friável, em fragmentos

7.6 - TÚNEL ARAJARA

7.6.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Arajara, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 91+307.30 (montante) e o km 92+594.20 (jusante), conforme Quadro 7.15.

Quadro 7.15 –Túnel Arajara: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	91+307.30	92+007.45	700.15
Falso Túnel	92+007.45	92+107.45	100.00
Túnel	92+107.45	92+426.45	319.00
Falso Túnel			
Canal Desemboque	92+426.45	92+594.20	167.75
Total Túnel Arajara			1.286.90

7.6.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Arajara atravessa a Formação Rio Batateiras, de idade Cretácea, constituída na unidade basal predominantemente de fácies arenosas com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados (Assine,1992), similar ao corte do Quadro 7.6-2, do capítulo anterior.

Levantamentos lito-estratigráficos realizados nas encostas situadas ao entorno do túnel Arajara, mostraram dois ciclos com granodecrescência ascendente, que culminam com a Formação Santana, que apresenta na base um folhelho betuminoso fossilífero, recoberto por um siltito argiloso, tendo acima um calcário laminado. Os sedimentos desta Formação são interpretados como fluvio-lacustres, não só pelas litologias e estruturas sedimentares, mas pela presença de fósseis continentais.

Abaixo da fácies de arenito, entre as cotas aproximadas 462 e 450 ocorre uma camada de folhelho do tipo betuminoso, similar à descrita no túnel Cabaceira, mas decorrente do sistema de falhas normais da bacia do Araripe não é atravessada pelo túnel Arajara.

O túnel Arajara será integralmente escavado nos arenitos da Formação Rio Batateiras, de textura fina a muito grossa, pouco a medianamente coerentes (C3-C2), portanto friáveis de cor branca a amarelada, com estratificação cruzada de médio porte, planar ou acanalada, em alguns casos sigmoidal. Níveis dessimétricos de ortoconglomerados quartzosos acham-se presentes intercalados aos arenitos.

Sondagens rotativas realizadas nesta formação tiveram recuperação inferior a 25%, com manobras de valor nula, com RQD muito baixo a nulo para este tipo de rochas friáveis e de baixa coerência.

Os litotipos da Formação Rio Batateiras encontram-se superficialmente recobertos pelo depósitos coluvionares, que mascaram os afloramentos dos produtos do intemperismo das rochas.

Os coluviões apresentam espessura máxima de 14 m aparecem capeando os arenitos da Formação Rio Batateiras. Foram diferenciados dois sub-níveis, o mais superficial composto por um solo areno-argiloso (SC) plasticidade baixa e cor avermelhado, o segundo subjacente ao primeiro com espessura média de três metros, em contato discordante com os arenitos, ocorre um nível de matacões de arenito esbranquiçado (diâmetro menor que 30 cm), em matriz arenosa de plasticidade muito baixa a nula.

Os ensaios de penetração (SPT) em sondagens realizadas ao longo do alinhamento do túnel, impenetráveis a partir desta camada de blocos, possibilitaram avaliar as espessura do solo mais superficial. Os solos residuais dos arenitos apresentam textura areno-argilosos ou areno-siltosos de plasticidade baixa a nula, e compacidade mediana em cores amarela, amarela clara – tendendo a esbranquiçada e avermelha.

Do ponto de vista estrutural, as camadas ocorrem em planos sub-horizontais, normal nas rochas sedimentares da bacia, com laminação cruzada de médio porte, e com duas diaclases sub-verticais conjugadas.

As amostras deformadas (20) coletadas em poços de exploração foram caracterizadas no laboratório de solos da VBA Tecnologia e Engenharia, S.A., em Juazeiro do Norte - CE.

Foram ainda coletados 4 blocos indeformados em arenitos em poços localizados na encosta do desemboque do túnel Arajara (Fotos 7.7e 7.8) para realização de ensaios especiais (compressão simples e triaxial). Em amostras dos blocos indeformados foram realizados 9 ensaios de compressão simples e dois ensaios triaxial (Tipo CU adensado e não drenado), em solo residual de arenito.

Os resultados dos ensaios de compressão simples constam no Quadro 7.16.

Quadro 7.16 –Túnel Arajara: Resultados de ensaios de compressão simples

Amostra	Profundidade	Resistência (MPa)	Amostra	Profundidade	Resistência (MPa)
BI -46 (2)	1,00 m	0,538	BI -46 (7)	1,00 m	0,556
BI -46 (3)	1,00 m	0,448	BI -46 (8)	1,00 m	0,295
BI -46 (4)	1,00 m	0,410	BI -46 (9)	1,00 m	0,650
BI -46 (5)	1,00 m	0,560	BI -46 (10)	1,00 m	0,480
BI -46 (6)	1,00 m	0,505			

Os resultados dos ensaios triaxiais tipo (CU) constam no Quadro 7.17.

Quadro 7.17 –Túnel Arajara: Resultados de ensaios triaxiais tipo (CU)

Nº Amostra – (profundidade)	Tipo ensaio	Coesão(kPa)		Ângulo de atrito (°)	
		Total	Efetiva	Total	Efetiva
38 - (0,30 m)	CU	120,0	40,0	21,8	34,2
39 -(0,30 m)	CU	120,0	80,0	32,3	35,0



Foto 7.7 – Túnel Arajara: Local de extração de bloco indeformado (Encosta no desemboque)



Foto 7.8 – Túnel Arajara: Extração de bloco indeformado

7.7 - TÚNEL BOA VISTA

7.7.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Boa Vista, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 111+085.09 (montante) e o km 112+060.64 (jusante), conforme Quadro 7.18.

Quadro 7.18 – Túnel Boa Vista: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	111+085.09	111+214.28	129.19
Falso Túnel			
Túnel	111+214.28	111+550.78	336.50
Falso Túnel	111+550.78	111+590.78	40.00
Canal Desemboque	111+590.78	112+060.64	469.86
Total Túnel Boa Vista			975.55

Figura 7.10-Túnel Boa Vista: Estereograma dos polos dos planos das descontinuidades

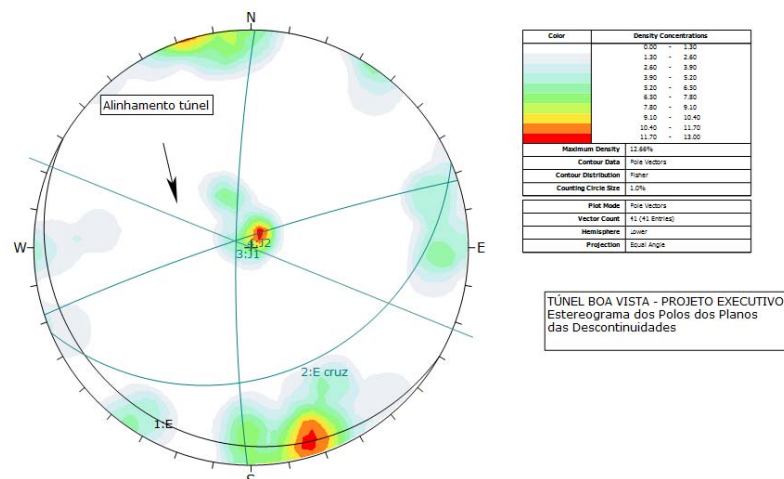
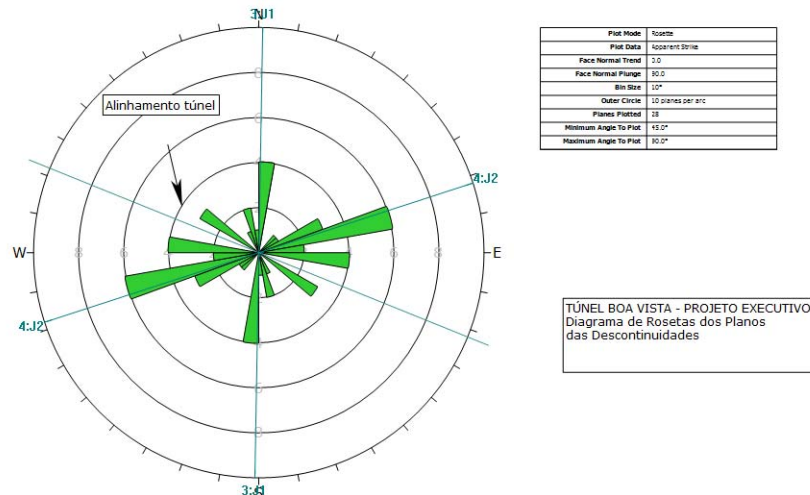


Figura 7.11-Túnel Boa Vista: Diagrama em rosetas da direção das descontinuidades, correspondente da Figura 7.10.



7.7.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Boa Vista se localiza a poucos quilômetros ao oeste de Crato. A zona de emboque do túnel foi completamente escavada para a produção de cerâmica, gerando cortes subverticais, apresentando pequenos escorregamentos de blocos. (Foto 7.9).

O maciço rochoso é constituído de siltitos e folhelhos, com níveis de arenitos amarelados, estratificados, pertencentes à Formação Rio Batateiras.

As sondagens a percussão realizadas, apresentaram um nível superior de 8 a 11 m profundidade solo residual fofo a mediamente compacto, passando em profundidade a muito compacto, considerado impenetrável à percussão. A partir deste nível o avanço foi por sondagem a rotação, entretanto as recuperações foram inferiores a 10%; as amostras de lavagem mostraram solo arenoso.

Com base nas exposições de campo, a exemplos das (Fotos 7.9 e 7.10) os solos e rochas apresentam estratificação horizontalizada, e pelo menos três famílias de descontinuidades.



Foto 7.9: Vista geral da escavação do emboque do túnel Boa Vista



Foto 7.10 -Encosta subvertical na região do emboque do túnel Boa Vista

7.8 - TÚNEL CRUZEIRO

7.8.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Cruzeiro, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 125+186.68 (montante) e o km 125+699.90 (jusante), conforme Quadro 7.19.

Quadro 7.19 –Túnel Cruzeiro: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	125+186.68	125+253.85	67.17
Falso Túnel	-	-	-
Túnel	125+253.85	125+618.85	365.00
Falso Túnel	125+618.85	125+665.85	47.00
Canal Desemboque	125+665.85	125+699.90	34.05
Total Túnel Cruzeiro			513.22

7.8.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O Túnel Cruzeiro atravessa um maciço rochoso constituído por filitos e metasiltitos com intercalações de veios milimétricos a centimétricos de quartzo branco, ondulados, concordantes com a foliação, associados à Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), pertencente ao Grupo Cachoerinha (Província Borborema). Estes tipos litológicos apresentam tonalidades cinzentas a esverdeadas em corte de rocha sã, com a presença de sericita, muscovita e biotita.

A projeção estereográfica das atitudes medidas no por ocasião do mapeamento geológico de campo mostraram pelo menos quatro famílias de descontinuidades principais:

- A primeira e mais importante é a foliação\xistosidade, com mergulho de referência predominante de 75° SE, com variações na região de um riacho no emboque do túnel;
- Junta J1, com mergulho subvertical e predominantemente perpendicular à foliação, localmente oxidadas, e com umidade, persistência pequena a média (5 a 10 metros) e espaçamento variável entre 0,20, a 1,2m;
- Junta J2, sub-horizontal, com espaçamento de 20 e 80 cm e persistência entre 2 e 5 metros, e a quarta;
- Junta J3, aleatórias e secundárias, em geral rugosa.

A foliação\xistosidade e a junta J1 foram as principais descontinuidades consideradas nas análises de estabilidade e no dimensionamento das contenções dos taludes. (Figuras 7.12, 7.13 e 7.14).

As sondagens rotativas foram classificadas, confirmando como litologia predominante de metasiltito são a pouco alterado (A1-A2), coerente (C1) e com fraturamento espaçado de 0,50 a 0,80m (F1), com RQD superior a 80%, correspondendo a uma rocha de boa qualidade.

Os traços medidos nos afloramentos e a interpolação das sondagens rotativas realizadas (total de cinco) indicaram a foliação com mergulho elevado, com grande persistência (superior a 20 m), apresentando-se com planos muito variados desde pouco rugoso a liso e até mesmo típico espelho de falha.

Superficialmente nos primeiros metros ocorrem solo de alteração e rocha extremamente a medianamente alterado (A5 - A3), com RQD variável entre 10 a 75%, incoerente a pouco coerente (C4 a C3). A partir de 15m de profundidade na região do túnel

(sem considerar emboque e desemboque), o grau de alteração diminui significativamente passando a rocha a pouco alterada a sã e RQD de 100%. O nível d'água, detectado na época das investigações foi 16,30 m.

Figura 7.12-Túnel Cruzeiro: Estereograma dos polos dos planos das discontinuidades

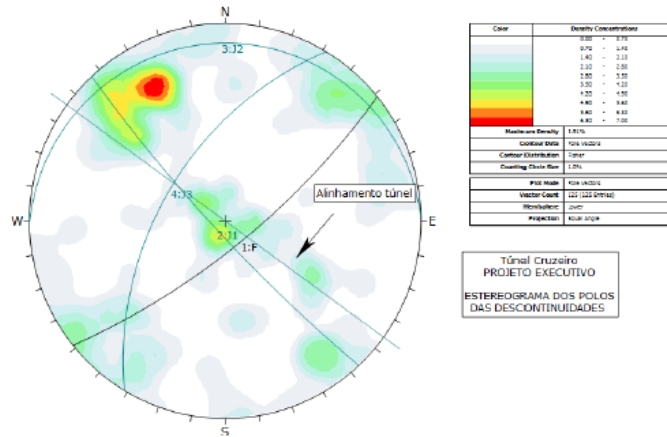


Figura 7.13-Túnel Cruzeiro: Diagrama em rosetas da direção das discontinuidades, correspondente da Figura 7.12.

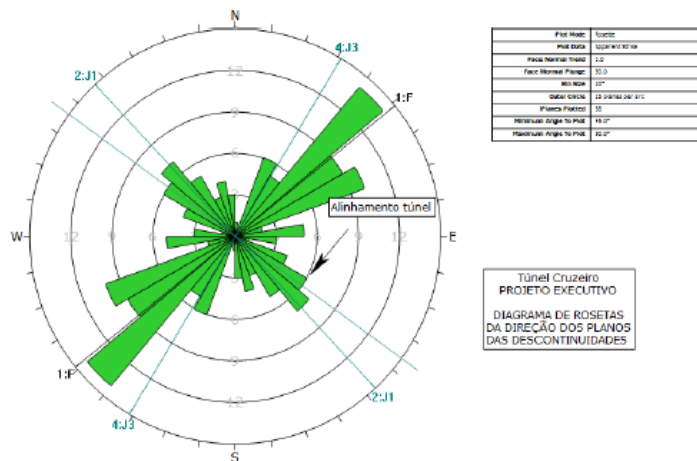
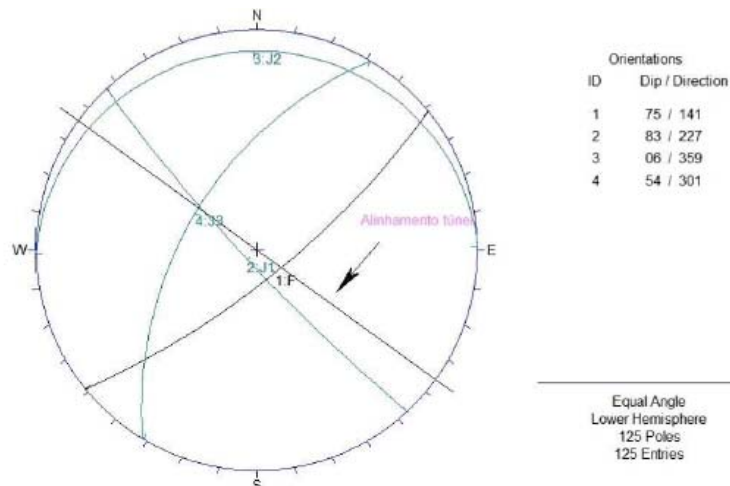


Figura 7.14 - Projeção Estereográfica das discontinuidades principais e indicação do eixo (alinhamento) do Túnel Cruzeiro



Ensaio de compressão simples realizados em testemunhos de sondagens rotativas apresentaram resistência variável com valores na faixa de 20 a 55 MPa, conforme mostrado no Quadro 7.20.

Quadro 7.20 – Túnel Cruzeiro: Resultados de Ensaio de Resistência a Compressão Simples em Testemunhos de Sondagem Rotativa

Sondagem SR-	Profundidade (m)	Resistência (MPa)	Sondagem SR-	Profundidade (m)	Resistência (MPa)
85	50,85 a 51,00	38.88	85	53,70 a 53,83	20.77
85	49,60 a 49,75	41.88	85	53,90 a 54,05	52.58
85	54,32 a 54,56	43.42	85	53,83 a 53,90	25.69
85	53,30 a 53,50	26.67	85	50,55 a 50,70	38.50
85	54,20 a 54,32	50.70	85	53,55 a 53,70	19.53
85	51,00 a 51,13	38.41	87	10,47 a 10,70	36.57
85	57,15 a 57,30	33.14	87	6,55 a 6,70	33.22
85	54,05 a 54,20	34.47	87	6,40 a 6,55	22.79
85	49,75 a 49,90	50.53	87	10,10 a 10,25	28.61
85	51,15 a 51,30	25.67	91	38,29 a 38,49	19.98
85	51,70 a 54,85	46.97	91	33,87 a 34,00	37.81
85	56,93 a 57,05	34.26	91	41,47 a 41,67	51.89
85	55,12 a 55,24	40.81	91	34,00 a 34,15	54.85
85	50,70 a 50,85	49.97	91	34,15 a 34,30	37.15
85	54,85 a 55,00	25.56	91	41,37 a 41,47	40.86

7.9 - TÚNEL PAI MANÉ

7.9.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Pai Mané, incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 128+720.74 (montante) e o km 129+037.58 (jusante), conforme Quadro 7.21.

Quadro 7.21 – Túnel Pai Mané: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	128+720.74	128+743.62	22.88
Falso Túnel	128+743.62	128+771.67	28.05
Túnel	128+771.67	129+023.67	252.00
Falso Túnel			
Canal Desemboque	129+023.67	129+037.58	13.91
Total Túnel Pai Mané			316.84

7.9.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Pai Mané atravessa maciços rochosos constituídos por filitos e metassiltitos com intercalações de veios milimétricos a centimétricos de quartzo branco, ondulados, concordantes com a foliação, associados à Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), pertencente ao Grupo Cachoerinha (Província Borborema). Os tipos litológicos apresentam tonalidades cinzentas a esverdeadas em cortes recentes, com a presença de sericita, muscovita e biotita.

Relativo aos aspectos estruturais as atitudes do maciço rochoso foram representados em uma projeção estereográfica com uso do programa DIPS de Rocscience (Figuras 7.2-1 e 7.2-2).

A projeção estereográfica das atitudes mostram quatro famílias de descontinuidades principais do túnel Pai Mané. A primeira e a mais importante é a foliação ou xistosidade. Esta mergulha 84° ao SE, sendo bastante monótona. Esta tem uma persistência superior a 20 m e o espaçamento em rocha A2, varia entre 50 a 80 cm. Destaque-se que em ocasiões o plano de foliação apresenta uma rugosidade lisa, quase espelho de falha (JRC 0-2).

Por outro lado, além da xistosidade, apresenta três diaclases principais. A junta J1, é sub-vertical e sempre perpendicular a foliação. Em muitas ocasiões aparece oxidada, possivelmente por infiltrações de água a traves desta. A persistência, e superior a 5 metros e o espaçamento varia entre 20 a 120 cm. A junta J2, é sub-horizontal, com espaçamento de 20 a 80 cm e persistência superior a 2 metros. Por último, a junta J3 e outras que não se representam na projeção, são secundarias e em geral de muita rugosidade.

O alinhamento do túnel é subparalelo ao plano foliação. A cunhas eventuais certamente serão geradas pela interação das descontinuidade F, J1 e J2. A foliação condicionará a geometria das paredes e a junta J2 do teto. O tamanho dos blocos dependerá do espaçamento da foliação (0,50 a 0,80 m).

Figura 7.14 - Túnel Pai Mané: Projeção estereográfica dos polos dos planos das descontinuidades

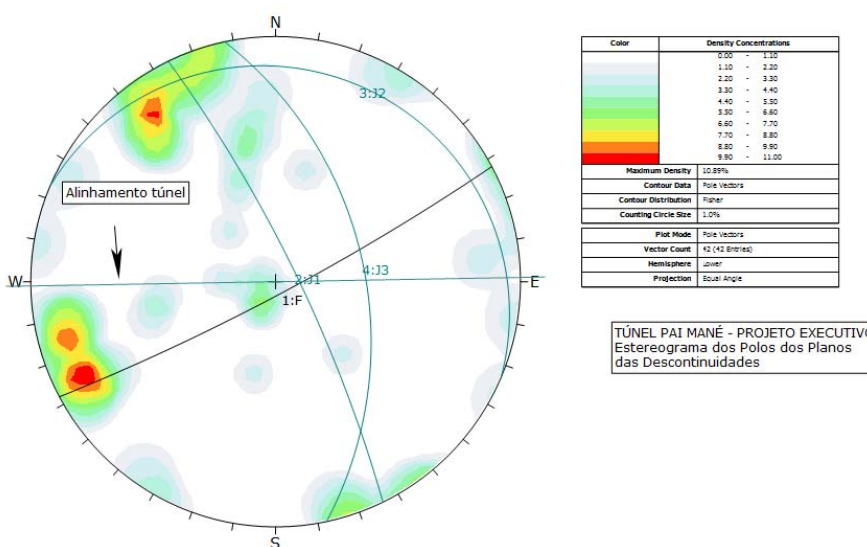
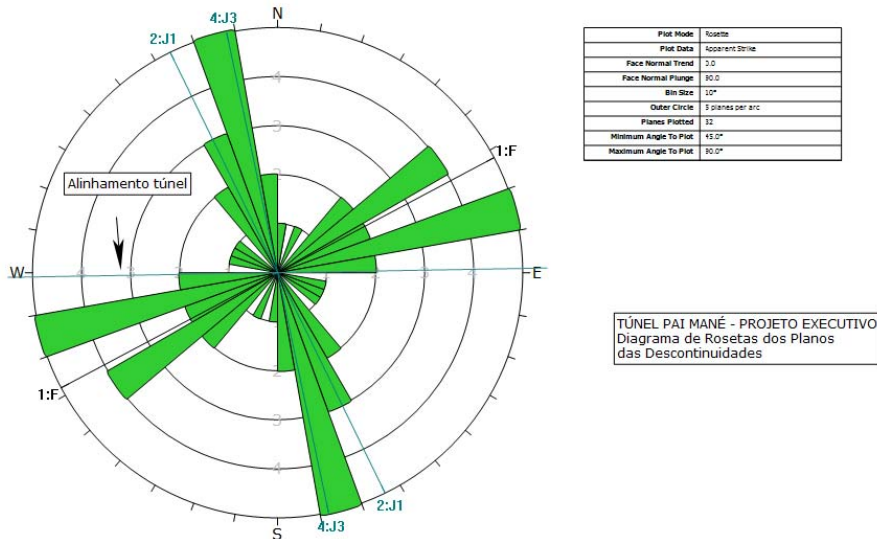


Figura 7.15 -Túnel Pai Mané: Diagrama em rosetas com as descontinuidades principais, correspondente da Figura 7.14.



As sete rotativas realizadas exibem metasedimentos cinza a esverdeados, com níveis de filitos e metasiltitos e veios irregulares de quartzo branco, dispostos em horizontes de 0,50 a 0,80m. A sondagem SR-78, realizado no topo da elevação apresenta maciço rochoso extremamente a muito alterado A5-A4), muitofraturado (F4) até uma profundidade de 26 metros. O RQD se situou predominantemente abaixo de 25%, o que deverá ser levada em consideração a qualidade da sondagem.

Ensaios de compressão simples realizados em testemunhos de sondagens rotativas apresentaram resistência variável com valores inferiores a 28MPa, conforme mostrado no Quadro 7.21.

Quadro 7.21 -Túnel Pai Mané: resultados de ensaios de compressão simples em filitos

Sondagem SR	Profundidade (m)	Resistência (MPa)	Sondagem SR	Profundidade (m)	Resistência (MPa)
71	6,50 a 6,75	22.47	73	25,22 a 25,40	9.60
71	14,35 a 14,60	11.66	73	24,30 a 24,50	3.56
72	10,60 a 10,80	22.53	78	32,85 a 33,00	17.60
72	18,50 a 18,67	9.93	82	25,20 a 25,40	24.54
72	14,45 a 14,70	58.53	82	28,40 a 28,50	27.75
72	9,90 a 10,15	23.32	82	23,45 a 23,65	22.87
72	13,75 a 13,95	9.46	82	17,20 a 17,35	16.00
72	9,90 a 10,00	9.64	82	24,20 a 24,38	14.90
73	17,00 a 17,20	18.61	83	15,20 a 15,35	23.81
73	25,70 a 25,85	18.76	83	16,60 a 16,70	15.96
73	24,85 a 25,10	23.41			

Na zona do túnel (excluindo emboque e desemboque) o maciço rochoso (filito) se nos apresenta com variações entre (A2, C2, F2), (A1-A2, C1-C2, F1-F2) e A1- A2, C1, F1), com presença de juntas oxidadas e localmente com a foliação dobrada e pouco espaçada.

7.10 - TÚNEL CARNAÚBA

7.10.1 - INTRODUÇÃO

O presente capítulo compreende a descrição geológico-geotécnica dos litotipos que ocorrem ao longo do Sub-trecho 1.1 do CAC, do túnel Carnaúba incluindo canais e falsos túneis, situado entre os km 135+577.22 (montante) e o km 136+328.15 (jusante), conforme Quadro 7.22.

Quadro 7.22 –Túnel Carnaúba: Localização das Estruturas

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO		
	ESTACA INICIAL	ESTACA FINAL	COMPRIMENTO (m)
Canal Emboque	135+577.22	135+798.27	221.05
Falso Túnel			
Túnel	135+798.27	136+088.27	290.00
Falso Túnel			
Canal Desemboque	136+088.27	136+328.15	239.88
Total Túnel Carnaúba			750.93

7.10.2 - GEOLOGIA E GEOTECNIA

O túnel Carnaúba atravessam maciços rochosos constituídos por filitos e metassiltitos com intercalações de veios milimétricos a centimétricos de quartzo branco, ondulados, concordantes com a foliação, associados à Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), pertencente ao Grupo Cachoerinha (Província Borborema). Os tipos litológicos apresentam tonalidades cinzentas a esverdeadas em cortes recentes, com a presença de sericita, muscovita e biotita.

Relativo aos aspectos estruturais, as atitudes e dados geomecânicos do maciço rochoso mapeados para projeto executivo do túnel Carnaúba foram representados em uma projeção estereográfica com uso do programa DIPS de Rocscience (Figuras 7.11-1 e 7.11-2).

A projeção estereográfica das atitudes coletadas no campo exibem ao menos três discontinuidades principais. A primeira e a mais importante é a foliação ou xistosidade. Esta mergulha 76° ao SE, sendo bastante monótona, seguindo o trend regional da Província de Borborema. Esta tem uma persistência superior a 20 m e o espaçamento em rocha A2, varia entre 50 a 80 cm. Destaque-se que em ocasiões o plano de foliação apresenta uma rugosidade lisa, quase espelho de falha (JRC 0-2).

Por outro lado, além da xistosidade, apresenta três diaclases principais. A junta J1, é sub-vertical e sempre perpendicular a foliação. Em muitas ocasiões aparece oxidada, possivelmente por infiltrações de água a traves desta. A persistência, e superior a 5 metros e o espaçamento varia entre 20 a 120 cm. A junta J2, é sub-horizontal, com espaçamento de 20 a 80 cm e persistência superior a 2 metros. Por ultimo, outras que não se representam na projeção, são secundarias e em geral de muita rugosidade.

O alinhamento do túnel é oblíquo (46°) com o plano foliação. A cunhas que poderem gerar serão a traves das discontinuidades F, J1e J2. A foliação vai condicionar a geometria das paredes e J2 do teto, tal e como se pode apreciar no seguinte desenho. O tamanho dos blocos estará limitado pelo espaçamento da foliação (50-80 cm).

Figura 7.16 - Túnel Carnaúba: Projeção estereográfica dos polos dos planos das descontinuidades

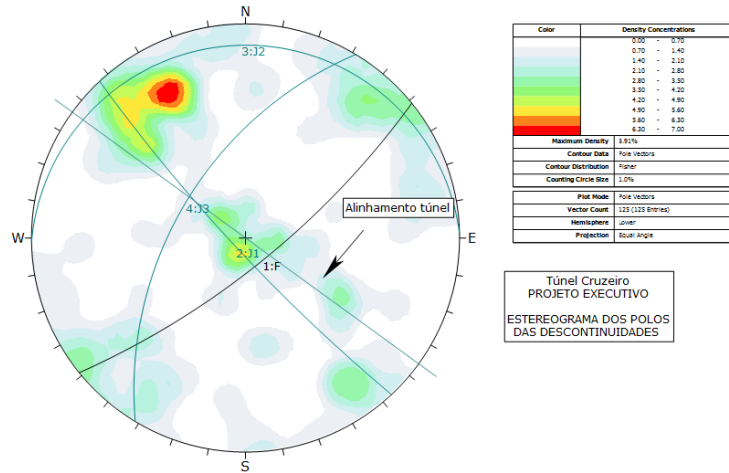
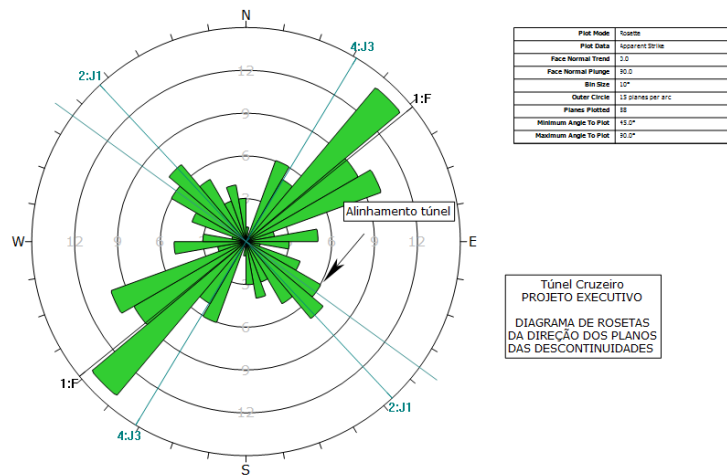


Figura 7.17 - Túnel Carnaúba: Diagrama em rosetas com as descontinuidades principais, correspondente da Figura 7.16.





8–PROSPECÇÕES PARA PROJETO

8 - PROSPECÇÕES

8.1 - INTRODUÇÃO

Os estudos e prospecções foram desenvolvidas no campo, em laboratórios, complementados com estudos e elaboração de relatórios, que incluem mapeamentos geológicos, levantamentos geofísicos, sondagens mecânicas (SP; SR; SM) e sondagens manuais (ST; SPP)

8.2 - MAPEAMENTOS GEOLÓGICOS

Os mapeamentos geológicos de superfícies foram realizados na faixa de domínio do canal, tendo sido apresentado em planta e perfil ao longo do traçado, compondo um dos produtos do Projeto Executivo, estando apresentado em menor escala (1:50.000) no Anexo 1 (Mídia).

8.3 - LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS

8.3.1 - APRESENTAÇÃO

Os levantamentos geofísicos foram realizados pela Empresa GEOPHYSICAL Consulting & Services, tendo sido realizados nos seguintes locais:

- Túnel Veneza (Municípios de Abaiara e Missão Velha)
- Túnel Cruzeiro (Município do Crato)
- Túnel Pai Mané (Município do Crato); e
- Túnel Carnaúba (Município do Crato).

Foram empregadas as metodologias: Levantamento Geofísico através da Técnica de **Sísmica de Refração**, e Levantamento Geofísico através da Técnica de Eletorresistividade.

O primeiro método foi utilizado com o objetivo de identificação da profundidade do substrato rochoso (topo da rocha) e suas camadas superficiais. Enquanto o segundo método foi empregado de forma a verificar a profundidade do nível de água e a presença de falhas/fraturas na região do levantamento.

O método sísmico baseia-se na emissão de ondas elásticas artificiais (também chamadas de ondas sísmicas) que viajam com diferentes velocidades em diferentes tipos de rochas. Através da geração de ondas sísmicas, estas são captadas depois de percorrerem determinadas distâncias em subsuperfície, sendo refletidas e refratadas principalmente, nas discontinuidades encontradas no subsolo, retornando posteriormente a superfície terrestre (Dourado, 2002).

O método da eletorresistividade baseia-se no estudo do potencial elétrico tanto dos campos elétricos naturais, existentes na crosta terrestre, como dos campos artificialmente provocados. A partir de medições do potencial elétrico na superfície pode-se determinar, no

subsolo, a existência de corpos minerais e reconhecer estruturas geológicas (TELFORD et. al.1990).

8.3.2 - QUANTITATIVOS DE SERVIÇOS

Foram realizados 3 (três) perfis geofísicos (Sísmica de Refração), perfazendo um total de aproximadamente 1330 (hum mil trezentos e trinta) metros, sendo:

- 1 Túnel Cruzeiro 410,00m;
- 2 Túnel Pai Mané 410,00m;
- 3 Túnel Carnaúba 510,00m.

Foi realizado no Túnel Veneza uma seção de eletrorresistividade (caminhamento elétrico), com comprimento de 2540,00m.

8.3.3 - PRODUTOS

Os levantamentos geofísicos foram objetos de produto, apresentados em relatório apresentado no Anexo 3 (Mídia), estando os perfis apresentados a seguir:

Figura 8.1 – Túnel Cruzeiro: Seção Sísmica de Refração

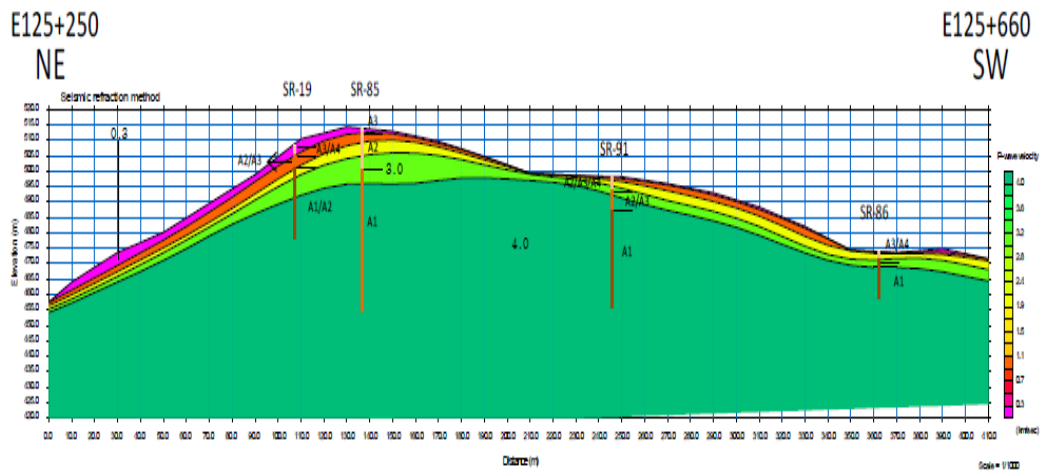


Figura 10 – Seção de sísmica de refração do Túnel Cruzeiro.

LEGENDA









	Solo Residual		A1 - Rocha Sã
	Metassilito/Filito muito alterado		A2 - Rocha pouco alterada
	Metassilito/Filito alterado		A3 - Rocha alterada dura
	Metassilito/Filito		A4 - Rocha alterada mole



Figura 8.2 – Túnel Pai Mané: Seção Sísmica de Refração

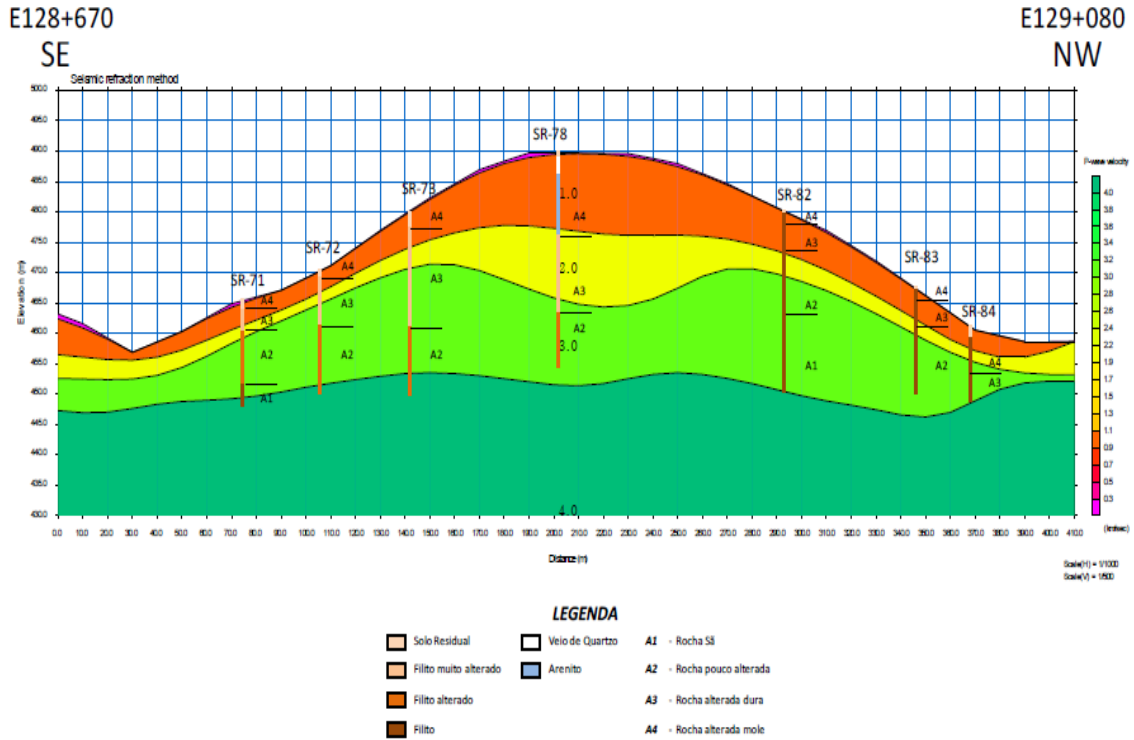


Figura 8.3 – Túnel Carnaúba: Seção Sísmica de Refração

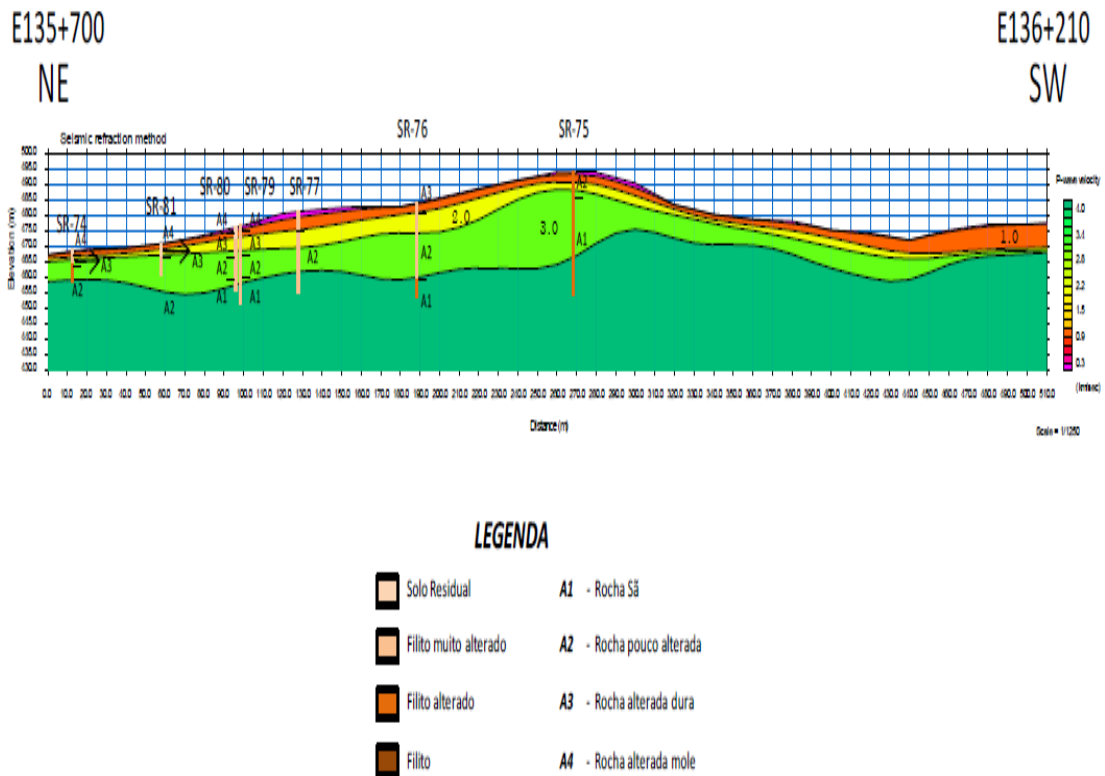
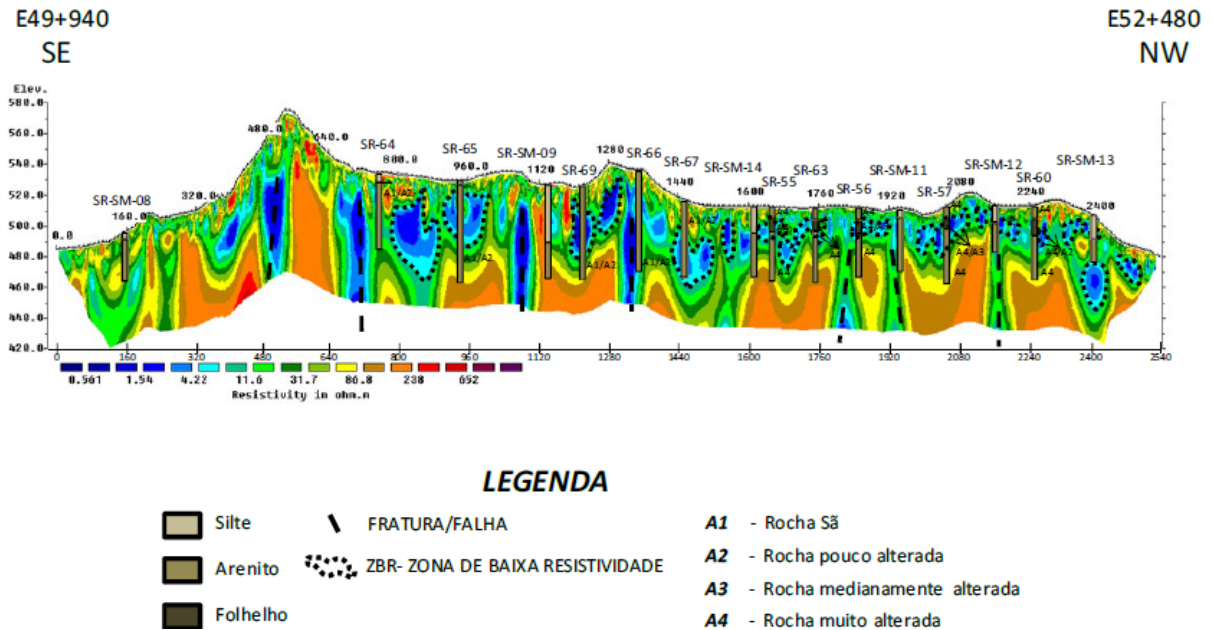


Figura 8.4 – Túnel Veneza: Seção Sísmica de Eletroresistividade



8.3.4 - CONCLUSÕES

Vimos apresentar a transcrição o relatório da empresa executora dos levantamentos geofísicos, utilizados na interpretação dos horizontes geológicos que compõem os túneis Cruzeiro, Pai Mané, Carnaúba e Veneza.

“Foi verificado nas seções sísmicas que a onda refratada encontrou de três meios distintos de velocidade. O primeiro meio apresenta velocidades de 0,3 e 1,0 km/s, associado ao solo residual/rocha muito alterada a medianamente alterada (A4/A3); o segundo com velocidade de 2,0 km/s, associado com a camada de rocha medianamente alterada a pouco alterada (A3/A2) e o terceiro meio com velocidade acima de 3,0 km/s, associado a rocha pouco alterada/rocha sã (A2/A1).

No Túnel Cruzeiro, a rocha pouco alterada/rocha sã (A2/A1) apresenta sua elevação máxima em 505,0 (quinhentos e cinco) metros entre 140,0 (cento e quarenta) e 160 (cento e sessenta) metros do início da seção, enquanto que a cota mais baixa encontra-se em 455 (quatrocentos e cinquenta e cinco) metros no início da seção. Desta forma, observa-se que a área apresenta uma variação de cota de 50 (cinquenta) metros.

No Túnel Pai Mané, a rocha pouco alterada/rocha sã (A2/A1) apresenta sua elevação máxima em 473,0 (quatrocentos e setenta e três) metros entre 150,0 (cento e cinquenta) e 170 (cento e setenta) metros, enquanto que a cota mais baixa encontra-se em 457 (quatrocentos e cinquenta e sete) metros no início e no final da seção. Desta forma, observa-se que a área apresenta uma variação de cota de 16 (dezesesseis) metros. Cabe salientar que, sua superfície apresenta uma leve inflexão, com diminuição em cota, na parte central da seção. Esta feição pode estar associada à existência de uma fratura/falha, a qual pela facilidade de percolação de água favoreceu a sua alteração.

No Túnel Carnaúba, a rocha pouco alterada/rocha sã (A2/A1) apresenta sua elevação máxima em 486,0 (quatrocentos e oitenta e seis) metros a 260,0 (duzentos e sessenta) do início da seção, enquanto que a cota mais baixa encontra-se em 465 (quatrocentos e sessenta e cinco) metros no início da seção. Desta forma, observa-se que a área apresenta uma variação de cota de 21 (vinte e um) metros. Sua superfície não se encontra com uma profundidade grande quando comparado aos outros túneis estudados. No geral a sua profundidade encontra-se entre 2,0 (dois) e 10,0 (dez) metros.

Importante ressaltar que os resultados apresentados, enfatizam a boa qualidade dos dados obtidos no levantamento sísmico de refração, permitindo identificar com clareza as superfícies visualizadas quando correlacionadas as sondagens disponibilizadas.

No Túnel Veneza observar na porção intermediária a final da seção, iniciando em sua parte superior, zonas de baixa resistividade (ZBR), por conseguinte alta condutividade, variando de 0, 1 a 10 ohm.metro. Estas zonas são possivelmente indicativas da presença umidade/água.

Em profundidade estas zonas de baixa resistividade apresentam-se verticais a subverticais, as quais estão possivelmente associadas à fraturas/falhas preenchidas com água, indicativas da percolação de água em subsuperfície.

8.4 - SONDAGENS MECÂNICAS

Sondagens mecânicas (SP; SR; SM):

- a) Sondagem à percussão (SP), com a realização de ensaios de penetração – SPT;
- b) Sondagem rotativa (SR), com a realização de ensaios de perda d'água;
- c) Sondagem mista percussão - rotativa (SP-SR), com a realização de ensaios de penetração – SPT no trecho superficial em solo e realização de ensaios de perda d'água em rocha.

Os quantitativos de sondagens geral e dos cinco lotes que compõem o trecho do CAC, objeto do presente documento, constam no Anexo 4 (Mídia) a exemplo dos quantitativos de sondagens rotativas (SR) executadas no Lote 1, apresentados a seguir:

8.5 - SONDAGENS MANUAIS

Sondagens manuais (ST; SPP):

- a) Sondagem a Trado, com amostragem para descrição e realização de ensaios laboratoriais;
- b) Sondagem à pá e picareta (SPP), também denominada de cacimba

Os quantitativos de sondagens geral e dos cinco lotes que compõem o trecho do CAC, objeto do presente documento, constam no Anexo 4 (Mídia), a exemplo dos quantitativos de sondagens à trado (ST) executadas, apresentados a seguir:

Projeto: CAC - Cinturão de Águas do Ceará										
Obra: Trecho 1 - Jati/Cariús - LOTE 1										
CONTROLE DE SONDAGENS ROTATIVAS PE										
Dados de campo - Novo traçado-Projeto executivo										
GPS Garmin		Data	Estaca de campo	Distân- cia eixo	Local	Prof (m)	Empresa	Estaca PE	Distân- cia	Cota
E	N									
498620	9148836	27/03/2012	-40	No eixo	Captação	27	Geosolo	-40	10	498
498633	9148798	13/04/2012	-80	No eixo	Captação	15	Geosolo	-80	10	486
498606	9148873	20/04/2012	0	No eixo	Captação	21	Geosolo	-1	11	492
498610	9149002	30/04/2012	140	No eixo	Canal 1	10	Geosolo	148	29	487
498682	9149086	27/04/2012	260	No eixo	Canal 1	10	Geosolo	258	18	488
498724	9149227	29/04/2012	410	No eixo	Canal 1	8	Geosolo	413	18	490
498371	9150181	08/05/2012	1500	No eixo	Canal 2	10	Geosolo	1529	20	488
498385	9150264	11/05/2012	1580	No eixo	Canal 2	15	Geosolo	1610	42	490
498395	9150364	14/05/2012	1680	No eixo	Canal 2	12	Geosolo	1733	25	493
497339	9154329	01/06/2012	6500	No eixo	Canal 4	12	Geosolo	6417	3	488
497236	9154372	31/05/2012	6610	No eixo	Canal 4	15	Geosolo	6530	10	494
497150	9154402	29/05/2012	6700	No eixo	Canal 4	15	Geosolo	6621	1	493
497049	9154435	18/05/2012	6800	No eixo	Canal 4	25	Geosolo	6727	8	501
496972	9154464	24/05/2012	6890	No eixo	Canal 4	18	Geosolo	6809	10	496
498605	9148831	26/05/2012	-40	Esquerda	Captação	15	GeoEcologia A	-40	26	498
498620	9148836	12/06/2012	-40	Direita	Captação	15	GeoEcologia A	-40	10	498
496005	9159215	06/06/2012	12530	No eixo	Canal 6	17	Geosolo	12362	140	497
496188	9159762	13/06/2012	13270	No eixo	Canal 7	11	Geosolo	12989	120	467
496151	9160171	29/06/2012	13620	No eixo	Canal 7	18	Geosolo	13358	208	462
496958	9154455	22/06/2012	6900	Esquerda	Canal 4	10	GeoEcologia A	6819	17	495
496973	9154490	21/06/2012	6900	Direita	Canal 4	6	GeoEcologia B	6817	22	495
497047	9154415	03/07/2012	6800	Esquerda	Canal 4	17	GeoEcologia B	6722	24	501
497061	9154461	09/07/2012	6800	Direita	Canal 4	17	GeoEcologia B	6724	25	501
497155	9154424	03/07/2012	6700	Direita	Canal 4	15	GeoEcologia A	6623	22	493
497144	9154384	28/06/2012	6700	Esquerda	Canal 4	15	GeoEcologia A	6620	20	493
496291	9160351	03/07/2012	13930	SR	Canal 7	8	Geosolo	13505	183	462
496429	9160395	05/07/2012	14095	No eixo	Canal 7	11	Geosolo	13590	133	470
497108	9161194	11/07/2012	15150	Direita	Canal 7	8	Geosolo	14774	7	483
497084	9161475	13/07/2012	15460	No eixo	Canal 7	9	Geosolo	15144	12	484
497173	9161884	18/07/2012	16015	No eixo	Canal 7	7	Geosolo	15707	7	484
495920	9176431	19/06/2012	37860	No eixo	Canal 10	8	GeoEcologia A	37174	12	478



CONTROLE DE SONDAGEM À TRADO - PE

Código Resumo	Dados de campo - Novo traçado-Projeto executivo										
	GPS Garmin		Data	Estaca de campo	Distancia eixo	Local	Prof. (m)	Empresa	Estaca PE	Distancia	Cota
157	495422	9177995	16/06/2012	39700	no eixo		2,50	VBA	39043	13	486
158	495440	9178026	04/07/2012	39740	no eixo		1,70	VBA	39079	8	487
159	494802	9180158	24/07/2012	43050	no eixo		0,90	VBA	42310	11	482
176	490834	9184021	04/08/2012	51440	Esquerda			VBA	49790	80	478
177	490810	9184048	04/08/2012	51500	No eixo			VBA	49808	48	479
178	487283	9183170	17/08/2012	55233	No eixo		3,50	VBA	53554	6	475
179	487545	9183113	17/08/2012	54940	No eixo		3,00	VBA	53265	6	469
180	487960	9183359	17/08/2012	54450	No eixo		3,00	VBA	52774	6	475
185	485531	9184995	21/08/2012	58695	No eixo		1,35	VBA	56969	21	471
186	485535	9184980	21/08/2012	58695	Esquerda		1,20	VBA	56963	6	473
187	485532	9185000	21/08/2012	58695	Direita		2,00	VBA	56969	26	471
188	485501	9184972	21/08/2012	58732	No eixo		5,00	VBA	56995	9	468
189	485434	9184983	21/08/2012	58800	no eixo		2,50	VBA	57067	9	470
190	476873	9184976	21/08/2012	71700	no eixo		4,40	VBA	68625	6	461
325	490637	9184011	28/11/2012	51660	No eixo		3,60	VBA	50000	1	487
337	480152	9185152	09/01/2013	65500	No eixo		3,00	VBA	64683	3	467
338	480058	9185120	09/01/2013	65600	No eixo		6,00	VBA	64782	2	470
339	479963	9185088	09/01/2013	65700	No eixo		6,00	VBA	64883	3	474
340	479868	9185056	09/01/2013	65800	No eixo		2,50	VBA	64983	3	479
341	479584	9184959	10/01/2013	66100	No eixo		2,60	VBA	65283	3	473
342	479489	9184927	10/01/2013	66200	No eixo		2,10	VBA	65383	3	470
343	479395	9184895	10/01/2013	66300	No eixo		3,60	VBA	65482	3	476
344	479000	9184863	10/01/2013	66400	No eixo		5,20	VBA	65892	93	474
345	475995	9185156	11/01/2013	69596	No eixo		5,00	VBA	69541	1	453
346	475898	9185130	11/01/2013	69700	No eixo		5,00	VBA	69641	1	458
347	474538	9185356	03/01/2013	71340	No eixo		5,40	VBA	71268	9	473
348	474478	9185471	03/01/2013	71460	No eixo		4,00	VBA	71398	5	467
349	474424	9185569	03/01/2013	71540	No eixo		3,00	VBA	71509	10	470
350	474369	9185653	03/01/2013	71640	No eixo		4,00	VBA	71607	15	475
351	474118	9185760	03/01/2013	71940	JAZIDA 31A		5,50	VBA	71877	3	458
352	474023	9185803	03/01/2013	72040	JAZIDA 31A		3,90	VBA	71981	1	464
353	473920	9185860	03/01/2013	72140	JAZIDA 31A		4,90	VBA	72099	3	474
354	473522	9186126	05/01/2013	73400	No eixo		4,60	VBA	72579	2	478
355	473429	9186103	05/01/2013	73500	No eixo		4,80	VBA	72679	1	477
356	473334	9186036	05/01/2013	73620	No eixo		2,20	VBA	72799	2	473
357	492293	9183890	23/02/2013	48100	No eixo		2,00	VBA	48098	2	475
454	482495	9186286	04/09/2013	61140	Bueiro - F10-D		2,50	VBA	61148	17	472
453	482108	9186099	04/09/2013	61588	Bueiro - F11-D		1,50	VBA	61587	17	469
461	481403	9185980	05/09/2013	62522	Bueiro - F13-D		2,50	VBA	62522	14	473
462	481380	9185962	05/09/2013	62522	Bueiro - F13-E		2,00	VBA	62526	16	473
460	480316	9185223	05/09/2013	64503	Bueiro - F17-D		1,20	VBA	64505	15	468
459	479497	9184946	05/09/2013	65368	Bueiro - F18-D		2,00	VBA	65370	18	470
455	478666	9184891	05/09/2013	66250	Bueiro - F20-D		0,70	VBA	66254	16	472
456	478511	9184945	05/09/2013	66418	Bueiro - F21-D		1,20	VBA	66418	15	472
457	478084	9184879	05/09/2013	66878	Bueiro - F23-D		2,00	VBA	66854	15	471
458	477593	9185116	05/09/2013	67551	Bueiro - F25-D		1,20	VBA	67555	15	470

Foram emitidos 7(sete) relatórios de acompanhamento e medição das prospecções de campo para projeto executivo do CAC, conforme registro do arquivo técnico da VBA, relacionados a seguir:

- 1º Rel. Parc_Abril-12;
- 2º Rel. Parc_Junho-12;
- 3º Rel. Parc_Nov-12;
- 4º Rel. Parc_Jun-13;
- 5º Rel. Parc_Ago-13;
- 6º Rel. Parc_Set-13;

8.6 - ENSAIOS LABORATORIAIS

Os ensaios de caracterização e compactação foram realizados para estudos de projeto foram realizados no Laboratório da VBA, em Juazeiro do Norte/CE.

Ensaio Especial para obtenção de parâmetros de resistência: coesão e ângulo de atrito efetivos, com base em ensaios de “Resistência ao Cisalhamento Triaxial do solo, tipo CU (Adensado e Não - Drenado)”, e respectivos ensaios de caracterização, incluindo a determinação da massa específica aparente seca e umidade natural, e ensaio de Resistência à Compressão Simples em corpos de prova rochosos de testemunhos de sondagem foram executados no laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação da Universidade Federal do Ceará.

O “RELATÓRIO DE ENSAIOS DE LABORATÓRIO – 056/2013” da UFCE, com apresentação dos resultados de ensaios de acordo com a programação da Projetista, que incluem: “Ensaio de granulometria, limite de liquidez, limite de plasticidade, compactação, e resistência ao cisalhamento triaxial”, consta no Anexo 5 (Mídia), estando sumarizados a seguir os resultados dos Ensaio de Cisalhamento Triaxial – Tipo CU.

O Quadro 8.1 mostra os resultados dos ensaios de compressão triaxial. O valor de coesão foi de 200 kPa para a amostra 22 e 50 kPa para a amostra 23. Os ângulos de atrito determinados foram de 35º para a amostra 22 e 45º para a amostra 23.

A resistência ao cisalhamento das amostras identificam materiais com coesão promovida pela consolidação que ocorreu no arenito e os valores de ângulo de atrito refletem a característica compacta dos materiais.

Quadro 8.1 – Resumo dos Ensaio Triaxiais CU com Medida de Poropressão

Amostra	Local	TIPO	COESÃO (kPa)		ÂNGULO DE ATRITO (°)	
			TOTAL	EFETIVA	TOTAL	EFETIVO
22 - 0,3m	Túnel	CU	250,0	200,0	35,8	35,8
23 - 0,6m	VENEZA	CU	100,0	50,0	43,2	45,0

O Quadro 8.2 apresenta o resumo dos corpos de prova moldados e usados no ensaio de Resistência ao Cisalhamento Triaxial tipo CU.

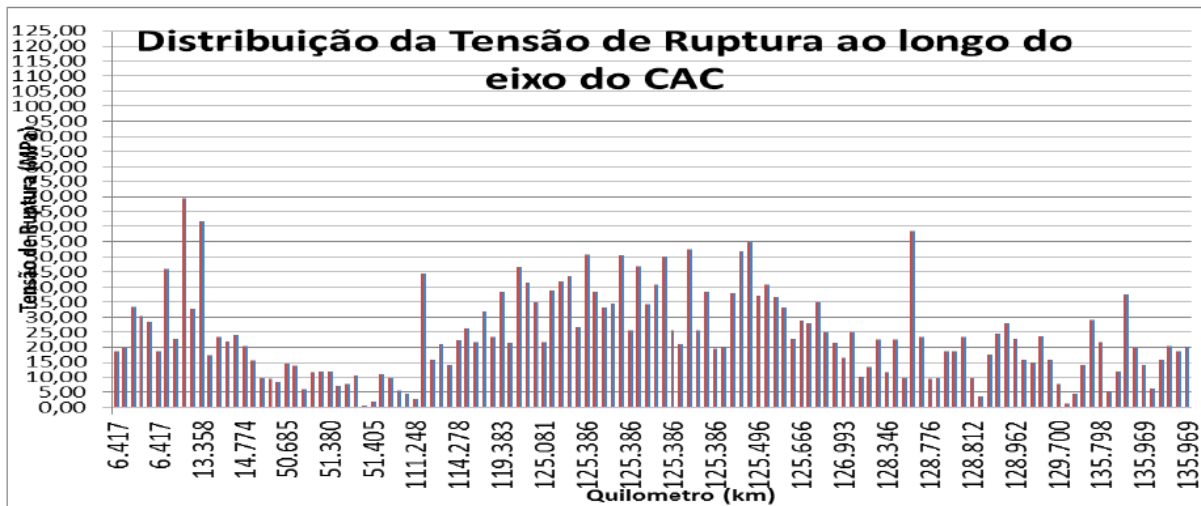
Quadro 8.2 - Resumo das Condições dos Corpos de Prova – Tipo CU

Amostra	TIPO	Carga (kPa)	Altura (cm)	Peso úmido (g)	Umidade (%)	B	Volume (cm ³)	Dens. Úmida (g/cm ³)	Dens. Seca (g/cm ³)
22 0,30 m	CU	50	10,0	355,40	6,54	100	196,35	1,810	1,699
		100	10,0	358,00	6,52	100	196,35	1,823	1,711
		200	10,0	354,15	6,48	100	196,35	1,803	1,693
22 0,60 m	CU	50	10	341,34	8,07	100	196,35	1,738	1,608
		100	10	342,31	7,86	100	196,35	1,743	1,616
		200	10	344,56	7,82	100	196,35	1,755	1,628



Ensaio de Resistência à Compressão Simples foram realizados em corpos de prova (rocha) de testemunhos de sondagem executadas ao longo do canal, por se constituir o primeiro parâmetro de classificação de maciços rochosos RMR (Bieniawski, 1989) estando os resultados apresentados no Anexo 6 e mostrados em síntese nas Figuras a seguir:

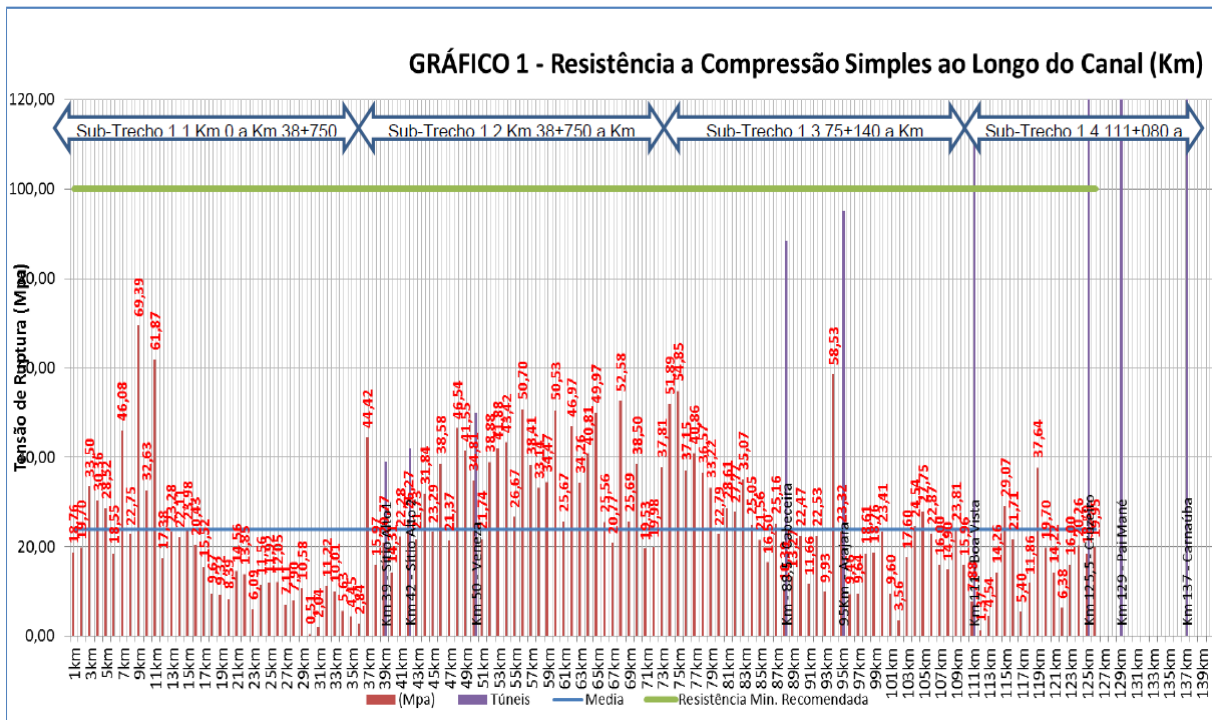
Figura 8.6 – Gráfico da Resistência à Compressão Simples x km de Canal



Quadro 8.3 – Correlação das amostras (corpos de prova) classificadas com resistência da rocha (ISRM,1981).

Descrição		Identificação de campo	Valor Aprox. de σ_c (MPa)	Nº de Amostras Classificadas	% de Amostras Classificadas
R0	Rocha extremamente fraca	Marcada com a unha	0,25 - 1,0	1	0,79
R1	Rocha muito fraca	Esmigalhada com golpes firmes com a ponta do martelo de geólogo e pode ser raspada com canivete.	1,0 - 5,0	6	4,76
R2	Rocha fraca	Pode ser raspada com dificuldade com canivete e marcas podem ser feitas com a ponta do martelo de geólogo.	5,0 – 25	71	56,35
R3	Rocha medianamente resistente	Não pode ser raspada ou riscada com canivete, mas as amostras podem ser fraturadas com golpes de martelo de geólogo.	25 – 50	40	31,75
R4	Rocha resistente	As amostras necessitam de mais que um golpe com martelo de geólogo para ser fraturada.	50 – 100	8	6,35
R5	Rocha muito resistente	As amostras necessitam de muitos golpes com martelo de geólogo para ser fraturada.	100 – 250	0	0
R6	Rocha extremamente resistente	As amostras podem somente ser lascadas com martelo de geólogo	> 250	0	0
Total				126	100

Figura 8.7 – Gráfico com valores da Resistência à Compressão Simples x km de Canal



Observar a predominância valores de resistência à compressão simples situados na faixa menor que 20 MPa, denominadas no meio geotécnico por rochas brandas, de acordo conforme Soares (1991).



9 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E JAZIDAS

9 - MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO E JAZIDAS

9.1 - MATERIAS TERROSOS E CONTROLE TECNOLÓGICO DOS ATERROS

9.1.1 - CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DOS SOLOS PARA ATERROS COMPACTADOS

Os solos a serem utilizados nos aterros compactados ao longo do trecho são predominantemente os de escavação obrigatória, conforme já citado, e localmente de jazidas laterais. As escavações obrigatórias e exigidas, em grande parte, são aquelas necessárias para possibilitar a implantação do canal junto às encostas e ou para estabilização das mesmas (retaludamentos).

Um perfil tipo dos Lotes 1 e 2, representativo das encostas, em que o traçado do canal adutor foi ajustado à melhor situação técnica-econômica, em termos de estabilidade e balanço de materiais, apresenta as seguintes características geotécnicas:

- **Cobertura coluvionar:** Solo arenoso, pouco silto-argiloso, pouco plástico, compacidade média a muito compacto, em cores fortes amarela e amarela avermelhada, fragmentos e blocos de arenito compactos, as vezes silicificados, por vezes fortemente litificados, ou mesmo em processos formacionais mais recentes de laterização, com tamanho que vão desde fragmentos finos a pedras de mão, e mais marcantes nas dimensões de blocos e matacões. Estes últimos podem ocorrer aparentes na superfície do terreno, ou imerso na camada e envoltos pelo solo, típicos dos coluvionamentos, sendo ainda comum o acúmulo destes materiais no pé das encostas, característicos de talus. Embora apresente pequena espessura, ordem de 1 a 3m, têm importante função de estabilização natural da encosta, onde somam também as atividades animal e vegetal.
- **Solo residual de arenito,** com texturas de areia predominantemente fina, pouco silto-argiloso (finos menor que 20%), pouca a nenhuma plasticidade, compacidade mediana, em cores amarela avermelhada (na transição com o colúvio) amarela em tons tendendo à clara localmente branca (ou cinza clara), com espessura variável de poucos até 15m. a partir de 5m são visíveis as estruturas da rocha, crescendo a compacidade, transicionando para a rocha mãe.
- **Arenito,** de textura fina a média em camadas estratificadas métricas e centimétricas, com matriz e ou cimento diversificados (félsico, carbonático, feldspático, mixto ou simplesmente silto-argiloso), que dão origem à condição de friável, ou rocha branda, com resistência à compressão simples inferior a 25MPa (Soares, L. 1991), citado por Mesquita (2008).

9.1.2 - PISTAS EXPERIMENTAIS

Execução de Pistas Experimentais em Solos Arenosos:

A princípio todos os materiais com características geológico-geotécnicas muito diferenciadas serão objetos de avaliação de controles de compactação em pista experimental específica, priorizando aqueles que na ocasião se apresentam com maior dispersão dos controles de campo, notadamente os **solos residuais de arenitos dos Lotes 1 e 2,**

caracterizados como “areia fina muito pouco siltosa (<10% passado na peneira 200), não plástica, em tonalidades claras”.

Os principais materiais obtidos dos cortes e jazidas laterais apresentam as seguintes características geotécnicas:

- a) solos residuais de arenitos, caracterizados como “areia fina muito pouco siltosa (<10% passado na peneira 200), não plástica, em tonalidades claras”.
- b) solos residuais de arenitos, caracterizados como “areia fina pouco silto-argilosa (>10% e <20% passado na peneira 200), pouco plástica, amareladas.
- c) solos colúviais e/ou residuais de arenitos, caracterizados como “areia fina silto-argilosa (>20% e <30% passado na peneira 200), pouco plástica, amarela avermelhadas, a exemplo das ocorrências do trecho km 55+500 a 56+500.
- d) solos colúviais e/ou residuais de micaxistos ou gnaisses, caracterizados como “areia fina siltosa pouco argilosa (20% e 40% passado na peneira 200), medianamente plástica, tonalidades de cinza a amarela-avermelhadas,
- e) solos residuais de metasiltitos\argilitos, caracterizados como “areia muito fina siltosa pouco argilosa (20% e 40% passado na peneira 200), medianamente plástica, tonalidades de cinza a amarela avermelhadas.

Outros materiais, que certamente ocorreram ao longo do canal, sobretudo na região de contatos dos litotipos mencionados. Para cada tipo de material deverão ser realizadas pistas experimentais para as espessuras de camadas lançadas conforme segue, podendo ser alteradas a partir dos primeiros resultados e mobilização de novos rolos compactadores. Desta forma para os materiais: (a) e (b):

- Camadas com espessuras de 20,0cm, 23cm e 26cm, com 6, 8 e 10 passadas com uso dos rolos: tipo Hyster ou similar, e composição dos rolos CA25PD – CA25liso (sendo 4-2; 5-3; 6-4 passadas na ordem dos rolos)
- Para os materiais: (c) (d) (e):
- Camadas com espessuras de 22,0cm, 25cm e 30cm, com 6, 8 e 10 passadas com uso dos rolos: CA25PD ou similar, e se os resultados não forem satisfatórios adotar a composição dos rolos CA25PD – CA25liso (sendo 4-2; 5-3; 6-4 passadas na ordem dos rolos).

Outras composições de rolos poderão ser testadas em função do surgimento de outros materiais ou mesmo na mistura destes.

Preparação da pista:

A pista deverá ser demarcada preferencialmente na parte central da praça selecionada, com superfície plana, deverá ter sido objeto de liberação, de acordo com as Especificações Técnicas, e deverá ter as seguintes dimensões:

- comprimento 60,0m, para rolo vibratório de pata tamping “similar ao CA25PD”, ou Liso



- comprimento 120,0m, para rolo de impacto tipo *Hyster* ou similar ou outros que se adeque a solos arenosos;
- largura correspondente a 3 (três) faixas da largura do respectivo rolo;
- recobrimento da compactação 0,30m;
- marcas com cal de demarcação das faixas;
- cruzetas instaladas a cada 10m e afastadas de 0,5m das bordas da pista, indicando a espessura da camada lançada.

Controle Tecnológico de Campo e Laboratório:

- Concluída a compactação executar um ensaio de controle de compactação completo em cada faixa, preferencialmente na parte central de cada faixa e sempre nos 40 metros centrais da pista. Recomendamos dispor neste momento de pessoal e materiais para determinação da “densidade”, ou seja, da γ (massa específica aparente seca obtida "in situ"), pelo método que mais se adeque ao material da referida pista, e;
- Coletar, identificar e acondicionar as amostras dos furos para encaminhamento ao Laboratório, para determinação γ (máx) massa específica seca máxima, e umidade ótima (h_{ot}) no ensaio de Proctor Normal, bem como os demais ensaios de caracterização.

Em anexo consta Tabela de controles de ensaios e Impresso de execução do *Proctor – Hilf*.

Deverão ser adotadas as Normas Técnicas da ABNT:

NBR06457-1986 Preparação da amostra para ensaios de Caracterização e Compactação

NBR06458 Determinação da Massa Específica

NBR06459 Limite de Liquidez

NBR07180 Limite de Plasticidade

NBR07181 Análise Granulométrica.

NBR07182 Ensaio Compactação

NBR 12102 - Controle de compactação pelo método de *Hilf*

Sobre a Energia de Compactação e Rendimento de um Rolo Compactador:

A determinação do grau de compactação e do desvio de umidade pelo método de *Hilfe* pelo método do Proctor Normal.



Fatores que influenciam na compactação:

- Energia de Compactação (E)

$$E = f\left(\frac{P \times N}{v \times e}\right)$$

Onde

P = peso do rolo;

N = número de passadas

v = velocidade do equipamento de compactação

e = espessura da camada

Para obtenção de maiores graus de compactação, deve-se pela ordem tentar:

- a) aumentar o peso (P) do rolo;
- b) aumentar o número (N) de passadas ;
- c) diminuir a velocidade (v) do equipamento de compactação ;
- d) reduzir a espessura (e) da camada.

Produção de um rolo compactador:

O rendimento de um rolo pode ser avaliado por

$$Ph (m^3 / h) = \frac{L \cdot e \cdot v \cdot 10}{N}$$

onde

L = largura do rolo compressor em metros;

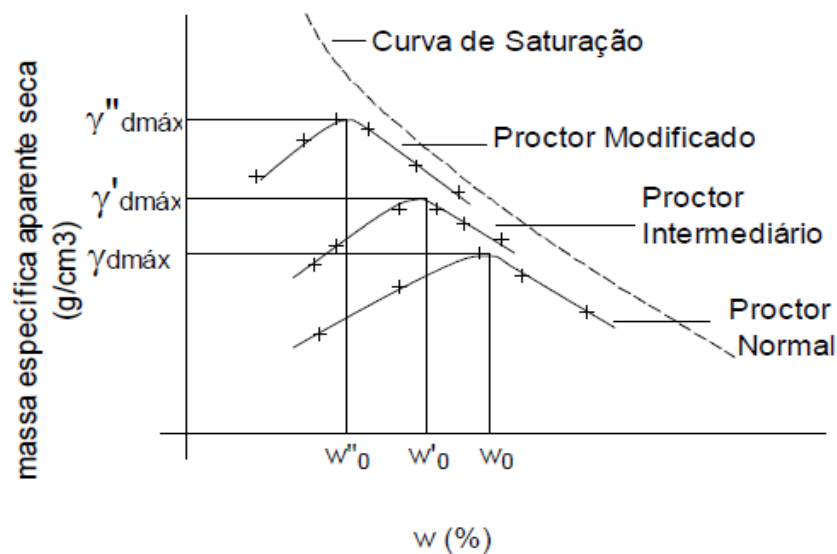
e = espessura da camada em cm;

v = velocidade do rolo em km/h

N = número de passadas do rolo

Sujeito, é claro, ao fator de eficiência.

Nota: Com o aumento da energia de compactação, a umidade ótima diminui e a massa específica aparente seca máxima aumenta, conforme mostrado no gráfico a seguir:



9.1.3 - SOBRE AS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ATERROS COMPACTADOS DO CAC

Os aterros compactados deverão ser executados preparando-se inicialmente o terreno de fundação por meio de rega e escarificação. Poderá ser utilizado qualquer tipo de equipamento que produza a escarificação necessária. A distância entre os sulcos não deverá exceder 30 cm; os sulcos deverão ter entre 5 e 7 cm de profundidade.

Os materiais deverão estar isentos de pedras e torrões com mais de 10 cm, de raízes, ou de qualquer matéria orgânica, e deverão ser aprovados pela FISCALIZAÇÃO. Os materiais serão umedecidos até se conseguir um teor de umidade próximo à ótima (+2%), seja por espalhamento e secagem do material quando demasiadamente úmido, seja por umidificação quando demasiadamente seco. Em seguida, os materiais deverão ser estendidos em camadas horizontais de espessura máxima entre 20 e 30 cm, em toda a largura do aterro. A umidificação e homogeneização dos materiais deverá ser efetuada, de preferência, durante a escavação dos mesmos.

Cada camada deverá ser compactada completa e uniformemente em toda sua superfície, e não deverá ter mais de 20 cm de espessura após a compactação.

Após a colocação do material conforme estipulado anteriormente, sua compactação deverá ser executada até que se tenha obtido uma densidade relativa entre 97% e 100% da densidade seca máxima de laboratório, determinada pelo ensaio da compactação Proctor Normal. O equipamento de compactação utilizado deverá ser adequado ao tipo de material colocado, e aprovado previamente pela FISCALIZAÇÃO.

Os seguintes ensaios serão realizados nos aterros executados e nos materiais para aterro:

- Ensaio de compactação, segundo o método Proctor Normal, para cada 1.000 m³ de material colocado.



- Ensaio para a determinação da massa específica aparente seca, "in situ", para cada 100 m³ de camada de aterro, alternadamente no eixo e nas bordas, correspondente ao ensaio de compactação supramencionado.
- Ensaio de granulometria (DNER-A4E-44-64), e ensaios de limites de liquidez e plasticidade (DNER-A4E-83-63), para o corpo do aterro, para cada grupo de dez amostras submetidas ao ensaio de compactação, segundo a alínea 1), acima.
- Ensaio do Índice de Suporte Califórnia, com a energia do método Proctor Normal, para cada grupo de quatro amostras das camadas superiores. O número de ensaios será definido pela FISCALIZAÇÃO.

Durante todo o tempo que durar a construção, até o recebimento do aterro, os materiais e os serviços deve estar protegidos contra ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los. A responsabilidade desta conservação é da CONTRATADA e não é objeto de medição.

Controle Geométrico:

As seguintes tolerâncias serão admitidas relativamente aos valores especificados no projeto:

- Variação da altura de ± 3 cm para eixo e bordas, a partir da seção transversal dos desenhos sendo respeitadas as declividades de projeto para a plataforma;
- Variação da largura de 20 cm para a plataforma, a partir da seção transversal dos desenhos, não se admitindo variações negativas. O controle será efetuado mediante a verificação das cotas, nos eixos e nas bordas, a cada duas estacas.

9.2 - PEDREIRAS

Desta forma foram investigadas e catalogadas para uso nas obras do CAC três pedreiras estando os dados gerais das mesmas apresentados **Quadro 9.1** e a localização nos desenhos do **Anexo 1 (Mídia)**.

Quadro 9.1–Pedreiras para uso nas obras do CAC.

Numero controle	Jazida Pétreia	Área Estimada (m ²)	Prof. Média Útil (m)	Volume Disp. (m ³)	Volume Utilizável (m ³)	TDD-484 (Km)	Distância Eixo (m)	Referência Eixo
1	Pedreira 01	38.619,30	10,00	386.193,00	386.193,00	5,35	2.389,25	Esquerda
2	Pedreira 02	68.807,63	10,00	688.076,29	688.076,29	45,00	18.631,94	Direita
3	Pedreira 03	39.919,21	10,00	399.192,10	399.192,10	120,42	88,20	Esquerda
Total		147.346,14		1.473.461,39	1.473.461,39			

9.3 - MATERIAIS GRANULARES E ARENOSO (AREAIS)

As jazidas de materiais granulares (areais) se localizam nos leitos e margens das drenagens naturais (córregos e riachos), tendo sido investigados todos os córregos e riachos que cruzam o canal adutor e planícies de inundação destes situadas um pouco mais distante, quando comparadas com as jazidas laterais, havendo portanto necessidade de pequenas desapropriações, por ocasião do uso.

Os areais foram materializados no campo e investigados em malha regular de 100m por meio de coordenadas UTM com uso de GPS. Nos vértices da malha foram executadas

sondagens a pá e picareta, tendo sido investigadas e catalogadas para uso nas obras do CAC onze jazidas de materiais granulares (areiais) estando os dados gerais das mesmas apresentados **Quadro 9.2**, e a localização nos desenhos do **Anexo 1**.

Quadro 9.2 - Jazidas de Materiais Granulares (areais)

Numero controle	Jazida de Areia	Área Estimada (m ²)	Prof. Média Útil (m)	Volume Disp. (m ³)	Volume Utilizável (m ³)	TDD-484 (Km)	Distância Eixo (m)	Referência Eixo
1	JA - 01	27079,14	1,00	27.079,14	27.079,14	21,54	602,02	Esquerda
2	JA - 02	43597,10	2,00	87.194,20	87.194,20	31,23	366,77	Direita
3	JA - 03	33567,98	1,00	33.567,98	33.567,98	34,68	29,34	Direita
4	JA - 04	29578,28	1,00	29.578,28	29.578,28	37,37	290,57	Direita
5	JA - 05	43328,08	1,00	43.328,08	43.328,08	43,81	323,63	Direita
6	JA - 06	185557,65	1,00	185.557,65	185.557,65	53,36	Eixo	Eixo
7	JA - 07	34087,84	1,00	34.087,84	34.087,84	78,68	Eixo	Eixo
8	JA - 08	75709,67	1,00	75.709,67	75.709,67	90,7	75,70	Direita
9	JA - 09	112655,00	1,00	112.655,00	112.655,00	93,26	81,80	Direita
10	JA - 10	140469,82	1,00	140.469,82	140.469,82	93,26	Eixo	Eixo
11	JA - 11	168267,33	1,00	168.267,33	168.267,33	131,4	Eixo	Eixo
Total		893.897,89		937.494,99	937.494,99			

9.4 - JAZIDAS TERROSAS

Os materiais de construção para execução dos canais e obras correlatas e de apoio logístico a exemplo de estradas de acesso serão preferencialmente procedentes das escavações obrigatórias, sendo secundariamente obtidos em empréstimos laterais, dentro da faixa de domínio desapropriada, portanto juntos aos canais.

Com base nas inúmeras sondagens mecânicas e manuais realizadas ao longo do traçado foi elaborado o perfil geotécnico longitudinal e pelo eixo do canal, bem como seções transversais espaçadas de 20m, e localmente de 10m. A partir da geometria de escavação e dos aterros que compõe o corpo do canal foi elaborado o balanço dos volumes de escavação e aterro, similar ao adotado em estradas. Desta forma, com base nas informações geológica-geotécnicas obtidas sondagens citadas e ensaios de caracterização e compactação, foi estimado o volume necessário a ser obtido nas jazidas terrosas, identificadas lateralmente por km linear do canal, tendo sido cubadas volumes de no mínimo duas vezes o previsto no projeto dos aterros compactados, bem superior às necessidades do projeto ao longo dos 145,3 km.

As jazidas de materiais terrosos foram materializadas no campo e investigadas em malha regular de 100m por meio de coordenadas UTM com uso de GPS. Nos vértices da malha foram executadas sondagens a pá e picareta. Desta forma foram investigadas e catalogadas para uso nas obras do CAC oitenta e seis jazidas de solo, estando os dados gerais das mesmas apresentados, respectivamente nos **Quadro 9.3** e a localização nos desenhos do **Anexo 1** (Mídia).



Quadro 9.3 - Jazidas de Materiais para Empréstimo Terroso

Numero controle	Jazida de Solo	Area Estimada (m ²)	Prof. Média Útil (m)	Volume Disp. (m ³)	Volume Utilizável (m ³)	TDD-484 (Km)	Distância Eixo (m)	Referência Eixo
1	JS-00	25.093,97	1,10	27.603,37	27.603,37	0,05	1519,13	Esquerdo
2	JS-01	6.640,07	1,03	6.861,40	6.861,40	2,67	52,79	Direito
3	JS-02	23.686,62	3,80	90.009,15	90.009,15	3,54	416,07	Direito
4	JS-02 A	23.687,62	3,80	90.012,96	90.012,96	4,68	416,07	Direito
5	JS-03	14.131,67	2,80	39.568,68	39.568,68	4,58	107,31	Direito
6	JS-04	30.107,93	1,30	39.140,31	39.140,31	5,6	42,18	Esquerdo
7	JS-04 A	38.619,30	2,80	108.134,04	108.134,04	5,4	1386,05	Esquerdo
8	JS-05	13.312,86	0,62	8.253,98	8.253,98	6,6	3,50	Direito
9	JS-05A	57.770,33	1,00	57.770,33	57.770,33	6,7	134,74	Esquerdo
10	JS-05B	64.775,33	0,70	45.342,73	45.342,73	6,72	Eixo	Eixo
11	JS-06	55.710,53	2,55	142.061,86	142.061,86	7,08	Eixo	Eixo
12	JS-06A	205.617,94	2,50	514.044,85	514.044,85	7,4	840,72	Direito
13	JS-06B	168.107,75	0,70	117.675,43	117.675,43	7,24	Eixo	Eixo
14	JS-07	13.951,92	1,60	22.323,08	22.323,08	8,7	Eixo	Eixo
15	JS-08	149.357,64	2,94	439.538,21	439.538,21	9,4	Eixo	Eixo
16	JS-08A	17.348,76	2,00	34.697,52	34.697,52	11,3	Eixo	Eixo
17	JS-09	14.948,46	2,30	34.381,45	34.381,45	11,64	Eixo	Eixo
18	JS-09A	81.543,10	3,00	244.629,30	244.629,30	11,88	263,69	Direito
19	JS-10	16.880,65	1,80	30.385,16	30.385,16	14,06	69,91	Direito
20	JS-11	29.864,50	2,05	61.222,22	61.222,22	14,34	98,52	Direito
21	JS-12	85.268,36	4,80	409.288,11	409.288,11	14,76	26,91	Direito
22	JS-13	295.309,95	5,00	1.476.549,75	1.476.549,75	17,4	38,22	Direito
23	JS-14	253.245,84	5,00	1.266.229,20	1.266.229,20	22,45	Eixo	Eixo
24	JS-15	136.342,76	1,80	245.416,97	245.416,97	24,84	Eixo	Eixo
25	JS-16	163.364,78	2,80	457.421,39	457.421,39	27,3	Eixo	Eixo
26	JS-17	141.762,01	2,80	396.933,62	396.933,62	28,14	Eixo	Eixo
27	JS-17A	393.633,17	4,80	1.889.439,20	1.889.439,20	32,82	Eixo	Eixo
28	JS-18	117.168,61	5,00	585.843,05	585.843,05	33,8	Eixo	Eixo
29	JS-18A	28.865,44	5,00	144.327,20	144.327,20	33,58	203,21	Direito
30	JS-18B	10.824,83	5,00	54.124,15	54.124,15	33,9	198,14	Direito
31	JS-19	7.943,83	1,43	11.319,95	11.319,95	36,14	17,76	Direito
32	JS-19A	82.682,47	1,80	148.828,44	148.828,44	36,8	Eixo	Eixo
33	JS-19B	63.785,38	4,80	306.169,82	306.169,82	37,5	1013,49	Direito
34	JS-19C	25.494,67	1,80	45.890,41	45.890,41	39,65	Eixo	Direito
35	JS-19D	178.268,70	5,00	891.343,50	891.343,50	38,12	415,40	Direito
36	JS-20	72.493,46	5,00	362.467,28	362.467,28	42,24	315,95	Direito
37	JS-21	44.244,02	3,05	134.944,25	134.944,25	46	211,60	Direito
38	JS-21A	28.098,46	5,00	140.492,30	140.492,30	45,56	6,25	Esquerdo
39	JS-21B	179.316,75	2,00	358.633,50	358.633,50	47,78	310,11	Direito
40	JS-21C	41.340,59	2,00	82.681,18	82.681,18	48,29	145,89	Esquerdo
41	JS-22	52.863,50	5,00	264.317,50	264.317,50	50,7	Eixo	Eixo
42	JS-23	102.110,54	5,00	510.552,69	510.552,69	52,9	470,21	Esquerdo
43	JS-24	62.002,34	5,00	310.011,72	310.011,72	55,75	Eixo	Eixo
44	JS-25	88.119,61	5,00	440.598,06	440.598,06	56,8	Eixo	Eixo
45	JS-26	204.778,26	5,00	1.023.891,29	1.023.891,29	58,5	Eixo	Eixo
46	JS-27	36.813,20	5,00	184.065,99	184.065,99	60,33	Eixo	Eixo
47	JS-28	69.389,46	4,80	333.069,43	333.069,43	61,25	Eixo	Eixo
48	JS-28A	152.088,28	5,00	760.441,40	760.441,40	62,84	Eixo	Eixo
49	JS-29	66.486,76	5,00	332.433,78	332.433,78	65,45	Eixo	Eixo
50	JS-30	137.792,45	5,00	688.962,23	688.962,23	68,65	Eixo	Eixo
51	JS-31	46.933,40	5,00	234.666,98	234.666,98	70,32	18,35	Esquerdo
52	JS-31A	197.138,77	5,00	985.693,85	985.693,85	73,8	Eixo	Eixo
53	JS-32	1.093.637,87	5,00	5.468.189,35	2.000.000,00	75	522,91	Direito
54	JS-32A	189.444,13	5,00	947.220,65	947.220,65	76,2	101,91	Direito
55	JS-33	242.429,56	1,80	436.373,21	436.373,21	77,95	Eixo	Eixo
56	JS-33A	82.308,12	3,00	246.924,36	246.924,36	80,7	98,68	Direito
57	JS-34	54.234,55	2,80	151.856,74	151.856,74	81,66	Eixo	Eixo



Quadro 9.3 - Jazidas de Materiais para Empréstimo Terroso (cont.)

Numero controle	Jazida de Solo	Area Estimada (m ²)	Prof. Média Útil (m)	Volume Disp. (m ³)	Volume Utilizável (m ³)	TDD-484 (Km)	Distância Eixo (m)	Referência Eixo
58	JS-35	54.919,48	5,00	274.597,40	274.597,40	82,83	Eixo	Eixo
59	JS-36	92.232,90	5,00	461.164,51	461.164,51	84,7	343,95	Direito
60	JS-37	29.092,40	5,00	145.462,01	145.462,01	91,78	461,86	Direito
61	JS-37A	164.117,53	5,00	820.587,65	820.587,65	92,36	168,90	Esquerdo
62	JS-38	110.509,17	3,13	346.262,06	346.262,06	94,8	Eixo	Eixo
63	JS-39	127.561,70	5,00	637.808,48	637.808,48	95,5	Eixo	Eixo
64	JS-40	514.869,65	1,97	1.012.576,98	1.012.576,98	97	Eixo	Eixo
65	JS-41	91.695,80	5,00	458.478,99	458.478,99	99,15	50,28	Esquerdo
66	JS-42	201.690,29	5,00	1.008.451,45	1.008.451,45	100	Eixo	Eixo
67	JS-43	40.000,00	3,80	152.000,00	152.000,00	101,2	Eixo	Eixo
68	JS-44	794.571,98	5,00	3.972.859,90	2.000.000,00	103,21	377,78	Esquerdo
69	JS-45	54.048,40	5,00	270.242,01	270.242,01	105,55	76,77	Direito
70	JS-46	60.683,26	2,30	139.571,49	139.571,49	112,4	280,09	Direito
71	JS-47	28.890,74	5,00	144.453,68	144.453,68	112,71	32,65	Esquerdo
72	JS-48	216.416,23	5,00	1.082.081,16	1.082.081,16	114	100,03	Direito
73	JS-49	225.963,45	3,40	768.275,72	768.275,72	117,3	275,47	Direito
74	JS-50	158.126,62	2,20	347.878,56	347.878,56	120,5	549,86	Direito
75	JS-51	146.783,25	2,80	410.993,11	410.993,11	123,1	726,98	Direito
76	JS-51A	40.650,88	4,00	162.603,52	162.603,52	122,8	887,54	Direito
77	JS-51B	102.148,80	5,00	510.744,00	510.744,00	122,73	760,22	Direito
78	JS-52	54.125,28	1,80	97.425,51	97.425,51	125	276,39	Direito
79	JS-53	167.152,22	1,80	300.873,99	300.873,99	130,8	Eixo	Eixo
80	JS-54	126.949,70	4,80	609.358,57	609.358,57	131,3	Eixo	Eixo
81	JS-55	66.437,00	1,50	99.655,50	99.655,50	132,7	696,92	Esquerdo
82	JS-56	124.283,82	2,10	260.996,01	260.996,01	134	Eixo	Eixo
83	JS-57	381.206,77	5,00	1.906.033,85	1.906.033,85	138,4	Eixo	Eixo
84	JS-58	364.142,09	2,30	837.526,80	837.526,80	140	434,76	Direito
85	JS-59	74.044,00	1,80	133.279,20	133.279,20	144,95	83,60	Esquerdo
86	JS-60	34.827,85	4,80	167.173,67	167.173,67	145,5	124,83	Esquerdo
Total		10.927.323,05		42.420.684,28	36.979.635,03			



10–CONSIDERAÇÕES FINAIS

10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Projeto do Cinturão de Águas do Ceará – CAC, por meio de canais e estruturas correlatas, objetiva transferir determinadas vazões d'água, advindas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF), através do Eixo Norte para o estado do Ceará, com a finalidade de distribuí-las nas principais bacias hidrográficas do estado, alargando as áreas beneficiadas com potencialização dos benefícios, refletindo diretamente na economia e sobretudo no bem estar da população. Desta forma a integração do PISF com o CAC permitirá que as vazões captadas em Jati possam ser aduzidas em canais gravitatórios para as principais bacias do Estado, garantindo desta forma o abastecimento para as populações, a indústria, o turismo, a dessedentação animal e agricultura irrigada, nesta ordem de prioridade.

O Projeto do Cinturão de Águas do Ceará, específico da construção do Trecho 1 Jati/Cariús, será realizada de acordo com o processo licitatório constituído de 5 lotes, sendo os Lotes 1 a 4 compostos por canais e sifões e o Lote 5 específico de túneis e obras correlatas, com extensão de 145,322Km, cortando oito municípios na região do Cariri, em trechos variados.

Localizada na Província Borborema, no Nordeste do Brasil, a Bacia do Araripe se desenvolveu em consequência de uma serie de eventos geológicos precedentes e/ou à ruptura do Gondwana e subsequente abertura do Atlântico Sul, sendo dividida pelos estados do Ceará, Piauí e Pernambuco, recobrando uma área de 7200 km².

A síntese da geologia do projeto do Trecho 1 Jati/Cariús destaca-se a Bacia do Araripe, dentre as demais bacias interiores do Nordeste, por sua extensão em área e amplitude estratiográfica. É destaque na geomorfologia da regional pela ocorrência na Chapada do Araripe, uma feição geomorfológica alongada na direção E-W, de topo plano mergulhando suavemente para oeste, e limitada por escarpas erosivas. No referido trecho Jati-Cariús podem ser reconhecidas três zonas geomorfológicas distintas com características peculiares do ponto de vista de litologia, relevo, clima, hidrologia e vegetação:

- **Zona de Chapada** ou Chapada do Araripe - constituída pelos arenitos da Formação Exu, apresenta relevo tabular e plano, formando uma extensa “mesa” limitada em quase toda sua extensão por escarpas abruptas, de contornos irregulares e desníveis consideráveis, que chegam a ultrapassar 300 metros.
- **Zona de Talude** - margeia o sopé da chapada e inclui, geologicamente, unidades litológicas das formações Arajara (siltitos e arenitos argilosos e/ou caulínicos) e Santana (margas, folhelhos e calcários, contendo níveis intercalados de gipsita). O solo de baixa acidez, derivado desta associação litológica, é espesso, pouco permeável e bastante fértil, com drenagem relativamente densa e ramificada.
- **Zona de Pediplano**: bem representada na porção cearense da bacia, constitui uma “vasta depressão, emoldurada, ao sul, pelas falésias escarpadas da Chapada do Araripe (a reconhecida Serra do Araripe) e, ao norte-nordeste, pelas encostas dos arenitos siluro-devonianos da Formação Mauriti. A sua área de domínio se desenvolve desde a região do Crato – Juazeiro do Norte – Barbalha – Missão Velha, até os municípios de Abaiara, Milagres e Mauriti a leste, e Brejo Santo,

Porteiras e Jardim ao sul, mostrando uma topografia, com altitude média em torno de 400 metros, caracterizada por morros alongados entremeados por vales amplos de fundo plano.

As litologias predominantes no Vale do Cariri, como é chamado, relacionam-se às formações Brejo Santo e Missão Velha (Jurássico), Abaiara e Rio da Batateira (Cretáceo), estando este conjunto balizado ora pelos arenitos da Formação Mauriti ora pelas rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano. Os solos formados das unidades litológicas têm composição argila-silto-arenosa (Formações Rio da Batateira e Abaiara), arenosa (Formação Missão Velha) ou argilosa (Formação Brejo Santo) e a vegetação nativa, onde preservada, é tipicamente de catinga.

A partir da área da captação em Jati e no trecho compreendido entre o km 0+000 até o km 6+460, o canal atravessa um maciço rochoso constituído por micaxistos e filitos, com intercalações de veios milimétricos a centimétricos de quartzo branco, ondulados, concordantes com a foliação, associados à Formação Santana dos Garrotes (NPcsg), pertencente ao Grupo Cachoeirinha. A partir do estaqueamento 6+460 até 8+500, a Formação Brejo Santo, sobrepõem-se discordantemente aos micaxistos e filitos da Formação Santana dos Garrotes.

Sob a Formação Santana dos Garrotes, discordante ocorre a Formação Brejo Santo constituída por folhelhos e argilitos vermelhos, siltitos, calcíferos, localmente em cores verde-claros. A espessura desta Formação é muito variada

A Formação Brejo Santo apresenta uma estratificação sub-horizontal, com níveis de 10 a 30 cm de espessura, plásticos e untuosos quando molhados, e duro quando secos, estando sujeitos à contração volumétrica, localmente com teor de matéria orgânica. Os argilitos tendem a formar planos com superfícies espelhadas as vezes com *slickensides*, com baixo ângulo de atrito.

Entre os km 8+500 e 13+860 ocorre a Formação Missão Velha de arenitos friáveis com estratificação sub-horizontal facilmente desagregáveis em areia pouco siltosa, sem plasticidade cor esbranquiçada e amarelada.

Entre os km 13+970 e 17+300 ocorrem os arenitos da Formação Mauriti (Sm) de granulação média a grossa, às vezes micro conglomerático, com pedregulhos isolados de quartzo angulares a subangulares, em encostas muito íngremes, com o solo pouco espesso e presença de grandes blocos e afloramentos superficiais de arenito coerente e compacto.

A partir do estaqueamento 17+300 até próximo ao emboque do Túnel Veneza (km 38+750), o canal novamente atravessa uma série contínua de arenitos com níveis isolados de folhelhos e siltitos pertencentes à Formação Missão Velha. Estes arenitos têm uma granulometria fina a grosseira, mal selecionados, às vezes microconglomeráticos, com estratificação cruzada tabular e acanalada.

Em continuidade ao Lote 2, km 49+980 a 75+140 o sistema adutor projetado sobre a Formação Rio Batateiras constituída na sua unidade basal da fácies arenítica com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis pouco espessos de conglomerados. Os arenitos apresentam texturas finas a médias, subarredondados a

subangulares, em geral bastante friáveis, com presenças localizadas de seixos e de feldspatos caulinizados e pelotas de argila. Os arenitos da Formação Batateiras apresentam cores amareladas e esbranquiçado, friáveis a pouco coerentes, com as estruturas sedimentares típicas, apresenta um horizonte de solo residual avermelhado de espessura média de 9 a 10 metros, com texturas de areias argilosas ou siltosas, de baixa plasticidade avermelhadas. com boas características geotécnicas para aterros.

Trecho Km 75+140 até 111+080 abrange o Lote 3 implantado sobre os litotipos da Formação Rio Batateiras constituída na unidade basal predomina a fácies arenosas com intercalações de lamitos avermelhados e amarelados, e de níveis delgados de conglomerados. Os arenitos apresentam texturas finas a médias, subarrendados a subangulares, em geral bastante friáveis, argilosos e micáceos, às vezes com seixos com feldspatos caulinizados e pelotas de argila. Os folhelhos em geral com folheação sub-horizontal a inclinados. São plásticos e pegajosos quando molhados, e duro quando secos, podendo localmente apresentam teor de matéria orgânica. Apresentam planos de fraqueza isolados e sem padrão, um pouco espelhados, podendo originar fortes escorregamentos.

Especial atenção para o trecho aproximado entre as estacas do Km 87.000 a 89.000, caracterizado pela presença de folhelho, que adentra no túnel Cabaceira situado entre os km 88+752 (montante) e o km 89+144 (jusante). Os folhelhos são materiais bastante conhecidos no meio técnico, e no trecho citado apresentam texturas predominantemente siltosas, com pouco argila e areia fina, de baixa plasticidade, pouco coesivo e certamente baixo ângulo de atrito, que lhes confere baixa resistência ao cisalhamento. Este assunto foi tratado no item 5.2.4. O solo residual de arenitos da Formação Rio Batateiras apresenta texturas de areias argilosas ou siltosas, de baixa plasticidade, avermelhadas, com boas características geotécnicas para aterros.

Trecho Km 111+080 até 113+300, dentro do Lote 4, situado na borda da bacia sedimentar, ocorrem folhelhos, siltitos e arenitos da Formação Brejo Santo, com estratificação sub-horizontal e estruturas preservadas do sedimento original alongada na direção do fluxo, Os arenitos são pouco coerentes (C3) a incoerentes (C4), portanto friáveis, de cor amarelada, apresentam estratificação cruzada de pouca persistência, em camadas de espessuras centimétricas a métricas com variações laterais, intercalando os siltitos e folhelhos acinzentados e amarelados.

Entre os km 113+300 e 119+430, a litologia muda radicalmente, com novos afloramentos de rochas do complexo cristalino, com presença de corpo intrusivo de rocha granítica e granodiorítica, de contato brusco e discordante com as unidades metassedimentares encaixantes. O granodiorito possui uma fácies grosseira, rósea, com encraves básicos e uma fácies mais fina, de coloração mais cinza. Na área existe uma pedreira em exploração comercial (Petrobrita), em plena atividade.

A partir do km 123+650 até 130+870 o canal volta atravessar a Formação Santana dos Garrotes constituindo uma sequência vulcanossedimentar metamórfica do embasamento cristalino, representada na área por filitos, micaxistos (sericita, muscovita e biotita), de tonalidade cinzenta e esverdeada (rocha sã), metasiltitos, metarenitos e metarcóseos. O Túnel Cruzeiro cruza uma elevação de alinhamento NE-SW, onde ocorrem metassiltitos (ou filitos), são coerentes e de cor cinza-esverdeado ou simplesmente acinzentados, com foliação em geral subverticalizada. Trecho entre Km 121+400 e 130+870 o canal volta atravessar os filitos e

micaxistos mosqueados da Formação Santana dos Garrotes, sendo frequentes os matacões de granito e depósitos de tálus.

Trecho final entre Km 130+870 e 145+321,85 os metassedimentos da Formação Santana dos Garrotes volta ocorrer, com predominância de filitos de cor cinza esverdeada, e ocorrências localizadas de metasiltitos, metarenitos e metagnaises. Os arenitos da Formação Mauriti voltou ocorrer em pequeno trecho (km133+650-133+860) em contato discordante com o cristalino. O trecho final do canal se desenvolve por uma região muito abrupta e íngreme em rochas da Formação Santana dos Garrotes apresentando no fundo do vale rocha sã e muito coerente.

No Lote 1, algumas seções de escavação (retaludamento), embora estável apresentaram fator de segurança - FS menor que 1,5, com simulação de nível d'água elevado (contato solo residual com o arenito), a exemplo da Seção km 16+220. Simulação com o nível d'água rebaixado, no Nível da Crista do Canal, obteve-se FS satisfatório. Desta forma previu-se nestas situações a instalação de Drenos DHP, a partir da berma.

Ao longo do Lote 2 ocorrem elevações com encostas íngremes, onde o traçado do canal sofreu ajustes, buscando a melhor condição técnica-econômica. Os sete trechos mais críticos que sofreram ajustes de projeto foram denominados de Desvios, com N^{os} 1, 2, 3, 4, 5, 5.1 e 6, com comprimentos e localizações ao longo do traçado variadas, totalizando 4.216,50m. Além do ajuste no traçado de cada trecho (Desvio) os taludes tiveram a geometria ajustada com bermas e inclinações variadas, e ainda foi adotada solução de projeto com uso de solo reforçado com "Terra Armada", com extensão prevista de 600m, nos trechos:

- Desvio 1: trecho com de 248m de comprimento, entre as estações km 39+764,14 a 40+012,00, considerado crítico com talude natural íngreme e elevado (acima da cota 500, que é o limite da Área de Preservação Ambiental –APA) e ainda se situa nas proximidades de um córrego. Foi adotada solução reduzindo ao máximo as escavações (retaludamento), deslocando o canal para o pé da encosta, e a base do aterro compactado do tramo esquerdo do canal foi reforçado com uso de "terra armada". Desta forma além da garantia da estabilidade de cortes e aterros, foram minimizar os problemas da drenagem natural (galerias e bueiros), sem a necessidade do desvio do córrego. O trecho em Terra Armada se situa entre os km 39+900 a 40+080 (extensão de 180m), entre a fundação (solo residual de arenito) e a elevação 472,00);

- Desvio 3 – trecho em Terra Armada entre as estações **km 43+240 e km 43+340** (extensão de 100m), entre a fundação (solo residual de arenito) e a elevação 473,00), em decorrência do aterro do tramo esquerdo se desenvolver em fundação de elevada declividade.
- Desvio 6 – trecho em Terra Armada entre as estações **km 56+030 a 56+250** (extensão de 220m), entre a fundação (solo residual de arenito) e a elevação 470,00);
- Desvio 6 – trecho em Terra Armada entre as estações **km 56+600 e 56+700** (extensão de 100m), entre a fundação (solo residual de arenito) e a elevação 474,00).

Os solos residuais de arenitos dos Lotes 1 e 2, caracterizados como “areia fina muito pouco siltosa (<10% passado na peneira 200), não plástica, em tonalidades claras”, nos ensaios prévios para projeto se apresentaram previsibilidade de grandes dificuldades, sobretudo no início das obras. Previu-se a princípio, que todos os materiais com características geológico-geotécnicas muito diferenciadas, notadamente os solos residuais de arenitos citados sejam objetos de avaliação de controles de compactação em pista experimental específica, priorizando aqueles que na ocasião se apresentam com maior dispersão dos controles de campo, Os principais materiais obtidos dos cortes e jazidas laterais apresentam as seguintes características geotécnicas:

- a) solos residuais de arenitos, caracterizados como “areia fina muito pouco siltosa (<10% passado na peneira 200), não plástica, em tonalidades claras”.
- b) solos residuais de arenitos, caracterizados como “areia fina pouco silto-argilosa (>10% e <20% passado na peneira 200), pouco plástica, amareladas.
- c) solos coluviais e/ou residuais de arenitos, caracterizados como “areia fina silto-argilosa (>20% e <30% passado na peneira 200), pouco plástica, amarela avermelhadas, a exemplo das ocorrências do trecho km 55+500 a 56+500.
- d) solos coluviais e/ou residuais de micaxistos ou gnaisses, caracterizados como “areia fina siltosa pouco argilosa (20% e 40% passado na peneira 200), medianamente plástica, tonalidades de cinza a amarela-avermelhadas.
- e) solos residuais de metasiltitos\argilitos, caracterizados como “areia muito fina siltosa pouco argilosa (20% e 40% passado na peneira 200), medianamente plástica, tonalidades de cinza a amarela avermelhadas.

Outros materiais, que certamente ocorreram ao longo do canal, sobretudo na região de contatos dos litotipos mencionados. Para cada tipo de material deverão ser realizadas pistas experimentais para as espessuras de camadas lançadas conforme segue, podendo ser alteradas a partir dos primeiros resultados e mobilização de novos rolos compactadores. Desta forma recomenda-se a priorização de pista para os materiais: (a) e (b), seguindo as diretrizes do presente documento (item 9.1.2) e Especificações Técnicas.



11 – MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULOS

11 - MEMÓRIA TÉCNICA E DE CÁLCULO

11.1 - LOTE 3 – TRECHO KM 85.000 A 89.000: PRESENÇA UMA CAMADA DE SOLO DE BAIXA RESISTÊNCIA

As análises de estabilidade foram desenvolvidas a partir de informações da geologia – geotecnia local, com base nos estudos anteriores do projeto complementados com os dados obtidos a partir do início do projeto executivo, com a exposição dos materiais escavados. A seção tipo do corte, juntamente com o detalhe da execução se encontra em anexo.

Foi utilizado o software GeoStudio 2007, módulo Slope-W na análise de estabilidade do terreno natural, bem como as situações encontradas na implantação do projeto executivo.

Inicialmente foi executada a análise de estabilidade dos solos residuais considerando as seguintes situações:

- a) Presença de elevada espessura de folhelho ocasionando retaludamento da crista ao fundo do canal;
- b) Ocorrência de folhelho em pequena espessura, sobre arenitos.

Análise de Estabilidade dos Solos Residuais Escavados Conforme Projeto - No **Quadro 11.1** são apresentados os resultados das simulações com valores de fator de segurança, bem como os parâmetros utilizados.

Análise de Estabilidade com Substituição Parcial do Folhelho por Solo Residual Compactado - Foram adotadas as seguintes premissas:

- Rebaixo da escavação do folhelho a 2,0 m do piso do canal;
- Retaludamento dos cortes laterais em taludes (1V:1,5H na seção do canal e 1V:2,5H nos taludes acima da berma do canal);
- Bermas executivas a cada 5,0 m;
- Reaterro do fundo e taludes do canal em camadas compactadas de acordo com o projeto;
- Parâmetros de coesão, ângulo de atrito e peso específico de acordo com o projeto, entretanto para o folhelho adotou-se variações do ângulo de atrito para o período executivo da escavação e final da obra, com execução dos reaterros, drenagem e proteções. Os referidos parâmetros estão apresentados para as diversas situações geradas no Quadro 11.1.

Quadro 11.1 – Resumo Simulações Geoslope 2007 – Slope-W

Resumo Simulações - Seção Tipo Folhelho			
Análise de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade	FS Mínimo	Âng. Atrito (ϕ') para FS = 1,0
1	Final da escavação, escorregamento junto ao corte, folhelho $\phi' = 20^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1,288	13°
2	Aterro executado, escorregamento junto ao corte, folhelho $\phi' = 15^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1,859	-
3	Final da escavação, escorregamento de grande vulto, folhelho $\phi' = 20^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1,478	12°
4	Aterro executado, escorregamento de grande vulto, folhelho $\phi' = 15^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1,633	7°

Propriedades dos Materiais:

Folhelho: $\gamma = 14$ kN/m³

$\phi' = 20^\circ$

$c' = 5$ kPa

Aterro Compactado: $\gamma = 18$ kN/m³

$\phi' = 33^\circ$

$c' = 5$ kPa

Figura 11.1 – Análise de Estabilidade ao Final da Escavação – Escorregamento Junto à Seção do Canal

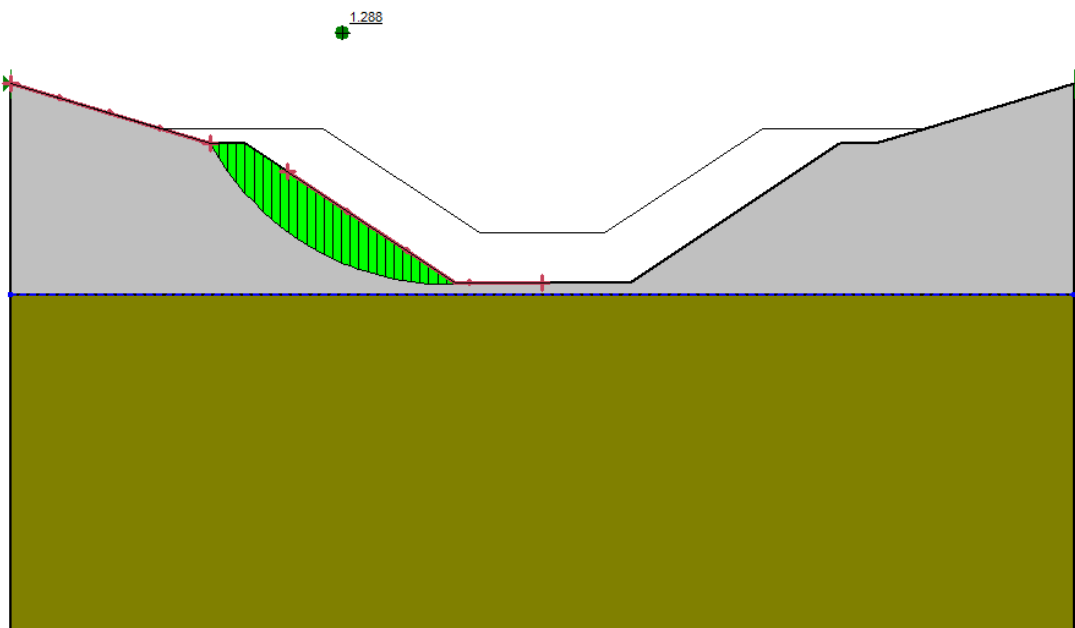
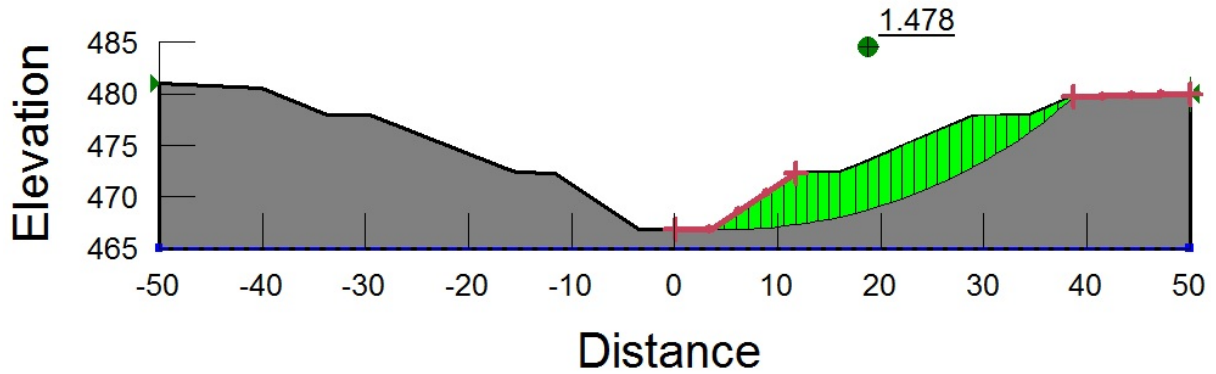


Figura 11.2 – Análise de Estabilidade ao Final da Escavação – Escorregamento de Grande Vulto



Propriedades dos Materiais:

Folhelho: $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$

$\phi' = 15^\circ$

$c' = 5 \text{ kPa}$

Aterro Compactado: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$\phi' = 33^\circ$

$c' = 5 \text{ kPa}$

Figura 11.3 – Análise de Estabilidade com Aterro Executado – Escorregamento Junto à Seção do Canal

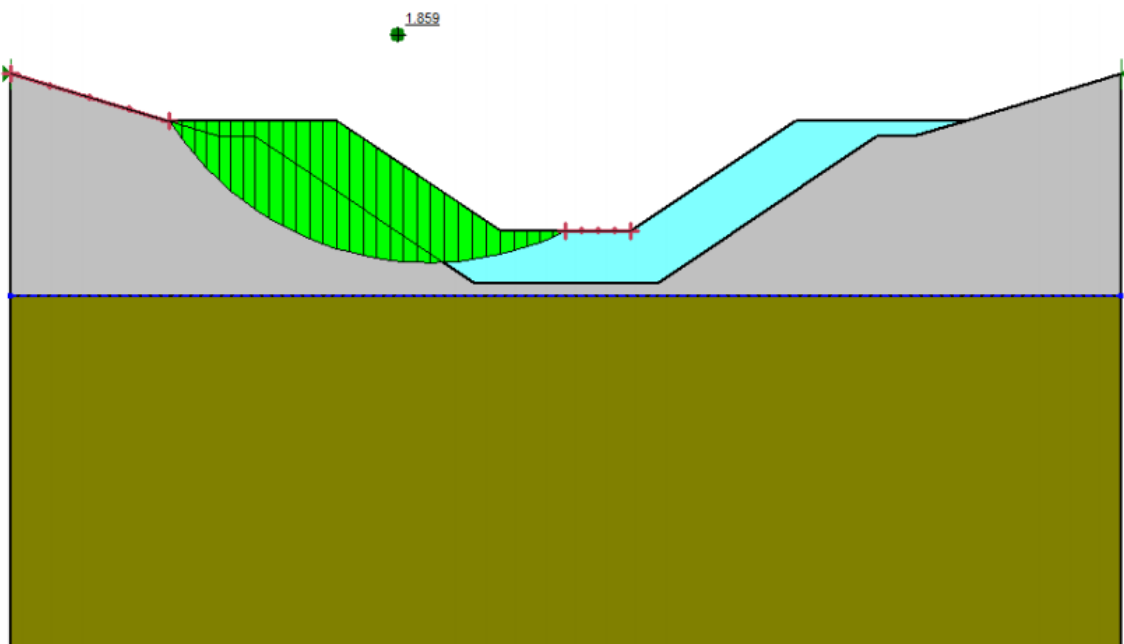


Figura 11.4 – Análise de Estabilidade com Aterro Executado – Escorregamento de Grande Vulto.

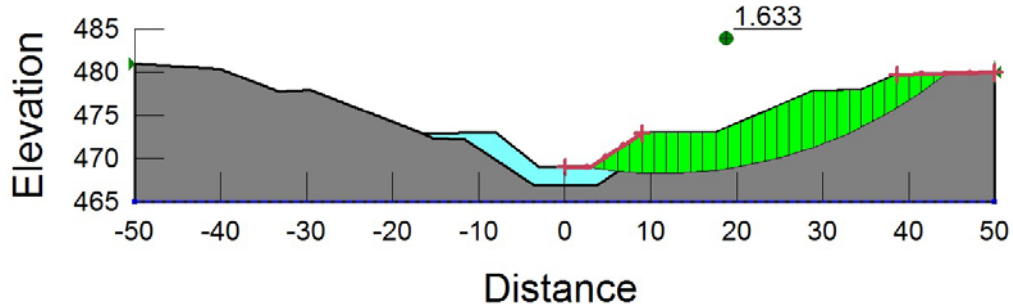


Figura 11.5 – Seção transversal tipo para estabilização do folhelho – corte aterro.

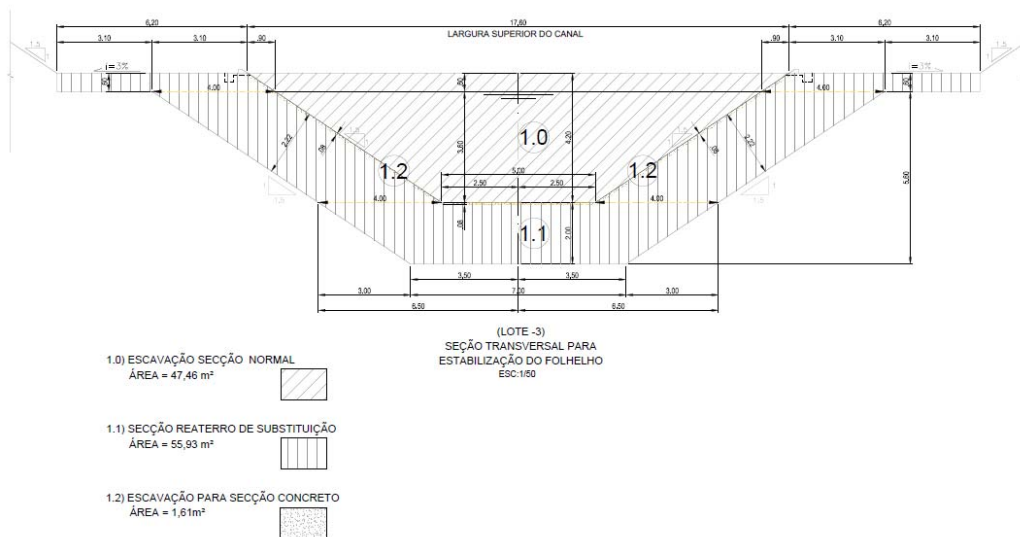


Figura 11.6 – Seção transversal tipo para estabilização do folhelho, com detalhes executivos

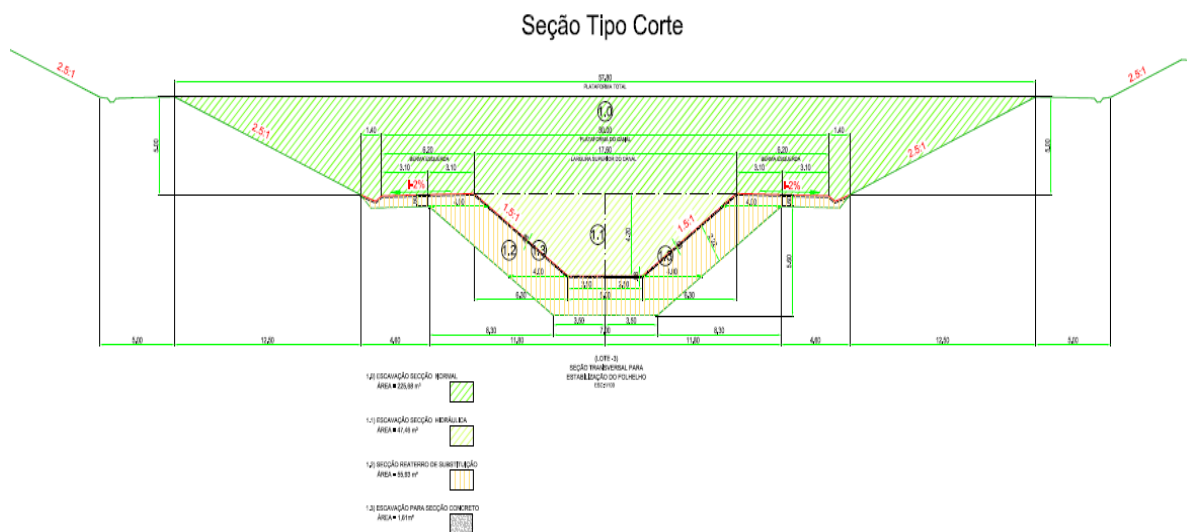
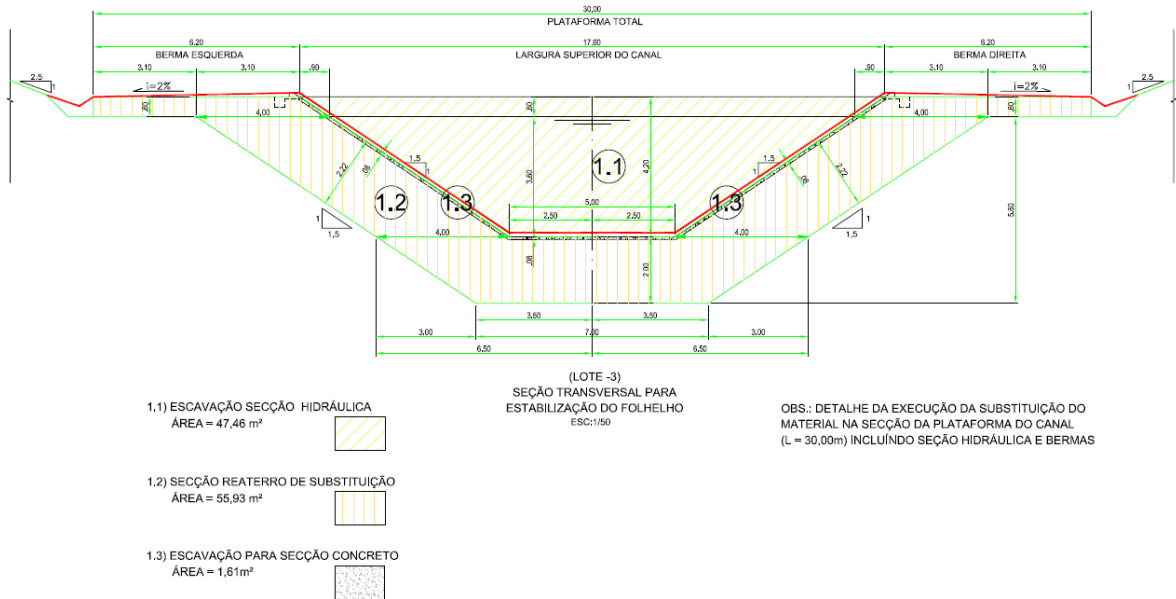


Figura 11.7 – Seção transversal tipo para estabilização do folhelho com detalhes executivos



SIMULAÇÕES QUE EMBASARAM A SOLUÇÃO ADOTADA – SEÇÕES EM FOLHELHO

RESUMO SIMULAÇÕES - SEÇÃO TIPO FOLHELHO			
Análise de Estabilidade	Condições Estudadas de Estabilidade	FS Mínimo	ϕ' para FS=1
1	Final da escavação, escorregamento junto ao corte, folhelho $\phi' = 20^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1,288	13°
2	Aterro executado, escorregamento junto ao corte, folhelho $\phi' = 15^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1.859	-
3	Final da escavação, escorregamento de grande vulto, folhelho $\phi' = 20^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1,397	13°
4	Aterro executado, escorregamento de grande vulto, folhelho $\phi' = 15^\circ$ e $c' = 5$ kPa	1.514	8°

FINAL DA ESCAVAÇÃO, ESCORREGAMENTO JUNTO AO CORTE, ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 20°

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS:

Folhelho: $\gamma = 14$ kN/m³

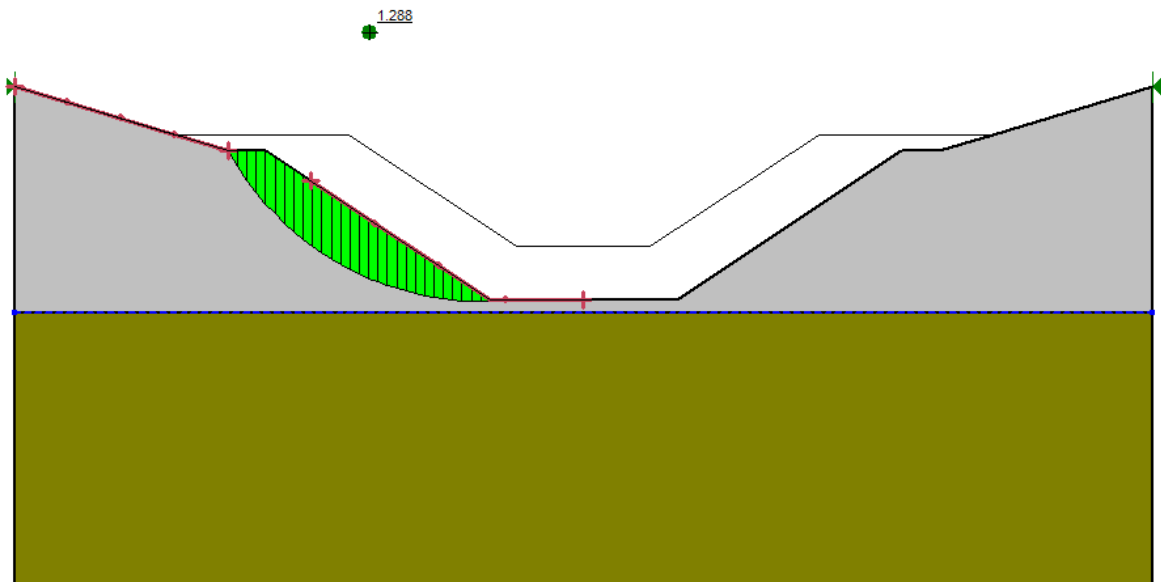
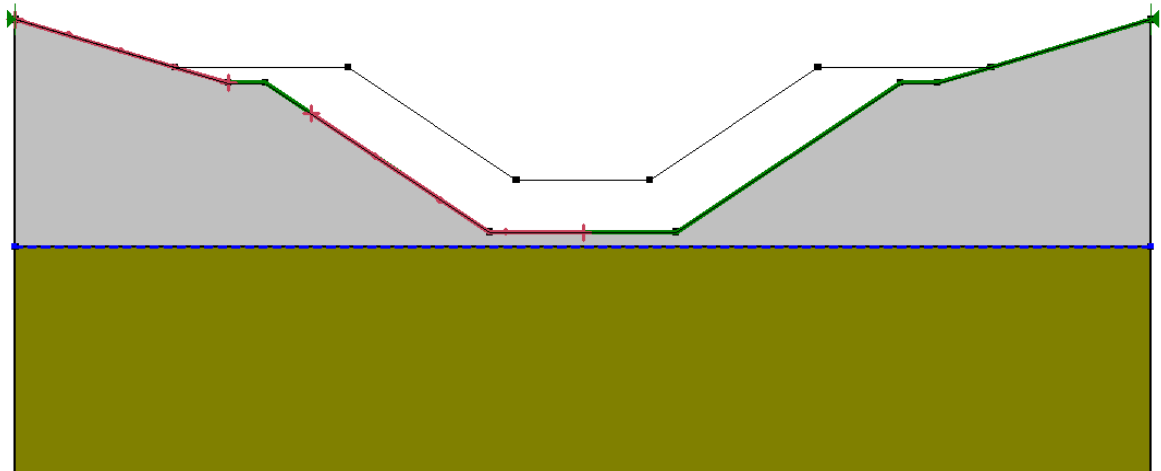
Aterro Compactado: $\gamma = 18$ kN/m³

$\phi' = 20^\circ$

$\phi' = 33^\circ$

$c' = 5$ kPa

$c' = 5$ kPa



ATERRO EXECUTADO, ESCORREGAMENTO JUNTO
AO CORTE, ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 15°

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS:

Folhelho: $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$

$$\phi' = 15^\circ$$

$$c' = 5 \text{ kPa}$$

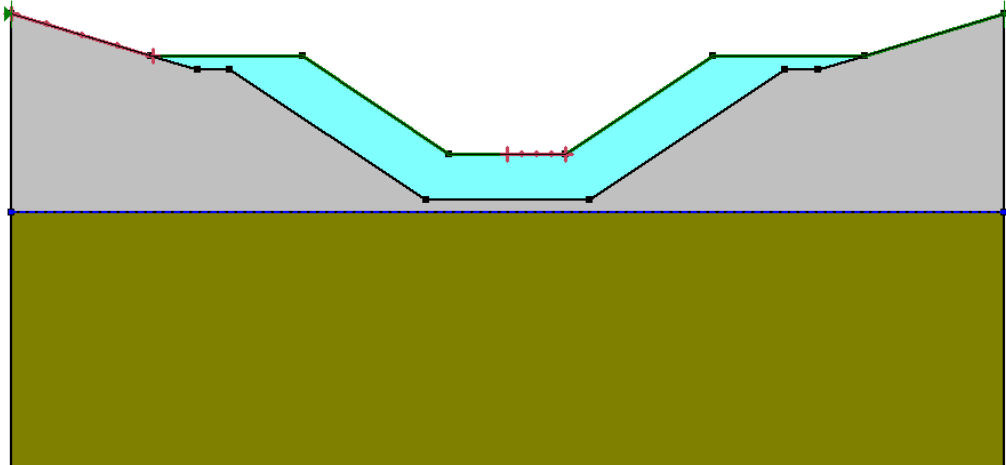
Aterro Compactado: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$$\phi' = 33^\circ$$

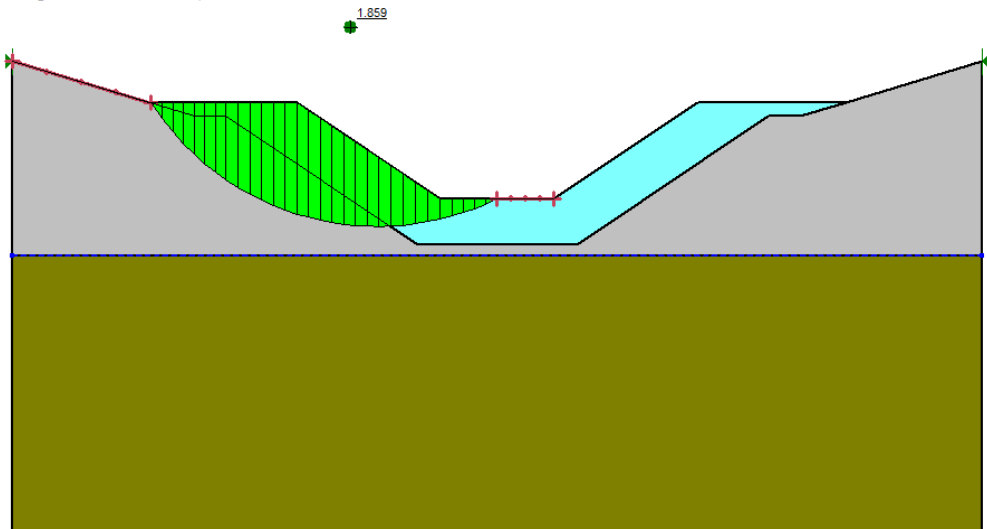
$$c' = 5 \text{ kPa}$$



Seção Tipo - Projeto Executivo
Espessura Fundo: 2,00 m
Largura Aterro: 4,00 m
Largura Base Aterro: 7,00 m



Seção Tipo - Projeto Executivo
Espessura Fundo: 2,00 m
Largura Aterro: 4,00 m
Largura Base Aterro: 7,00 m



**ATERRO EXECUTADO, ESCORREGAMENTO DE
GRANDE VULTO, ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 20°**

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS:

Folhelho: $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$

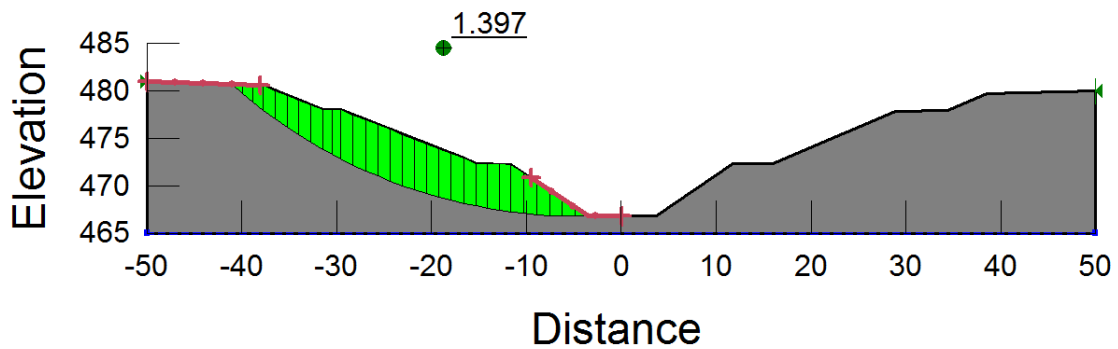
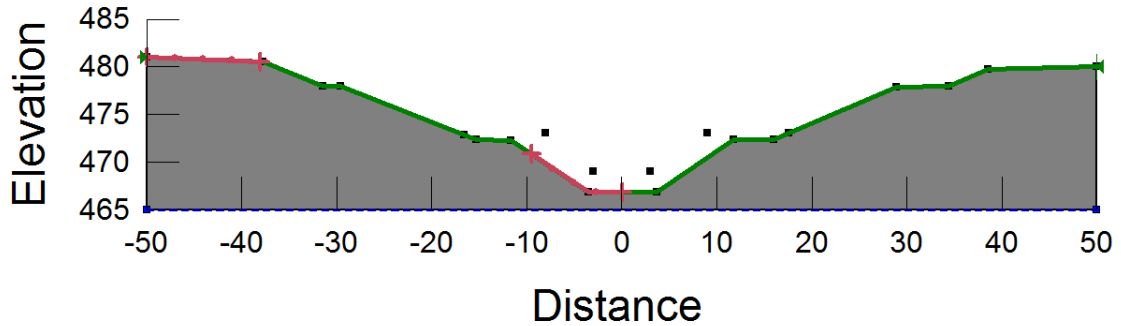
$$\phi' = 20^\circ$$

$$c' = 5 \text{ kPa}$$

Aterro Compactado: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$$\phi' = 33^\circ$$

$$c' = 5 \text{ kPa}$$



ATERRO EXECUTADO, ESCORREGAMENTO DE GRANDE VULTO, ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 15°

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS:

Folhelho: $\gamma = 14 \text{ kN/m}^3$

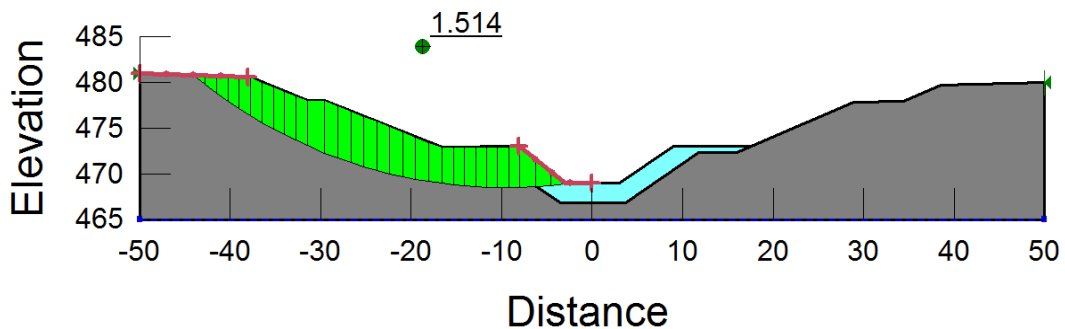
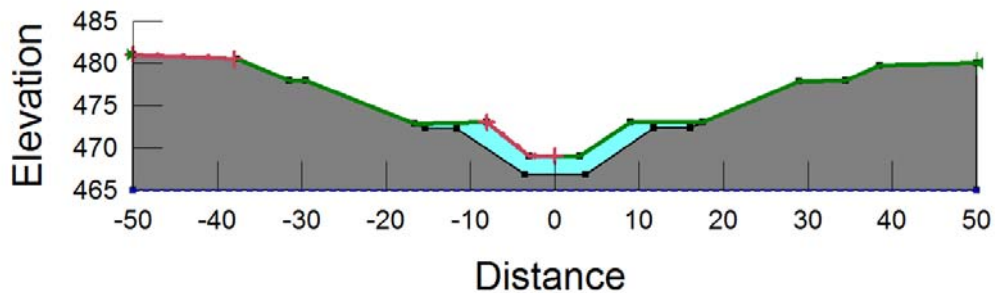
Aterro Compactado: $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$

$\phi' = 15^\circ$

$\phi' = 33^\circ$

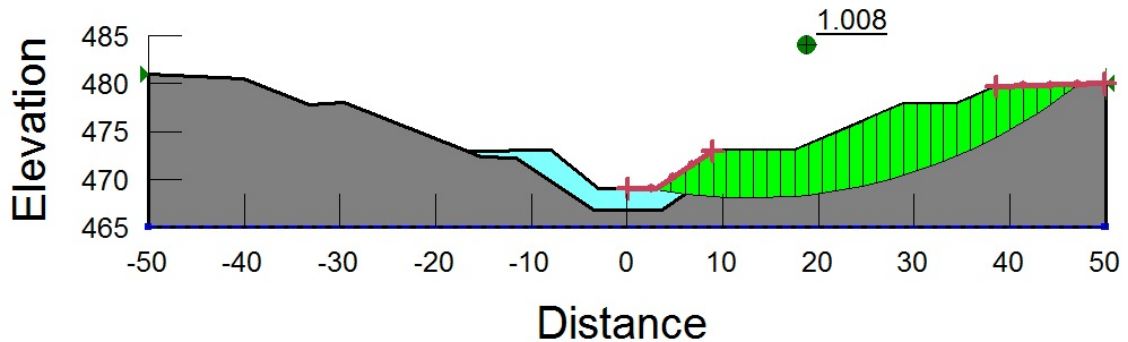
$c' = 5 \text{ kPa}$

$c' = 5 \text{ kPa}$

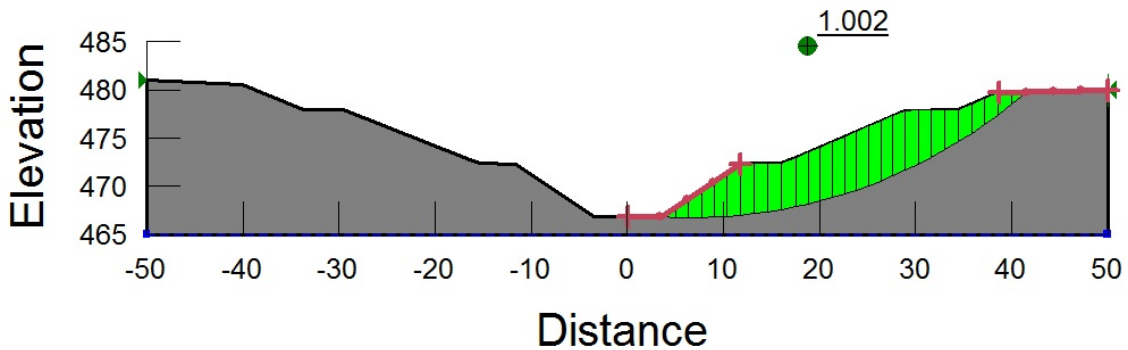




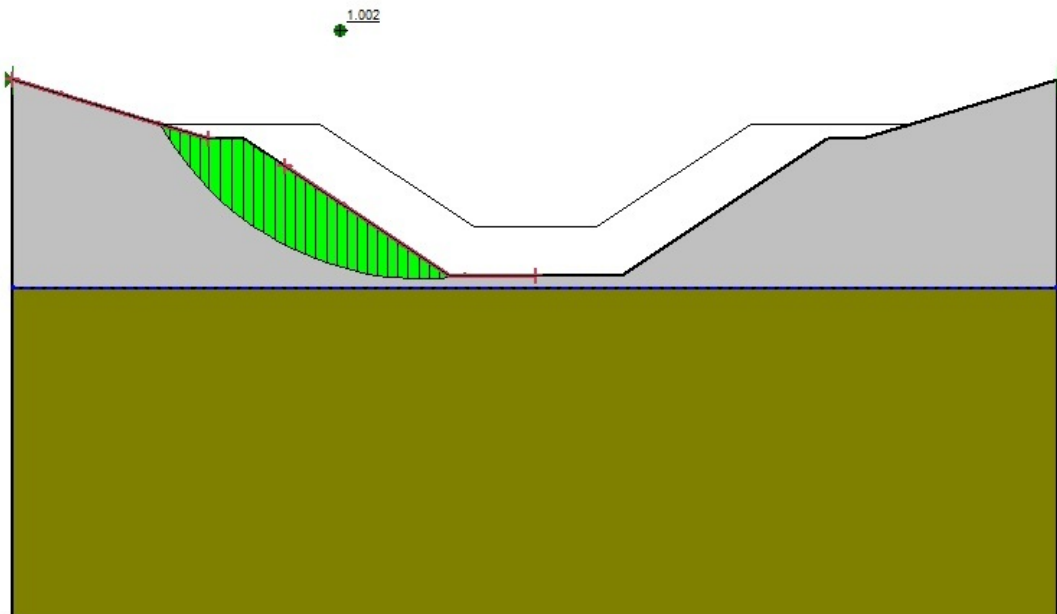
ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 7° No Folhelho para F.S. = 1,0 (Aterro Executado)



ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 12° No Folhelho para F.S. = 1,0 (Final da Construção)



ÂNGULO DE ATRITO DO FOLHELHO = 13° No Folhelho para F.S. = 1,0 (Final da Construção)





12 –REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

12 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT NBR 5629:2006. NORMA BRASILEIRA: Execução de Tirantes Ancorados no Terreno.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Ensaio de Permeabilidade em Solos: Orientações para sua execução no campo. Boletim nº 04 3ª Edição. 30 p. São Paulo, 1996.

ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. Manual de Sondagens. Boletim nº 3, 4ª Edição. 73 p. São Paulo, 1999.

ABGE/CBMR - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia/Comitê Brasileiro de Mecânica das Rochas. Métodos para descrição quantitativa de descontinuidades em maciços rochosos (tradução 12). São Paulo - SP, 1983.

ASSINE, M. L. Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. Rio Claro, SP. Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP, 1990. 124 p.

ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22, 1992. p. 289-30.

ASSINE, M. L. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 24, 1994. p. 223-232.

ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.15, n. 2, 2007. p. 371-389.

BARTON, N.; LIEN, R.; LUNDE, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, Wien, v. 6, p. 183-236, 1974.

BARTON, N. & CHOUBEY, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics* 1/2:1-54. Vienna: Springer. Also NGI Publ. 119, 1978.

BIENIAWSKI, Z. T. Engineering Rock Mass Classifications. A complete manual for in engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering. John Wiley & Sons, 251 p. 1989.

DEERE, D.U. "Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes". In: *Rock Mechanition (RQD) after Twenty Years. ncs and Engineering Geology*, v. 1, n. 1, pp. 16-22. , 1963.

FREITAS, F. I.; HESSEL, M. H. & NETO, J. A. N. Troncos fósseis da Formação Missão Velha na porção leste da Bacia do Araripe, Ceará. *Revista de Geologia*, Vol. 21, nº 2, 193-206, 2008.

HASHIMOTO, A.T.; APPI, C.J.; SOLDAN, A.L.; CERQUEIRA, J.R. O neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): caracterização estratigráfica epaleoambiental. *tov.Brás. Geoc.*, 17(2), 1987. p. 118-122.

HOEK, E. Strength of jointed rock masses. *Géotechnique*, London, v. 33, n. 3, pp. 187-223, Twenty-third Rankine Lecture. 1983.

HOEK E. & BROWN E. T. The Hoek-Brown failure criterion-a 1988 update. *Proc. 15th Can. Rock Mech. Symp.* University of Toronto, pp. 31-38, 1988.

HOEK, E.; MARINOS, P.; BENISSI, M. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens Schist Formation. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Heidelberg, v.57, n. 2, p.151-160, 1998.

HOEK, E. *Couse of Rock Tunnelling Case Histories and the Application of Modern Rock Engineering Techniques* – São Paulo – Brasil. 1998.

ISRM. Basic Geotechnical Description of Rock Masses. Comission on Classification of Rock and Rock Masses. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci, and Geomech.* 18: 85-110. 1980.

ISRM. International Society for rock Mechanics - Rock Characterization Testing and Monitoring. *ISRM Suggested Methods.* Pergamon Press, 211 p. 1981.

MALFAIA, A. L. **Sistemas de Classificação Geomecânica Aplicados aos Maciços Rochosos da UHE Batalha.** COPPE – UFRJ Dissertação de Mestrado – Engenharia Civil. 290p. Rio de Janeiro, 2007.

MARINOS, P.; HOEK, E. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOTECHNICAL AND GEOLOGICAL ENGINEERING – GEOENG.* Proceedings...Melbourne, Australia: Institution of Engineers, 19 p. 2000.

MIRANDA, T.; CORREIA, G. C.; SOUSA, L. R. Determinação de Parâmetros Geomecânicos em Formações Rochosas e Maciços Heterogêneos. 40p. Publ. Nº 25, 2006. Disponível em: <http://193.136.14.136/cec/revista/revista.htm>. 20 julho/2007.

MIRANDA, T. F. S. **Contribuição para a obtenção de parâmetros geomecânicos para a modelação de obras subterrâneas em maciços graníticos.** 186p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2003.

MONTI, H. C.; CARVALHO, A. P. F.; MESQUITA, J. B. Aproveitamento múltiplo de manso, aplicação de materiais não convencionais. In: *SEMINÁRIO NACIONAL DE GRANDES BARRAGENS*, 23., Belo Horizonte. Anais 2 Rio de Janeiro: CBDB, v. 2, p. 145-158. 1999.

NEUMANN V. H. de M. L. **Estratigrafia, Sedimentologia, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptienses-Albienses de lá Cuenca de Araripe (Nororreste do Brasil).** (Tese de Doutorado) – Facultat de Geologia – Universitat de Barcelona, 1999. 225 p.

NIEBLE, C. M. Aspectos geológicos e geomecânicos relativos ao projeto de túneis em maciços de rochas metamórficas. Anais do Primeiro Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro, V. 1, p.399-414. 1976.

OJIMA, L. M. Metodologia de classificação de maciços rochosos aplicável a túneis. In: Síntese de Teses de Pós-Graduação, ABGE. 102 p. São Paulo - SP, 1982.

ROMANA, M. “New adjustment ratings for applications of Bieniawski classification to slopes”. In: *Proc. Int. Symp. on the Role of Rock Mech.*, pp. 49-53, 1985.

SATHLER, G.; MESQUITA, J. B.; MATTOS, G.; BULL, J. F. Critérios de Preparo de Fundação em Rocha Aplicados na Usina Hidrelétrica Tucuruí. In: 4^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia. Anais v. 2, pp.161-171, Belo Horizonte – MG, 1984.

SERRA JUNIOR, E; OJIMA, L. M. Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. Geologia de Engenharia. Oliveira, A M. S. & Brito, S. N A. (Eds). ABGE, pp. 211-226, São Paulo-SP, 1998.

SERAFIM, J. L.; PEREIRA, J. P. Considerationes of the geomechanics Classification of Bieniawski. Proceedings of the International Symposium of Eng. Geol. Underground Construction, v.1, pp. II.33-II.42, LNEC, Lisboa, 1983.

SILVEIRA, J. F. A. Instrumentação e Comportamento de Fundações de Barragens de Concreto. Oficina de Textos. 1^a edição, 320 p. São Paulo-SP. 2003.

SOARES, L. Determinação do Grau de Coerência de Rochas Brandas, **Tese de Doutorado, USP – São Paulo. 324p. 1991.**

VAZ, L. F. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. In: Rev. Solos e Rochas, v.19, n. 2, ABMS/ABGE, São Paulo, SP, p.117-136. 1996.

FALCÃO NEVES, P; COSTA E SILVA, M.; REIS E SOUSA, M. Variação da Resistência ao Corte de Rochas Brandas com o seu Índice de Durabilidade. CEGEO – Instituto Superior Técnico – Universidade Técnica de Lisboa - Centro de Geotecnia do IST, 8p. Lisboa, Portugal. (2006) pfalcaoneves@mail.ist.utl.pt. Acessado em 15 de agosto de 2008.



ANEXOS



ANEXO I - MAPAS GEOLOGICOS



ANEXO II - TÚNEIS MEMÓRIA DE CÁLCULO



ANEXO III - LEVANTAMENTOS GEOFÍSICOS



ANEXO IV - QUANTITATIVOS DE SONDAGEM



ANEXO V - ENSAIOS LABORATORIAIS