

PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DO DIQUE SANTA BÁRBARA – OUTEIRO,
CARDOSO MOREIRA

Greisson Peixoto Rangel

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO DE 2012

PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DO DIQUE SANTA BÁRBARA – OUTEIRO,
CARDOSO MOREIRA

Greisson Peixoto Rangel

Projeto Final em Engenharia Civil apresentado ao Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Professor Doutor Fernando Saboya

Co-Orientador: Professor Doutor Sérgio Tibana

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO - UENF
CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
AGOSTO DE 2012

PROJETO DE RECONSTRUÇÃO DO DIQUE SANTA BÁRBARA – OUTEIRO,
CARDOSO MOREIRA

Greisson Peixoto Rangel

Projeto Final em Engenharia Civil apresentado ao Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Aprovado em ____ de _____ de 2013

Comissão Examinadora:

Heric Dutra Geaquinto (MSc – Estruturas Offshore) – UFRJ

Aldo Durand Farfán (DSc – Engenharia Civil) - UENF

Sérgio Tibana (Co-orientador, DSc – Engenharia Civil) – UENF

Fernando Saboya Jr (Orientador, DSc – Engenharia Civil) - UENF

Rangel, Greisson Peixoto

Projeto de Reconstrução do Dique Santa Bárbara – Outeiro,
Cardoso Moreira. Rio de Janeiro: 2012

Tese (graduação) – Universidade Estadual do Norte Fluminense.
Laboratório de Engenharia Civil.

1. Geotecnia. 2. Proteção Hidráulica. 3. Erosão. 4. Estabilidade.
5. Dique. Universidade Estadual do Norte Fluminense. Laboratório de
Engenharia Civil.

Dedico a realização deste trabalho a Deus primeiramente por ser minha força em todos os momentos de fraqueza e à minha família, aqueles que me ensinaram a importância da educação e do conhecimento, aqueles que acreditaram em mim e em meu sonho quando nem mesmo eu acreditei.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me sustentar e permitir o primeiro passo de uma longa jornada.

À minha família pelo apoio, incentivo e cobranças, sem as quais não poderia me superar.

À Fernanda, minha namorada, por todo incentivo e por entender as ausências devidas aos estudos.

Aos Professores Dr. Fernando Saboya e Dr. Sérgio Tibana pela orientação, conhecimento transmitido e pelo exemplo no exercício da profissão de Engenheiro Civil.

A toda equipe da Odebrecht Infraestrutura pelo apoio, aprendizado e colaboração na realização deste trabalho.

Ao técnico Milton Pereira pelo apoio durante a realização dos ensaios de laboratório.

A todos que de alguma forma contribuíram com a realização deste trabalho e com minha formação ao longo da maravilhosa jornada que foi a graduação na Universidade Estadual do Norte Fluminense.

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.3 METODOLOGIA	17
1.3.1 Investigação Geotécnica	17
1.3.2 Dimensionamento da Proteção Hidráulica	18
1.3.3 Análise de Estabilidade	18
INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA.....	19
2.1 ENSAIO DE CAMPO	19
2.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO	21
2.2.1 Ensaio Triaxial UU.....	21
2.2.2 Ensaio de Cisalhamento Direto	21
2.2.3 Ensaios Realizados no Material a Ser Utilizado no Aterro Compactado	22
PROTEÇÃO HIDRÁULICA.....	23
3.1 CATEGORIAS DE PROTEÇÃO HIDRÁULICA.....	23
3.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO	25
3.3 PROTEÇÃO DO ATERRO DE SOLO COMPACTADO	30
3.4 COMPOSIÇÃO DE NOVA SEÇÃO TRANSVERSAL.....	33
ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE	35
4.1 DEFINIÇÃO DO MECANISMO DE RUPTURA.....	35
4.2 METODOLOGIA DO PROCESSO DE ANÁLISE.....	37
4.3 EQUAÇÕES GERAIS	40
4.4 MÉTODO DE FELLENIUS.....	42
4.5 MÉTODO DE BISHOP.....	42
4.6 ANÁLISE COMPUTACIONAL DA ESTABILIDADE DO TALUDE.....	43
CONCLUSÃO.....	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
ANEXOS	52
Anexo I – Ensaio de caracterização completa Jazida Gabriel III.....	52
Anexo II – Ensaio de compactação Jazida Gabriel III	53
Anexo III – Ensaio de cisalhamento direto Jazida Gabriel III	54

Anexo IV – Ensaio de Permeabilidade à carga variável.....	55
Anexo V – Estimativa de envoltória de ruptura Jazida Gabriel III.....	56
Anexo VI – Localização de sondagem SPT	57
Anexo VII – Sondagem DSB1-SP-01 Parte 1.....	58
Anexo VIII – Sondagem DSB1-SP-01 Parte 2.....	59
Anexo IX – Sondagem DSB1-SP-02	60
Anexo X – Sondagem DSB1-SP-02-A Parte 1	61
Anexo XI – Sondagem DSB1-SP-02-A Parte 2.....	62
Anexo XII – Sondagem DSB1-SP-03 Parte 1.....	63
Anexo XIII DSB1-SP-03 Parte 2.....	64
Anexo XIV – Ensaio triaxial UU em amostra da fundação do Dique Santa Bárbara I	65
Anexo XV – Ensaio de cisalhamento direto em amostra indeformada do Dique Santa Bárbara I.....	66
Anexo XVI – Estimativa de envoltória de ruptura Amostra indeformada do Dique Santa Bárbara I	67
Anexo XVII – Sistema unificado de classificação dos solos - SUCS.....	68
Anexo XVIII – Especificação do Geotêxtil	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Dique Santa Bárbara – trecho 1.....	15
Figura 5 - Localização dos pontos de sondagem.....	20
Figura 6 - Distribuição estatística do valor de N do ensaio SPT.....	20
Figura 7 - Ilustração de direção de fluxo e do ângulo α	27
Figura 8 - Definição da constante C para rocha de 2,8 t/m ³	32
Figura 9 - seção transversal erodida do Dique Santa Bárbara.....	33
Figura 10 - Seção-tipo recomposta do Dique Santa Bárbara.....	34
Figura 11 -Zonas fraca, cisalhada, e superfície de cisalhamento (LEROUEIL, 2001).	35
Figura 12 - Definição de fator de segurança.	36
Figura 13 - Metodologia do processo de análise de estabilidade do talude.	38
Figura 14 - Equilíbrio de forças.	39
Figura 15 - Equilíbrio de momentos.	39
Figura 16 - Esforços na fatia n e polígono de forças.....	40
Figura 17 - Definição do método para análise da estabilidade.....	44
Figura 18 - Análise de estabilidade do conjunto protetor do Dique Santa Bárbara I.	45
Figura 19 - Análise de estabilidade para um N.A intermediário.....	45
Figura 20 - Análise de estabilidade para um N.A mínimo.	46
Figura 21 - Curva FS x N.A.....	47
Figura 22 - Dique Santa Bárbara I erodido.....	48
Figura 23 - Dique Santa Bárbara I recuperado.....	49
Figura 24 - Detalhe do Dique Santa Bárbara I recuperado.	49

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros do solo provenientes dos ensaios de laboratório	23
Tabela 2 - Classificação das proteções hidráulicas.....	24
Tabela 3 - Métodos de dimensionamento e suas variáveis principais.....	25
Tabela 4 - Classes de camada de proteção externa e suas graduações.....	28
Tabela 5 - Classificação das camadas de proteção internas em função da camada externa	29
Tabela 6 - Espessura mínima das camadas de proteção de acordo com suas classificações.....	30
Tabela 7 - Classificação dos mecanismos deflagradores da instabilidade.....	36
Tabela 8 - Recomendação de fatores de segurança admissíveis	37

ÍNDICE DE ABREVIATURAS, SÍGLAS, SÍMBOLOS, SINAIS E UNIDADES.

C – Constante da rocha

C' – Coesão

e – espessura da camada de rip-rap

h – umidade natural

I – Comprimento do fetch

v – velocidade das ondas, velocidade média do fluxo d'água

c_u – coesão não drenada

F, FS – fator de segurança

H – altura das ondas

IP – índice de plasticidade

L – fetch medido

N – força normal

N_i – força normal atuante na fatia i

P50% - peso de 50% das rochas

T – força de cisalhamento

X_i, X_{i+1} – componentes horizontais atuantes nas laterais da fatia

W_i – peso da fatia

Y_i, Y_{i+1} – componentes verticais atuantes nas laterais da fatia

Φ' – ângulo de atrito efetivo do solo

Y – peso específico do solo

Y_{sat} – peso específico do solo saturado

Y_w – peso específico da água

σ'_c – tensão confinante

σ_v – tensão vertical

u – poropressão média na base da fatia

Σ – somatório

CBR – Índice de suporte Califórnia

INEA – Instituto Estadual do Ambiente

NBR – Norma Brasileira

SPT – Standard Penetration Test

USCS – Unified Soil Classification System

RESUMO

Este trabalho apresenta o projeto de recuperação do Dique Santa Bárbara, bem como os ensaios e demais informações necessárias para o desenvolvimento e detalhamento do projeto.

A determinação dos parâmetros utilizados nos cálculos e dimensionamento presentes neste projeto e indispensáveis ao entendimento do comportamento dos solos envolvidos foi realizada por meio de investigação geotécnica composta por ensaios laboratoriais e de campo.

O projeto de recuperação consiste na recomposição da seção transversal erodida do Dique. Visando evitar a repetição do processo de erosão, é apresentada uma metodologia para dimensionamento de uma estrutura de proteção hidráulica projetada para diminuir a força de arrasto exercida pelo rio Muriaé. A estrutura dimensionada consiste em camadas de enrocamento com a massa e a distribuição granulométrica das rochas bem definida pelos processos de cálculo.

Com a nova configuração da seção transversal do Dique e de posse dos parâmetros dos diferentes solos envolvidos, é calculada a estabilidade do novo conjunto e os diferentes fatores intervenientes são estudados.

Concluindo, é demonstrado o resultado da recomposição do Dique Santa Bárbara segundo o projeto e as recomendações contidas neste trabalho.

Palavras-chave: Geotecnia; Proteção Hidráulica; Erosão; Estabilidade; Dique.

INTRODUÇÃO

O dique de Santa Bárbara faz parte de um conjunto de diques de aproximadamente 12 km de extensão, construído pelo extinto órgão DNOS - Departamento Nacional de Obras de Saneamento, para proteger a região de Cardoso Moreira das frequentes cheias do Rio Muriaé. Em 1997, em uma das maiores cheias conhecidas do Rio Muriaé, os diques se romperam, causando enorme prejuízo à população local. Como solução paliativa, foi executado um aterro compactado no local rompido, o qual suportou uma década de cheias tendo, porém suas dimensões reduzidas gradativamente pela erosão.

No período de chuvas entre os anos de 2008 e 2009, cheias da mesma proporção das cheias de 1997 causaram novamente erosão e rompimento dos diques em uma série de pontos, causando a inundação das comunidades de Três vendas e Santa Bárbara.

Embora alguns trechos destes diques tenham sido recuperados em 2011, com as cheias de dez/2011 e jan/2012, os diques vêm apresentando novamente problemas de erosão, trincas e infiltração. Em alguns pontos ocorreram rompimentos, os quais vêm causando enormes prejuízos às comunidades locais e produtores rurais. Portanto, a fim de se evitar que estes prejuízos tomem maiores proporções, como o rompimento de outros trechos e com a permanência dos trechos rompidos, não afastando a possibilidade de novas chuvas, devem ser solucionados de forma definitiva e emergencialmente os trechos prioritários dos diques citados acima.

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O dique Santa Bárbara se localiza em um ponto de curva acentuada do rio Muriaé, configurando uma região de “estrangulamento” do rio e assim uma região crítica para a erosão do dique.

As fotos relacionadas neste trabalho demonstram como ao longo do tempo o dique passou por uma drástica diminuição e descaracterização geométrica de sua seção transversal, além de em determinados trechos ter sofrido o carreamento do

enrocamento que protegia o talude de montante da erosão causada pela força de arrasto do rio.



Figura 1 - Localização do Dique Santa Bárbara – trecho 1. Coordenadas: 248.201,00 E; 7.611.979,00 N.



Figura 2 - Erosão da margem do rio Muriaé.



Figura 3 - Descaracterização geométrica da seção do Dique Santa Bárbara



Figura 4 - Carreamento do enrocamento de proteção do Dique Santa Bárbara.

1.2 OBJETIVOS

Este trabalho consiste na elaboração de projeto de dimensionamento para execução e recuperação do dique Santa Bárbara, localizado na região de Outeiro em Cardoso Moreira.

O projeto deverá contemplar o dimensionamento marginal do Dique, composto pelo dimensionamento do corpo do Dique e da proteção de enrocamento contra a erosão imposta pelo rio.

1.3 METODOLOGIA

Para realizar o projeto e dimensionamento do dique Santa Bárbara, este projeto seguirá as etapas apresentadas abaixo.

1.3.1 Investigação Geotécnica

A campanha de investigação geotécnica se divide em duas: investigação dos parâmetros geotécnicos da fundação e corpo do dique antigo; investigação dos parâmetros geotécnicos das jazidas candidatas a fornecedoras de material para execução do projeto. Os ensaios realizados em ambas as campanhas foram os seguintes:

- Ensaios realizados em amostra indeformada retirada da fundação do dique:
 - Ensaio de caracterização completa;
 - Ensaio de cisalhamento direto saturado;
 - CBR;
 - Ensaio triaxial do tipo UU.

- Ensaios realizados com amostras das jazidas Gabriel I, II, III e Godoi I:
 - Ensaio de caracterização completa;
 - Ensaio de compactação na energia *Proctor Normal*;
 - Ensaio de Permeabilidade (realizado em corpo de prova talhado na densidade máxima e umidade ótima proveniente do ensaio de compactação);
 - Ensaio de cisalhamento direto saturado (realizado em corpo de prova talhado na densidade máxima e umidade ótima proveniente do ensaio de compactação);
 - CBR.

1.3.2 Dimensionamento da Proteção Hidráulica

Visando a proteção do Dique contra a erosão desenvolvida pela força de arrasto do rio Muriaé, faz-se necessária a utilização de uma proteção contra a grande energia do fluxo d'água.

A metodologia escolhida para compor essa proteção foi proposta pelo Departamento de Transporte da Califórnia (*US Federal Highway*) e está descrita no documento *California Bank and Shore Rock Slope Protection Design [15]*, a qual consiste no dimensionamento de uma estrutura flexível de enrocamento em camadas de diferentes graduações. Dessa forma é possível diminuir a energia no contato entre solo e água, e garantir que partículas de solo não sejam carreadas pelo fluxo.

1.3.3 Análise de Estabilidade

Tendo dimensionado as camadas de enrocamento para proteção do Dique e feito a recomposição geométrica da seção transversal do mesmo, a estabilidade do novo conjunto deve ser avaliada.

Para isso, utilizaremos a modelagem computacional, tendo como dados de entrada as características dos materiais, já aferidas pela campanha de investigação geotécnica.

O dimensionamento deverá prever sempre as situações mais críticas para a estrutura, por isso simularemos as condições do dique em três situações diferentes, conhecidas como as mais críticas: Período de fim de construção, período de operação do reservatório e período de rebaixamento rápido do nível d'água do reservatório.

INVESTIGAÇÃO GEOTÉCNICA

O programa de investigação visa obter os parâmetros necessários para o entendimento do comportamento dos materiais, condições de projeto e para direcionar as ações necessárias.

O programa de investigação se divide em ensaios de campo e ensaios em laboratório e foram realizados em diferentes amostras e sempre obedecendo às normas técnicas que regulamentam cada ensaio.

2.1 ENSAIO DE CAMPO

Para iniciar o programa de investigação geotécnica foi realizado um ensaio de SPT (*Standard Penetration Test*) no maciço de fundação do Dique Santa Bárbara.

O ensaio SPT, normalizado pela NBR 6484 [14] e executado em três furos (detalhes da execução e do equipamento utilizado se encontram no relatório do ensaio, anexos VI ao XIII) permitiu obter uma estimativa do perfil do solo e uma classificação inicial do mesmo, bem como estimar sua resistência.

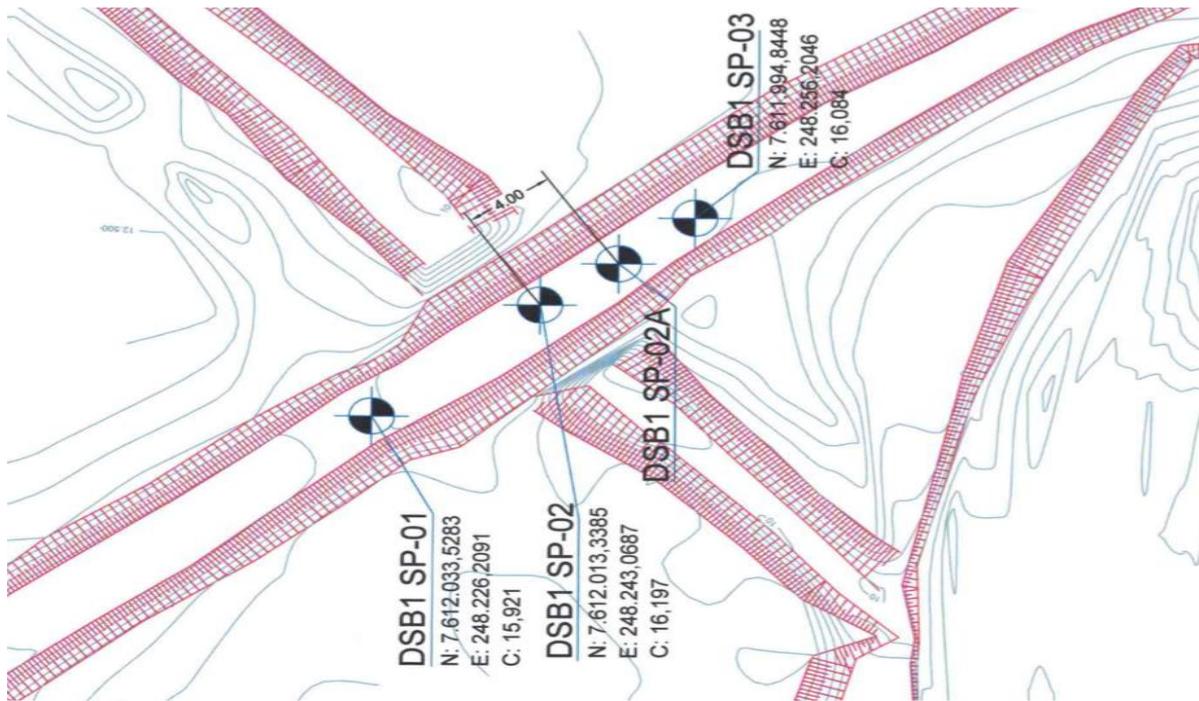


Figura 5 - Localização dos pontos de sondagem.

O resultado do ensaio indica a presença de uma camada de argila orgânica com aproximadamente 11 metros de espessura. Com N SPT variando entre 2 e 12, a distribuição estatística Normal do valor de N dos furos executados fornece uma visão geral do solo presente no maciço de fundação. Com média de 7,1 e desvio padrão de 2,3, esse material argiloso pode ser classificado então como uma argila de resistência média, segundo a NBR 6484 [14].

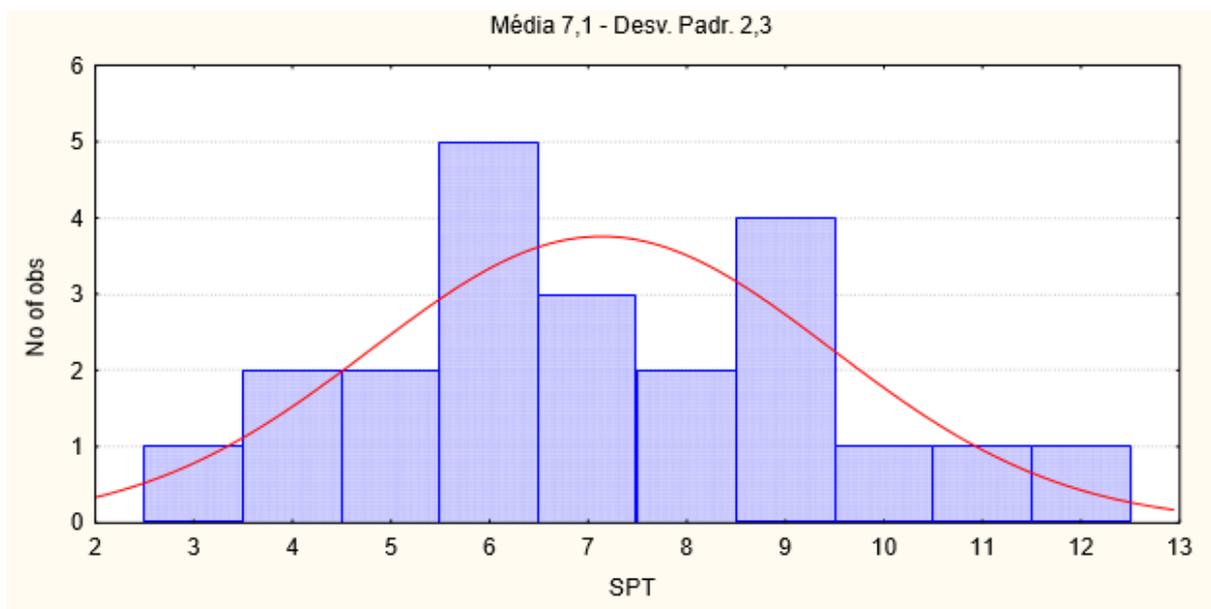


Figura 6 - Distribuição estatística do valor de N do ensaio SPT.

A presença dessa camada de material argiloso demanda um maior conhecimento das propriedades do subsolo. Nesse caso, o comportamento não drenado do solo representa uma condição crítica para o projeto uma vez que a camada de argila orgânica é relativamente extensa e a velocidade de carregamento é relativamente alta, devido às características do projeto. Com isso a realização de ensaios de laboratório para determinar de forma mais precisa as características do maciço de fundação é fundamental.

2.2 ENSAIOS DE LABORATÓRIO

2.2.1 Ensaio Triaxial UU

Para determinar as propriedades não drenadas da camada de argila orgânica, foram realizados ensaios triaxiais do tipo UU em corpos de prova confeccionados a partir de amostra indeformada retirada do local com a utilização de tubo *Shelby* de 6 polegadas.

Através dos ensaios é possível determinar a curva que relaciona a tensão cisalhante e a deformação do material, e através dessa curva determinar a resistência não drenada da amostra (S_u). O resultado do ensaio, (anexo XIV) indica uma resistência não drenada de 38 kPa.

2.2.2 Ensaio de Cisalhamento Direto

Adicionalmente, com o objetivo de completar o programa de investigação geotécnica foi realizado o ensaio de cisalhamento direto (drenado) em amostras moldadas a partir de um bloco indeformado de argila silto-arenosa retirado do maciço de fundação do Dique.

O resultado do rompimento de alguns corpos de prova permite a confecção da envoltória de ruptura do material e assim determinar o ângulo de atrito efetivo, igual a $21,7^\circ$, e coesão efetiva, igual a 19,4kPa (anexos XV e XVI).

2.2.3 Ensaios Realizados no Material a Ser Utilizado no Aterro Compactado

Para determinar as características do material proveniente da jazida fornecedora do material a ser utilizado na recomposição da seção transversal do dique, foram realizados uma série de ensaios de laboratório visando a classificação completa do solo, estimar as características referentes à resistência e deformabilidade do material e o comportamento do material após a compactação.

Para a caracterização foram realizados os seguintes ensaios:

- NBR 7181 – Análise granulométrica [11];
- NBR 6459 – Determinação do limite de liquidez [8];
- NBR 7180 – Determinação do limite de plasticidade [10];
- NBR 6508 – Determinação da densidade real dos grãos [9].

O solo argilo-arenoso fornecido pela jazida foi classificado como CL pelo USCS (Unified Soil Classification System, anexo XVII), com plasticidade média (IP= 15,3 %) com baixa atividade coloidal.

O ensaio de compactação, executado segundo a NBR 7182 [12], e utilizando a energia *Proctor* modificada, forneceu a curva de densidade em função da umidade e desta curva é possível retirar a densidade máxima e a umidade ótima de compactação (anexo II).

Os ensaios de permeabilidade a carga variável e cisalhamento foram realizados em corpos de prova com a densidade máxima e a umidade ótima obtidos no ensaio de compactação. Esse procedimento permite obter o coeficiente de permeabilidade (K), o ângulo de atrito efetivo (ϕ') e a coesão efetiva (c') do material em condições semelhantes à que apresentará quando for utilizado (anexos III a V).

Ensaio CBR mostraram um índice de suporte de 4,2% e um índice de expansão de 3,6%. Os resultados de todos os ensaios citados se encontram em anexo e os principais parâmetros obtidos se encontram na tabela 1.

Parâmetro	Valor
Permeabilidade (cm/s)	$1,17 \times 10^{-6}$
Ângulo de atrito efetivo (°)	40,0
Coesão efetiva (kPa)	10,7
Umidade ótima	19,4%
Densidade máxima kN/m ³	17,1

Tabela 1 - Parâmetros do solo provenientes dos ensaios de laboratório

PROTEÇÃO HIDRÁULICA

A proteção da margem de um corpo hídrico possui o objetivo de diminuir a força de arrasto da água no contato com as margens do mesmo. Dessa forma a proteção age preventivamente contra a erosão da margem e o assoreamento do corpo hídrico.

No caso específico deste trabalho, a força de arrasto do rio Muriaé causou grande processo erosivo em sua margem, alterando drasticamente suas características geométricas e expondo o Dique Santa Bárbara 01 a sério risco de rompimento. Demonstra-se então a necessidade de não somente recompor as características das seções transversais do Dique, como também dimensionar uma proteção hidráulica adequada.

3.1 CATEGORIAS DE PROTEÇÃO HIDRÁULICA

Os principais métodos de proteção hidráulica se dividem em proteções diretas ou contínuas e indiretas ou descontínuas.

As proteções diretas ou contínuas são apoiadas ou executadas diretamente no talude das margens enquanto as proteções indiretas são executadas a certa distância das margens.

As proteções encontram-se ainda divididas de acordo com seu comportamento estrutural. As proteções ditas flexíveis absorvem deformações sem perder suas características geométricas e sua estabilidade, enquanto as proteções

rígidas não conseguem absorver as mesmas deformações sem perda de suas principais características. A tabela a seguir resume e exemplifica as principais classificações de proteções hidráulicas.

P r o t e ç õ e s	Revestimentos (proteções contínuas)	Flexíveis	Enrocamento	Laçado
				Arrumado
			Colchões	Gabião Manta
				Elementos de concreto articulados
				Elementos de madeira
			Enrocamento sintético	Elementos plásticos
				Bolsas de concreto
		Bolsas de solo-cimento		
		Vegetação	Bolsas de argamassa	
			Blocos pré-fabricados	
		Gabiões	Gramíneas	
			Plantas semi aquáticas	
		Outras	Caixa	
			Saco	
	Pneus usados			
	Rígidos	Concreto	Troncos de árvore lançados	
			Painéis armados	
			Gabiões revestidos	
			Muros de gravidade	
			Painéis pré-moldados	
Enrocamento		Blocos pré-fabricados		
		Parede diafragma		
Pedra		Argamassado		
		Com injeção de consolidação		
Cercas		Argamassada/ Alvenaria de pedras		
	Madeira			
Diques ou Espigões (proteções não contínuas)	Flexíveis	Enrocamento	Metálicas	
			Laçado	
	Rígidos	Concreto	Enrocamento com pilares de concreto ou madeira	
			Bolsas de concreto, solo-cimento e argamassa	
			Blocos pré-moldados	
		Muros de gravidade		
		Muros de concreto armado		

Tabela 2 - Classificação das proteções hidráulicas. [17]

A proteção adotada neste projeto é o enrocamento de pedras. A escolha se baseia na facilidade de execução em um talude já existente, a disponibilidade de insumos na região e o comportamento flexível da proteção pois devido às características Geotécnicas do solo argiloso envolvido, a existência de recalques ao longo do tempo poderia representar um fator crítico para proteções rígidas. Sendo a proteção flexível, poderá absorver os recalques sem perda de estabilidade ou função. A seguir serão abordados os principais métodos de dimensionamento, bem como uma explicação mais detalhada do método escolhido.

3.2 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Existem diferentes métodos para dimensionar proteções hidráulicas compostas por enrocamentos e baseados em diferentes equações e variáveis. Alguns se baseiam na velocidade do fluxo, altura e frequência de ondas, marés, e até mesmo resistência ao cisalhamento do solo a ser protegido.

A tabela abaixo lista alguns dos principais métodos de dimensionamento utilizados na atualidade e as variáveis nas quais se baseiam.

Método	Variáveis
CABS/ Califórnia Bank and Shore	Velocidade
FHWA's HEC-11/ Federal Highway Administration's Hydraulic Engineering Circular Nº 11	Velocidade
CORPS/ US Army Corps of Engineers Engineering manual 1110-21601	Velocidade
CERC/ Us Army Coastal Engineering Research Center's Shore protection manual	Ondas, Marés
CODOT/ Colorado Department of Transportation	Tensão cisalhante
OR Keyed/ Oregon Keyed RipRap	Velocidade
DUDFCD/ Denver Urban Drainage Flood Control District	Velocidade

Tabela 3 - Métodos de dimensionamento e suas variáveis principais. [15]

O método escolhido para dimensionar o enrocamento de proteção para o Dique Santa Bárbara, o *California Bank and Shore Rock Slope Protection Design*, se baseia no cálculo de rochas com massa suficiente para resistir à força de arrasto da

água e na composição de camadas de rocha com graduação específica para permitir que rochas menores ocupem os espaços vazios deixados pelas maiores alcançando uma posição de maior estabilidade, e ao mesmo tempo não permitindo que as rochas menores escapem pelos mesmos espaços vazios. A escolha do método se deve à simplicidade da aplicação do método e à facilidade de aquisição dos dados necessários ao dimensionamento.

Inicialmente, calcula-se a massa mínima teórica de rocha que resista à força do fluxo e continue estável no talude, através da equação:

$$W = \frac{0,00002 \times V^6 \times SG}{(SG - 1)^3 \times (\sin(r - \alpha))^3}$$

Onde,

W = Massa mínima teórica de rocha que resiste à força do fluxo de água e permanece estável no talude, dada em Pounds. (Para transformar W de pounds para kg, divide-se o valor encontrado por 2,2.);

V = Velocidade a qual a margem é exposta, dada em ft/s;

V = Velocidade média do fluxo multiplicada por 0,67, para fluxo paralelo à margem;

V = Velocidade média do fluxo multiplicada por 1,33, para fluxo oblíquo à margem;

SG = Peso específico da rocha;

r = 70 graus, constante para lançamento aleatório das rochas;

α = Ângulo externo da face do talude com a horizontal, dado em graus.

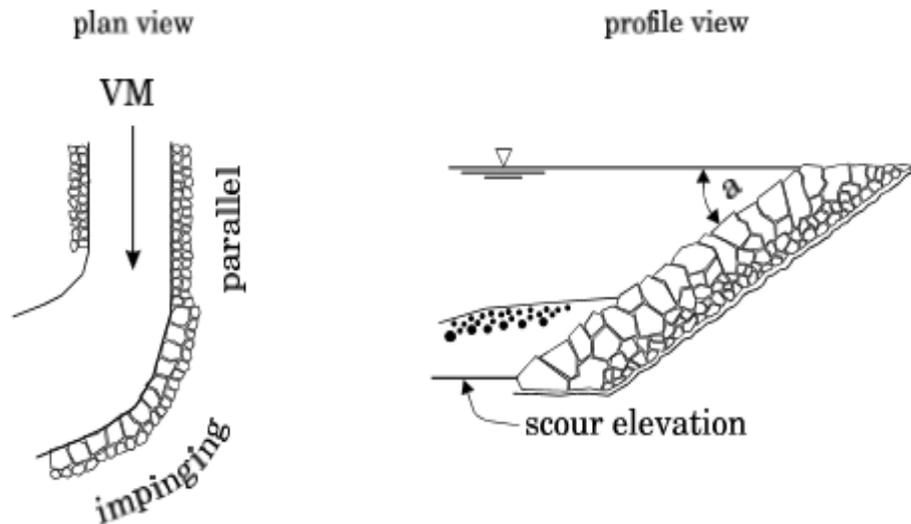


Figura 7 - Ilustração de direção de fluxo e do ângulo α . [15]

No caso específico do Dique Santa Bárbara I, a velocidade média do fluxo fornecida pelo cliente é de 3 m/s, ou 9,8ft/s. Como o fluxo é oblíquo a velocidade de cálculo será a velocidade média multiplicada por 1,33. O ângulo adotado será de 45 graus. O peso específico da rocha será 2,8, um valor característico para as rochas utilizadas na região.

Teremos então a seguinte equação:

$$W = \frac{0,00002 \times (9,8 \times 1,33)^6 \times 2,8}{(2,8 - 1)^3 \times (\sin(70 - 45))^3}$$

$$W = 624,02 \text{ Pounds, ou } 283,65 \text{ kg.}$$

Essa é a mínima massa teórica necessária para resistir à força de arrasto imposta pelo fluxo. De posse desse valor, classifica-se a camada de proteção externa e determina-se sua graduação através da tabela 3.

STANDARD Rock SIZE or Rock MASS or Rock WEIGHT		GRADING OF ROCK SLOPE PROTECTION PERCENTAGE LARGER THAN											
		RSP-Classes [A]											
		Method A Placement					Method B Placement						
		RSP-Classes other than Backing									Backing No.		
US unit		8 ton	4 ton	2 ton	1 ton	1/2 ton	1 ton	1/2 ton	1/4 ton	Light	1 [B]	2	3
SI unit		8 T	4 T	2 T	1 T	1/2 T	1 T	1/2 T	1/4 T	Light	1 [B]	2	3
16 ton	14.5 tonne	0-5											
8 ton	7.25 tonne	50-100	0-5										
4 ton	3.6 tonne	95-100	50-100	0-5									
2 ton	1.8 tonne		95-100	50-100	0-5		0-5						
1 ton	900 kg			95-100	50-100	0-5	50-100	0-5					
1/2 ton	450 kg				95-100	50-100	----	50-100	0-5				
1/4 ton	220 kg					95-100	95-100	----	50-100	0-5			
200 lb	90 kg							95-100	----	50-100	0-5		
75 lb	34 kg								95-100	----	50-100	0-5	
25 lb	11 kg									95-100	90-100	25-75	0-5
5 lb	2.2 kg											90-100	25-75
1 lb	0.4 kg												90-100

[A] US customary names (units) of RSP-Classes listed above SI names, example US is "2 ton" metric is "2 T".

[B] "Facing" has same gradation as "Backing No. 1". To conserve space "Facing" is not shown.

Example for determining RSP-Class of outside layer. By using Equation 1, if the calculated $W=135$ kg (minimum stable rock size):

1. Enter table at left and select closest value of STANDARD Rock SIZE which is greater than calculated W , in this case 220 kg
2. Trace to right and locate "50-100" entry
3. Trace upward and read column heading "1/4 T", then 1/4 T is first trial RSP-Class.

Tabela 4 - Classes de camada de proteção externa e suas graduações. [15]

Segundo recomendação do método, encontra-se o valor mais próximo acima de W , 450 kg nesse caso. Encontra-se nesta linha a coluna correspondente a 50-100, a qual apresenta a classificação da camada de proteção externa. Com a classificação de 1/2 tonelada com o método A de lançamento, encontra-se também a graduação da camada com os intervalos apresentados significando porcentagem maior ou igual à massa relacionada na mesma linha.

A camada de proteção externa recomendada possui então 95 a 100 por cento de rochas com massa maior ou igual a 220 kg, 50 a 100 por cento maior que 450 kg e 0 a 5 por cento maior que 900 kg.

Com a classificação da camada externa, utiliza-se a tabela 4 para definir a classificação da camada de proteção interna.

Table 5-2. California Layered RSP SI metric (US customary values shown for OUTSIDE LAYER only)			
OUTSIDE LAYER RSP-CLASS *	INNER LAYERS RSP-CLASS *	BACKING CLASS No. *	RSP-FABRIC TYPE **
8 T (8 ton)	2 T over 1/2 T	1	B
8 T (8 ton)	1 T over 1/4 T	1 or 2	B
4 T (4 ton)	1/2 T	1	B
4 T (4 ton)	1 T over 1/4 T	1 or 2	B
2 T (2 ton)	1/2 T	1	B
2 T (2 ton)	1/4 T	1 or 2	B
1 T (1 ton)	LIGHT	NONE	B
1 T (1 ton)	1/4 T	1 or 2	B
1/2 T (1/2 ton)	NONE	1	B
1/4 T (1/4 ton)	NONE	1 or 2	A
LIGHT (LIGHT)	NONE	NONE	A
Backing No. 1*** (Backing No. 1)	NONE	NONE	A

* Rock grading and quality requirements per Section 72-2.02 Materials of the Caltrans *Standard Specifications*. (See Appendix B).

** RSP-fabric Type of geotextile and quality requirements per Section 88-1.04 Rock Slope Protection Fabric of the Caltrans *Standard Specifications*. (See Appendix B). Type A RSP-fabric has lighter mass per unit area and it also has lower toughness

Tabela 5 - Classificação das camadas de proteção internas em função da camada externa. [15]

Com uma camada externa de ½ tonelada, obtém-se uma camada interna classificada como *Backing Class* Nº 1, com 90 a 100 por cento das rochas com massa superior a 11 kg, 50 a 100 por cento superior a 34 kg e 0 a 5 por cento superior a 90 kg. A tabela 4 também recomenda a utilização de geotêxtil na superfície entre o solo e a camada de proteção mais interna. A especificação do material geotêxtil será abordada mais a frente.

Para cada camada de proteção é recomendado uma espessura mínima, conforme a tabela 5 abaixo. A espessura adotada, no entanto, será de 2,5 metros para cada camada para permitir o trânsito de equipamentos responsáveis pelo lançamento das rochas e ainda assim respeitar a espessura mínima recomendada.

Table 5-3. Minimum Layer Thickness SI metric (US customary)		
RSP-Class Layer	Method of Placement	Minimum Thickness
8 T (8 ton)	A	2.60 meters (8.5 feet)
4 T (4 ton)	A	2.07 meters (6.8 feet)
2 T (2 ton)	A	1.65 meters (5.4 feet)
1 T (1 ton)	A	1.31 meters (4.3 feet)
1/2 T (1/2 ton)	A	1.04 meters (3.4 feet)
1 T (1 ton)	B	1.65 meters (5.4 feet)
1/2 T (1/2 ton)	B	1.31 meters (4.3 feet)
1/4 T (1/4 ton)	B	1.00 meters (3.3 feet)
Light	B	760 millimeters (2.5 feet)
Facing	B	550 millimeters (1.8 feet)
Backing No. 1	B	550 millimeters (1.8 feet)
Backing No. 2	B	380 millimeters (1.25 feet)
Backing No. 3	B	230 millimeters (0.75 feet)

Tabela 6 - Espessura mínima das camadas de proteção de acordo com suas classificações. [15]

3.3 PROTEÇÃO DO ATERRO DE SOLO COMPACTADO

Assim como a proteção de enrocamento da margem, a proteção para o talude compactado consiste em uma camada de rochas dimensionadas para diminuir a força de arrasto exercida pela água. A distribuição granulométrica das rochas e o embricamento entre os blocos são fatores de extrema importância, devendo a arrumação dos blocos ser realizada manualmente.

Diferente da proteção da margem, a proteção do talude de solo compactado se encontra acima da cota considerada para cheia do rio Muriaé. O dimensionamento deve levar em consideração a ação das ondas sobre o talude.

A espessura da camada de *Rip Rap* é definida pela fórmula:

$$e = Cv^2$$

Onde,

e = espessura da camada de *Rip Rap*;

C = constante dependente do tipo ou do peso específico da rocha utilizada;

v = velocidade das ondas.

Para o cálculo da velocidade das ondas, em metros por segundo, foi utilizada a fórmula de Gaillard, segundo a qual:

$$v = 1,5 + 1,5h$$

Sendo *h* a altura das ondas em metros e obtida pela fórmula de Stevenson em função do *fetch*, grandeza que representa a maior distância em linha reta entre a crista da barragem e o final do reservatório.

$$h = 0,75 + 0,34\sqrt{L} - 0,26\sqrt[3]{L}$$

Ou, para *L* menor que 18 km,

$$h = 0,34\sqrt{L}$$

Onde,

L = *fetch* médio medido em quilômetros;

h = altura das ondas em metros.

Para a determinação da constante **C**, utiliza-se o seguinte ábaco, aferindo um valor de 0,026:

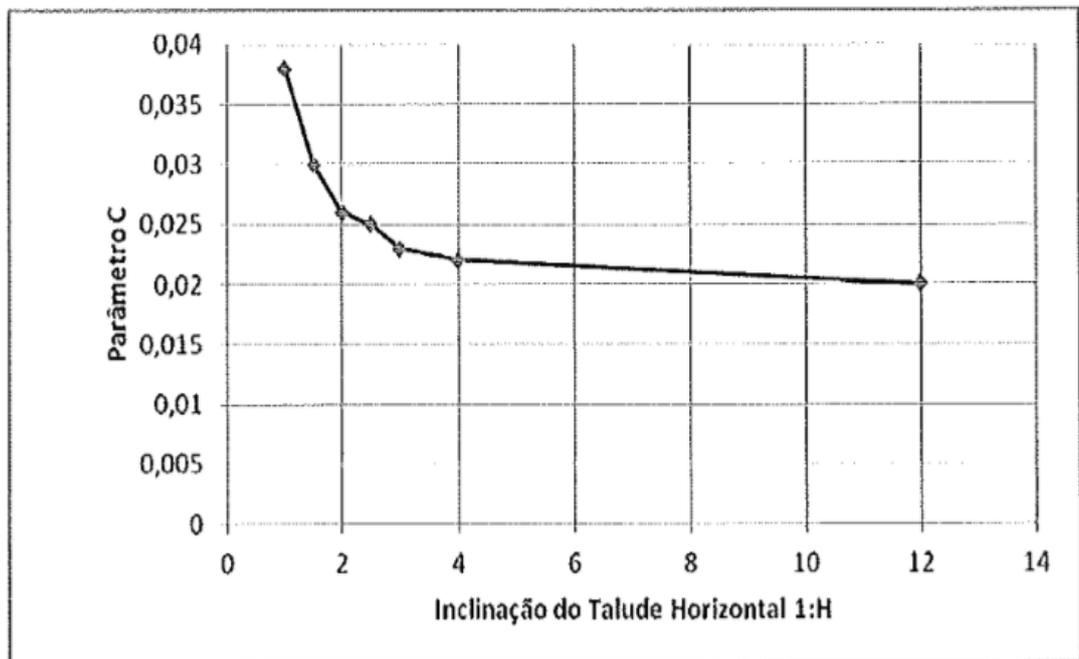


Figura 8 - Definição da constante C para rocha de 2,8 t/m³. [1]

Considerando-se um **L** de 2,0 km, obtém-se um **h** de 0,48m e **v** de 2,2m/s. Com todos os dados, é possível definir a espessura do *Rip Rap* de 0,12m, aproximada para 0,2m.

Uma vez que a espessura é definida, é possível calcular o peso de rocha pela seguinte equação:

$$P_{50\%} = 0,52\gamma_{rocha}e^3$$

Onde,

$P_{50\%}$ = Peso mínimo de pelo menos 50% dos blocos utilizados.

O resultado fornece um valor para o peso de rocha de 11 kgf.

3.4 COMPOSIÇÃO DE NOVA SEÇÃO TRANSVERSAL

Através do dimensionamento demonstrado, define-se o *layout* da proteção a ser executada. Esse mesmo *layout* deve ser inserido na seção transversal mais crítica do Dique Santa Bárbara I, obtida pela batimetria fornecida pelo cliente, para compor a nova geometria da seção-tipo do Dique.

De acordo com as especificações do contratante do projeto, a seção transversal deve garantir ao Dique, além das camadas de proteção, a complementação do patamar principal até a dimensão de 10 metros. Essa complementação será executada em aterro compactado com controle tecnológico e demandará uma proteção para o novo talude criado. O dimensionamento desta nova proteção será abordado mais a frente.

A figura 9 apresenta a seção transversal crítica obtida por meio da batimetria, enquanto a figura 10 apresenta a mesma seção com o patamar de 10 metros e com as camadas de proteção segundo o *layout* dimensionado.

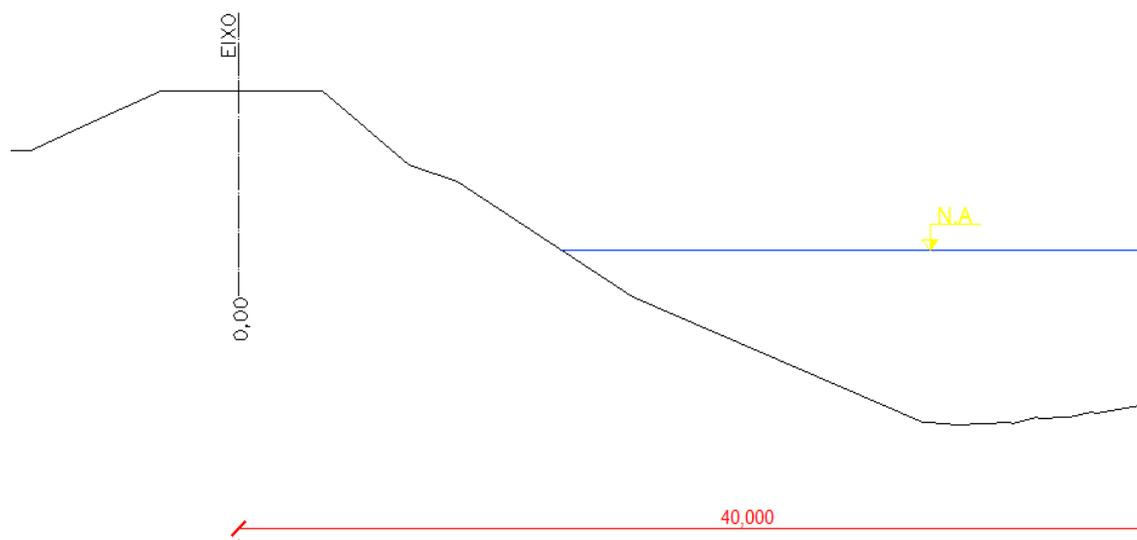


Figura 9 - seção transversal erodida do Dique Santa Bárbara.

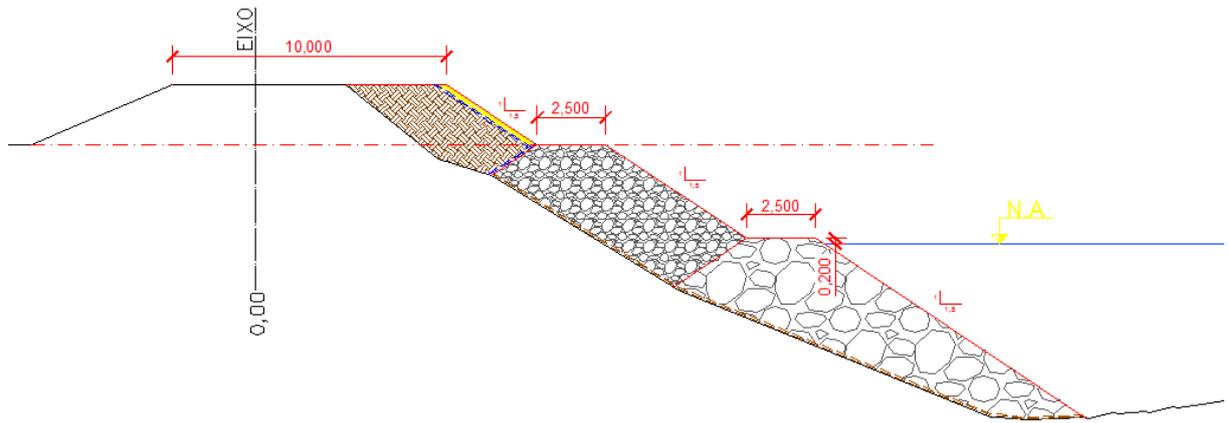


Figura 10 - Seção-tipo recomposta do Dique Santa Bárbara

ANÁLISE DA ESTABILIDADE DO TALUDE

4.1 DEFINIÇÃO DO MECANISMO DE RUPTURA

A ruptura se caracteriza pela formação de uma superfície contínua de cisalhamento no maciço. Inicialmente se desenvolve uma área onde o solo perde suas características, formando a zona cisalhada. Em seguida desenvolve-se de forma bem definida a superfície de ruptura.

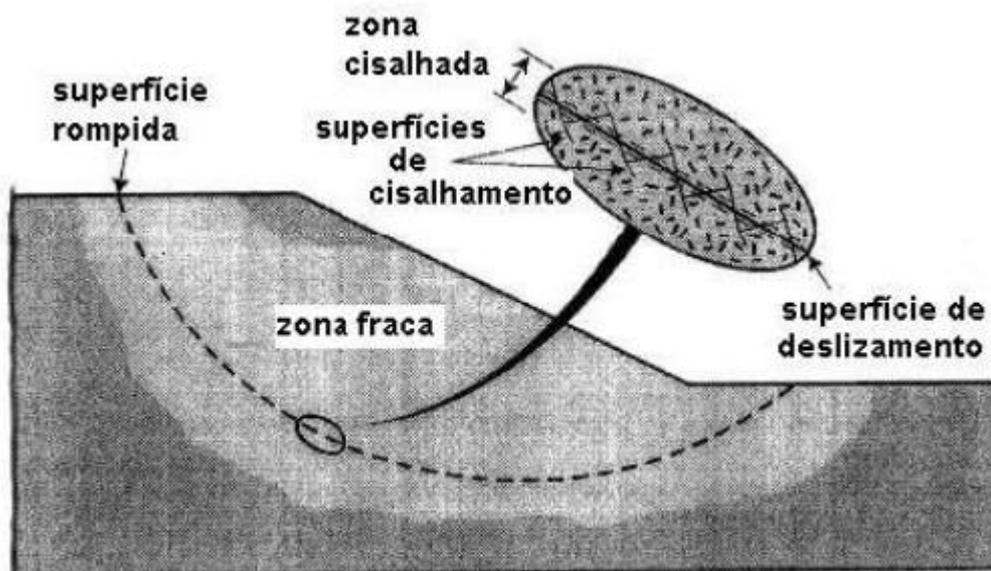


Figura 11 -Zonas fraca, cisalhada, e superfície de cisalhamento (LEROUEIL, 2001).

[16]

Uma vez que as tensões cisalhantes mobilizadas no solo se igualam à resistência ao cisalhamento, é deflagrada a instabilidade do talude, causando então a ruptura. O fator de segurança é definido então como a razão entre a resistência ao cisalhamento e a tensão cisalhante mobilizada.

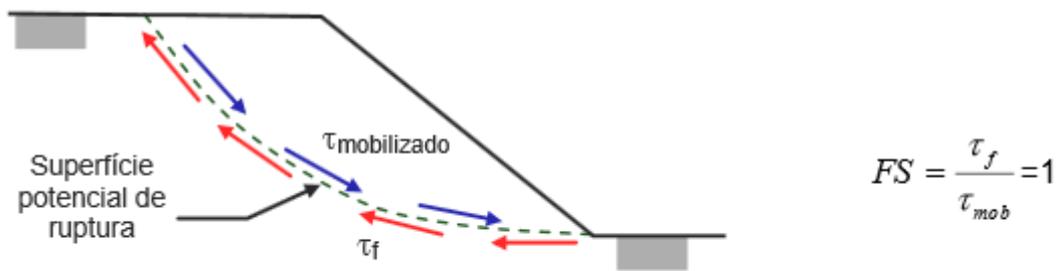


Figura 12 - Definição de fator de segurança. [16]

A alteração do fator de segurança de um talude pode se dar, então, pelo aumento da tensão cisalhante mobilizada ou pela diminuição da resistência. Uma divisão dos mecanismos deflagradores da instabilidade em dois grupos é apresentada abaixo.

Ação	Fatores	Fenômenos geológicos / antrópicos
Aumento da solicitação	Remoção de massa (lateral ou da base)	Erosão (Figura 28, Figura 29) Escorregamentos (Figura 30) Cortes
	Sobrecarga	Peso da água de chuva, neve, granizo etc. Acúmulo natural de material (depósitos) Peso da vegetação Construção de estruturas, aterros etc.
	Solicitações dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões etc. Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais	Água em trincas (Figura 31) Congelamento Material expansivo
Redução da resistência	Características inerentes ao material (geometria, estruturas etc.)	Características geomecânicas do material, Tensões
	Mudanças ou fatores variáveis	Intemperismo: redução na coesão, ângulo de atrito Variação das poropressões. (Figura 32, Figura 33)

Tabela 7 - Classificação dos mecanismos deflagradores da instabilidade. [16]

Além dos fatores de ocorrência natural, no projeto do Dique Santa Bárbara I, a erosão ocorrida e a sobrecarga proveniente da construção do aterro de solo compactado e da proteção de enrocamento são fatores de grande relevância na análise de estabilidade da seção transversal já reconfigurada.

O objetivo da análise de estabilidade é determinar se ocorrerá instabilidade, e conseqüente ruptura, pela determinação dos fatores de segurança de diferentes superfícies de ruptura.

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{mob}} = 1$$

FS > 1,0 ⇒ obra estável

FS = 1,0 ⇒ ocorre a ruptura por escorregamento

FS < 1,0 ⇒ não tem significado físico

O valor mínimo a ser atingido para o fator de segurança, o fator de segurança admissível (FS_{adm}), pode ser definido por análises estatísticas a respeito das consequências de uma possível ruptura em termos de prejuízos econômicos e perdas de vidas humanas.

Risco de perdas econômicas	Risco de perda de vidas humanas		
	desprezível	medio	elevado
Desprezível	1,1	1,2	1,4
Médio	1,2	4,3	1,4
Elevado	1,4	1,4	1,5

i) fatores de segurança para tempo de recorrência de 10 anos
ii) para risco elevado e subsolo mole, o valor de FS_{adm} pode ser majorado em 10%

Tabela 8 - Recomendação de fatores de segurança admissíveis. [16]

Essa abordagem é conhecida como abordagem determinística. Existe também uma abordagem dita probabilística que trata da definição do fator de segurança admissível através do estudo da probabilidade de ruptura do talude.

4.2 METODOLOGIA DO PROCESSO DE ANÁLISE

A metodologia para análise da estabilidade do talude segue a seguinte ordem:

- Retirada de amostra indeformada do campo;
- Realização de ensaios de laboratório;
- Determinação dos parâmetros de tensão, deformação e resistência do solo, através dos resultados dos ensaios;
- Utilização de teorias e metodologias de dimensionamento para determinação do fator de segurança.

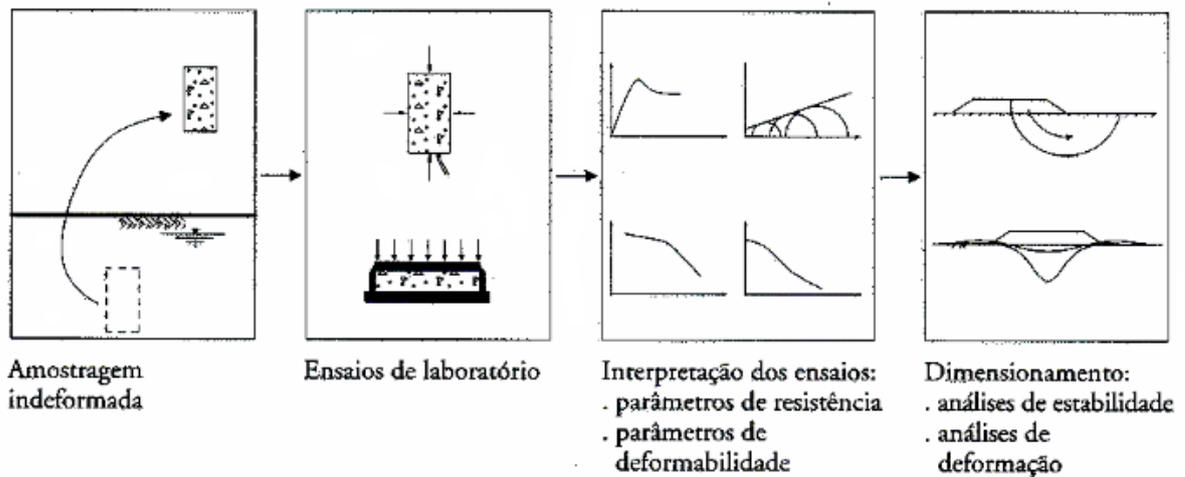


Figura 13 - Metodologia do processo de análise de estabilidade do talude. [16]

Existem, do ponto de vista determinístico, dois grupos de métodos para a análise de estabilidade.

O primeiro deles, conhecido por análise de tensões, realiza o estudo da estabilidade pela análise de tensão e deformação do solo, obtida com o auxílio de programas computacionais baseados no método dos elementos finitos (MEF) ou método das diferenças finitas (MDF).

O segundo grupo realiza a análise baseada na teoria do equilíbrio limite. A teoria do equilíbrio limite analisa o equilíbrio limite de uma massa de solo definida pelo talude e pela superfície de ruptura, impondo as seguintes premissas:

- Todos os elementos da superfície de ruptura atingem o FS simultaneamente;
- Postula-se um mecanismo de ruptura, isto é, arbitra-se uma determinada superfície potencial de ruptura (circular, planar, etc.). O solo acima da superfície é considerado como um corpo livre;
- O equilíbrio é calculado pelas equações da estática: ($\sum F_v = 0$, $\sum F_h = 0$, $\sum M = 0$). O equilíbrio é feito dividindo a massa de solo em fatias e analisando o equilíbrio de cada fatia.

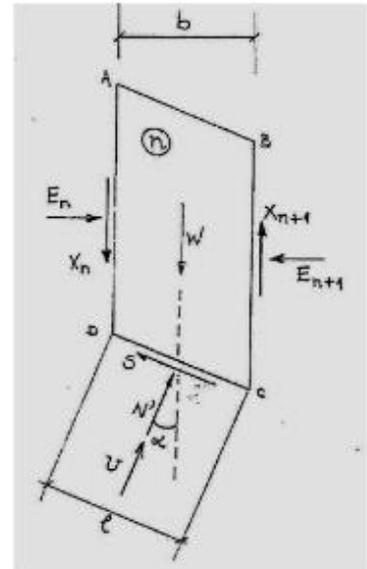
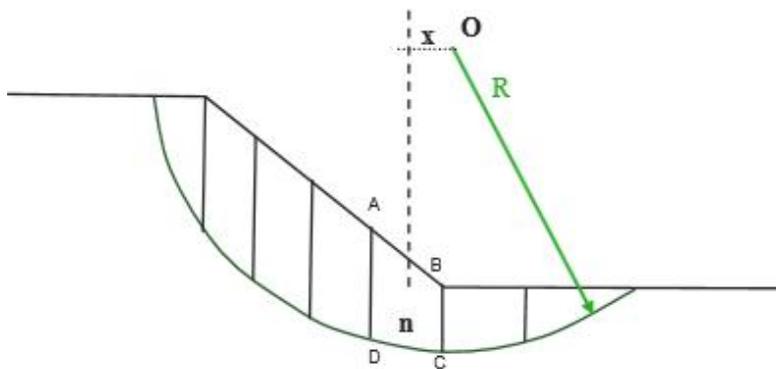
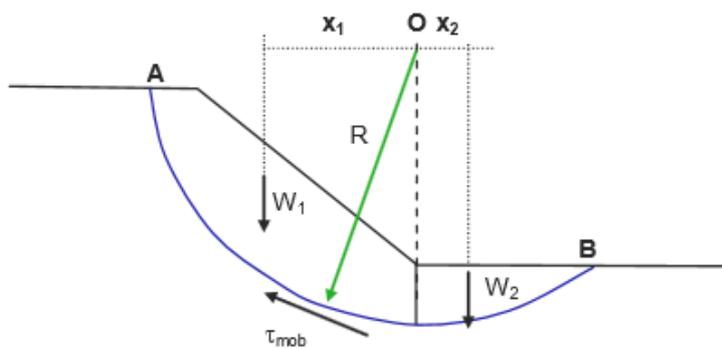


Figura 14 - Equilíbrio de forças. [16]



$$M_{\text{Instabilizante}} = W_1 x_1$$

$$M_{\text{Estabilizante}} = W_2 x_2 + (\tau_{\text{mob}} \overline{AB}) \text{Raio}$$

Equilíbrio de Momentos:

$$W_2 x_2 + (\tau_{\text{mob}} \overline{AB}) \times \text{Raio} = W_1 x_1$$

$$(\tau_{\text{mob}} \overline{AB}) \times \text{Raio} = W_1 x_1 - W_2 x_2 -$$

Como definir τ_{mob} ?

Figura 15 - Equilíbrio de momentos. [16]

O problema proposto pela teoria do equilíbrio limite é estaticamente indeterminado, ou seja, possui mais incógnitas do que equações. Foram propostos diferentes métodos de simplificação para diminuir o número de incógnitas e assim fornecer uma solução. Desses métodos, o método de Fellenius e o método de Bishop embasam a solução computacional utilizada para a análise. Dessa forma será apresentado de forma resumida o processo de resolução dos dois métodos antes da solução obtida por modelo computacional.

4.3 EQUAÇÕES GERAIS

A figura abaixo ilustra os esforços em uma determinada fatia, a partir da qual será deduzida a equação geral para obtenção do FS.

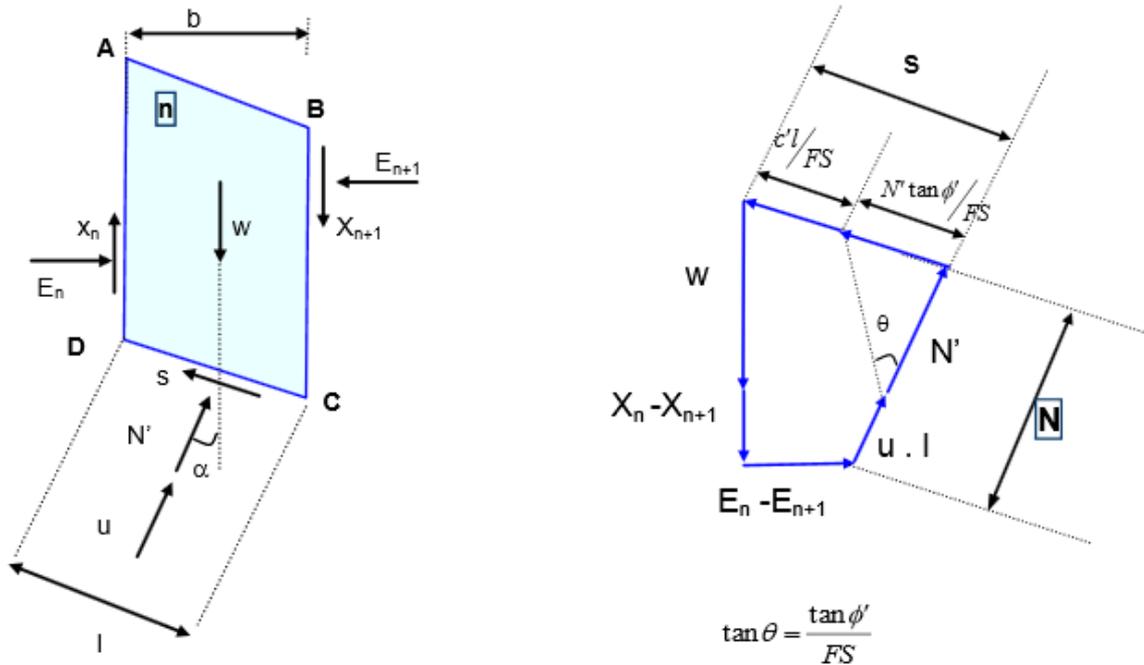


Figura 16 - Esforços na fatia n e polígono de forças. [16]

Tensão cisalhante mobilizada na base da fatia:

$$S = \tau_{\text{mob}} \times l$$

$$\tau_{\text{mob}} = c' + (\sigma - u) \text{tg} \phi'$$

Para tensões efetivas:

$$S = T_{\text{mob}} = \frac{c'}{FS} + (N - ul) \frac{\text{tg} \phi'}{FS} N' = (N - ul)$$

Para tensões totais:

$$\tau_{mob} = s_u \dots (\phi' = 0)$$

$$S = T_{mob} = \frac{s_u l}{FS}$$

Por equilíbrio de momentos em relação ao centro do círculo, tem-se:

$$\sum W_i \times x_i = \sum \tau_{mob_i} \times R$$

Substituindo τ_{mob_i} e com $x = R \times \text{sen}\alpha$, obtém-se:

Para tensões efetivas:

$$FS = \frac{\sum \{c' l + (N - ul) \text{tg}\phi'\}}{\sum W_i \text{sen}\alpha}$$

Para tensões totais:

$$FS = \frac{R \times \sum (s_u l)}{R \times \sum W_i \text{sen}\alpha} = \frac{\sum (s_u l)}{\sum W_i \text{sen}\alpha}$$

Estas são, portanto, as equações básicas para a determinação de FS para superfícies circulares. O valor mínimo de FS é obtido de forma iterativa, testando várias superfícies até que se ache a potencial superfície de ruptura.

4.4 MÉTODO DE FELLENIUS

Fazendo o equilíbrio de forças em cada fatia na direção normal à superfície de ruptura, obtém-se:

$$N = (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha$$

Substituindo o valor de N' na equação geral e assumindo a hipótese simplificadora de que $N = W \cos \alpha$,

$$FS = \frac{\sum (c'l + (W \cos \alpha - ul) \operatorname{tg} \phi')}{\sum W_i \sin \alpha}$$

Uma importante observação sobre o método de Fellenius é que ele é conservador e tende a fornecer baixos valores de FS.

4.5 MÉTODO DE BISHOP

O equilíbrio de forças é feito na direção vertical à superfície de ruptura.

$$N' \cos \alpha + ul \cos \alpha = W + X_n - X_{n+1} - \tau \sin \alpha$$

E considerando

$$b = l \cos \alpha; \quad m_\alpha = \cos \alpha \left\{ \frac{1 + \tan \alpha \operatorname{tg} \phi'}{FS} \right\}$$

$$N' = \frac{W + X_n - X_{n+1} - ub - \frac{c'l}{FS} \times \sin \alpha}{m_\alpha}$$

O método de Bishop assume que:

$$\sum [(X_n - X_{n+1})] \frac{\text{tg}\phi'}{m_\alpha} = 0$$

Esta hipótese equivale a desprezar as parcelas de esforço horizontal entre lamelas. Substituindo N' na equação geral chega-se a:

$$FS = \frac{1}{\sum W_i \text{sen}\alpha} \sum \left\{ [c'b + (W - ub)\text{tang}\phi'] \frac{1}{m_\alpha} \right\}$$

Como FS aparece em ambos lados da equação a solução é iterativa, assumindo um valor para FS e então obtendo um novo valor através da equação.

4.6 ANÁLISE COMPUTACIONAL DA ESTABILIDADE DO TALUDE

Por ser iterativa, a utilização de ferramentas computacionais para resolução pelos métodos de Fellenius e Bishop representa grande avanço no processo de análise da estabilidade de taludes.

Neste trabalho a ferramenta utilizada foi o software Slide®, versão 6.0 produzido pela empresa Rocscience, o qual permite o estudo da estabilidade de taludes por diversos métodos e possui uma interface gráfica que permite a inserção das características geométricas do talude a ser estudado.

Baseado nos parâmetros de entrada, obtidos por meio da investigação geotécnica, na literatura no caso do ângulo de atrito das rochas e na geometria do problema, o software calcula o FS de várias superfícies de ruptura e através muitas iterações, então aponta a potencial superfície de ruptura.

Primeiramente, é necessário determinar qual será o método utilizado na análise.

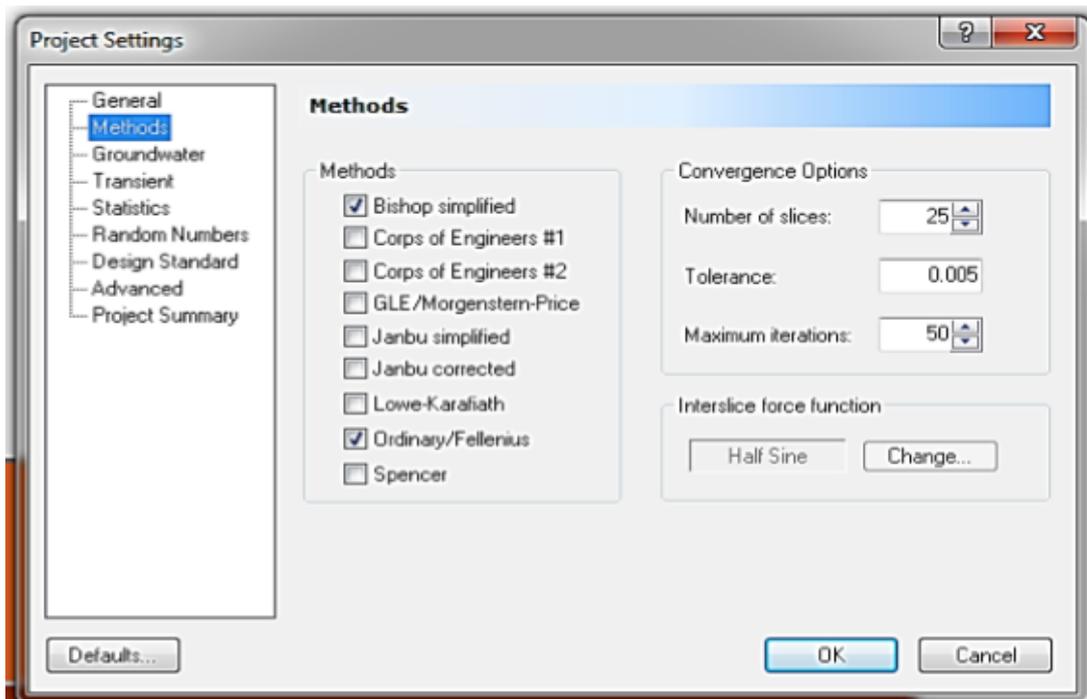


Figura 17 - Definição do método para análise da estabilidade.

Baseado na batimetria, na composição do enrocamento de proteção e dos ensaios da campanha de investigação geotécnica é definida a geometria do modelo, bem como os parâmetros geotécnicos de cada material e suas respectivas fronteiras.

Devido à presença da espessa camada de uma argila orgânica com comportamento normalmente adensado no maciço de fundação do Dique, os momentos críticos para a estabilidade do talude são o de final de construção e o de rápida variação do nível d'água devido ao comportamento não drenado desses carregamentos. Dessa forma, a análise de estabilidade foi realizada para prever o comportamento do talude nas situações mais desfavoráveis através da análise em termos de tensões totais para o maciço argiloso.

A primeira análise mostra que o conjunto possui, considerando um nível d'água representativo do período de cheia do rio Muriaé, um FS de 2,002 para a potencial superfície de ruptura. O FS encontrado nessa situação é satisfatório e indica a estabilidade do conjunto.

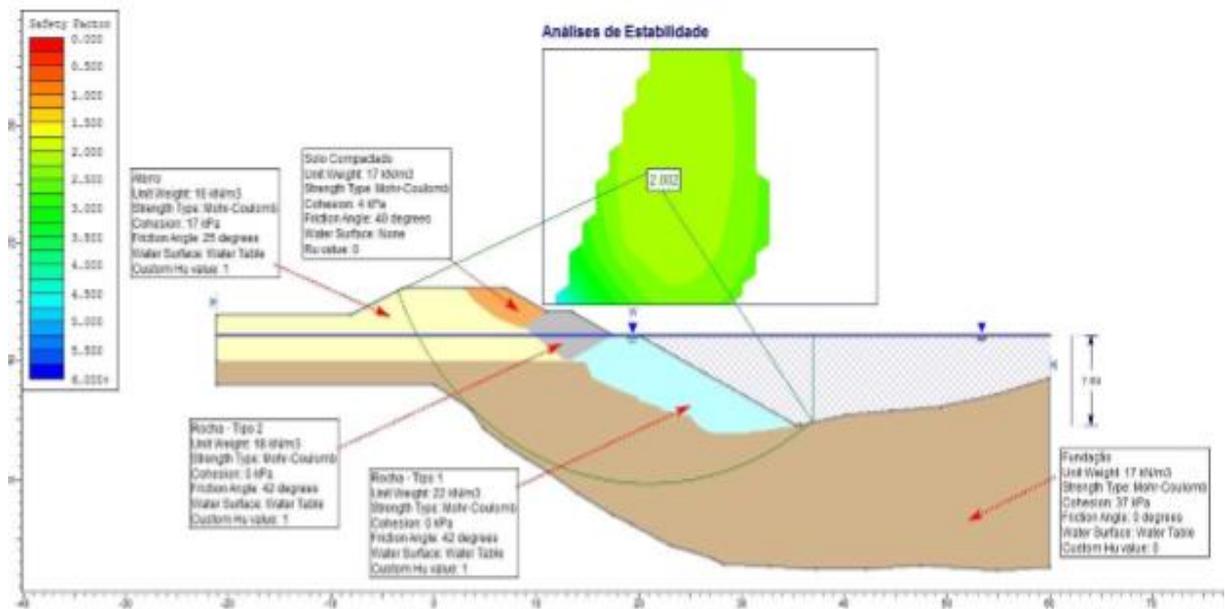


Figura 18 - Análise de estabilidade do conjunto protetor do Dique Santa Bárbara I.

Novas análises foram realizadas para mensurar o efeito da variação do nível d'água sobre a estabilidade do conjunto.

A análise com um nível d'água considerado intermediário fornece um valor de 1,477 para o FS, valor esse considerado satisfatório embora menor do que o FS encontrado na primeira análise.

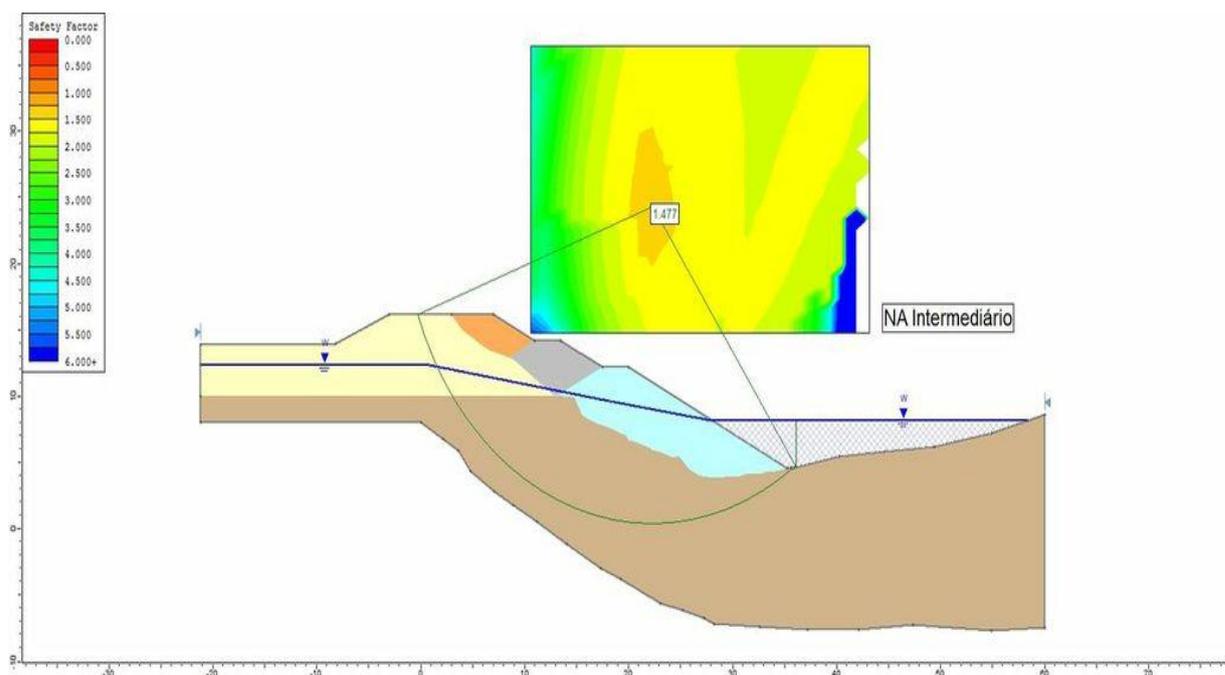


Figura 19 - Análise de estabilidade para um N.A intermediário.

A análise em termos de tensões totais com um nível d'água considerado mínimo representa o momento crítico de rebaixamento rápido do reservatório. Nesse caso, a análise forneceu um FS com valor de 1,294. O valor de FS se apresenta ainda menor que o anterior, mas ainda satisfatório.

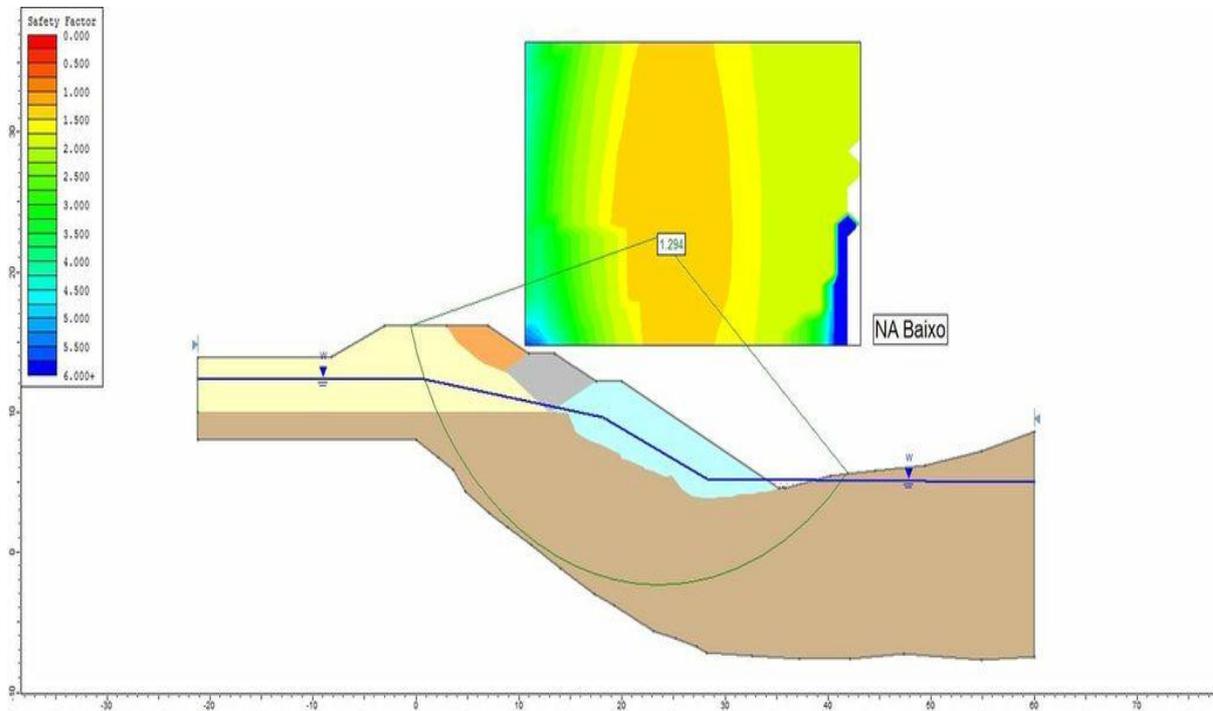


Figura 20 - Análise de estabilidade para um N.A mínimo.

A interpretação das análises realizadas permite afirmar que existe uma diminuição do FS em função da diminuição do nível d'água. Porém, o valor de FS se mantém satisfatório em todos os momentos, garantindo assim a estabilidade do conjunto e a segurança da obra com a configuração dimensionada.

A variação do valor de FS em função do nível d'água pode ser vista no gráfico que relaciona o valor de FS ao valor da diferença da cota do nível d'água e da cota da crista do talude.

FS x N.A.

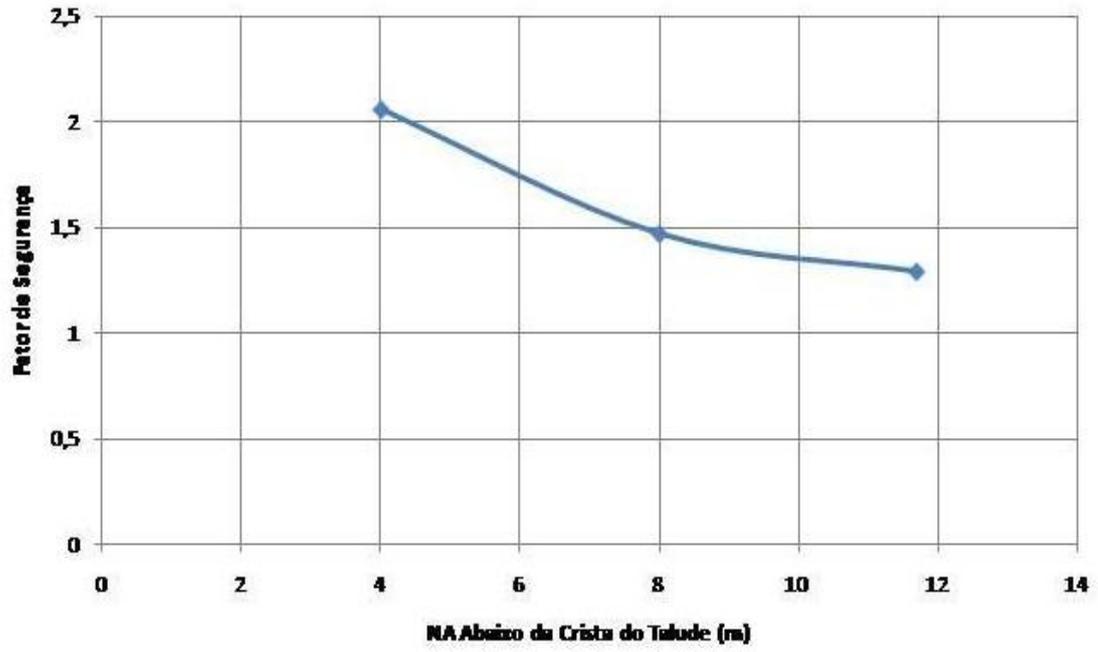


Figura 21 - Curva FS x N.A

CONCLUSÃO

O Dique Santa Bárbara I, situado na localidade de Outeiro, distrito da cidade de Cardoso Moreira é parte integrante de um complexo sistema de Diques que protegem comunidades e propriedades rurais das cheias do rio Muriaé.

Conforme apresentado, repetidos eventos de cheia e a força de arrasto do rio Muriaé, exacerbada pela condição de “estrangulamento” da curva do corpo d’água, levaram à avançada erosão do Dique e à descaracterização de sua forma conforme mostra a figura.



Figura 22 - Dique Santa Bárbara I erodido.

Conforme o projeto de recuperação apresentado neste trabalho, a seção transversal foi reconstituída e um sistema de proteção hidráulica composto por enrocamento em camadas foi executado.

As próximas figuras demonstram o resultado do trabalho de recuperação e apresentam o Dique Santa Bárbara I em sua configuração final, capaz de resistir à erosão causada pela força de arrasto do rio Muriaé.



Figura 23 - Dique Santa Bárbara I recuperado.



Figura 24 - Detalhe do Dique Santa Bárbara I recuperado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1- Barton N, Kjaernli B. 1981. Shear strength of rockfill. *ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division*, **107** (GT7): 873-891.
- 2- Fiori AP. 2011. Fundamentos de mecânica dos solos e das rochas: Aplicações na estabilidade de taludes. 1ª Ed. *Editora UFPR – Curitiba, Paraná / BR.*
- 3- Nascimento E. 2011. Estabilidade de taludes – Método Bishop simplificado. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade de Pernambuco. Pernambuco, Recife / BR.
- 4- Ortigão JAR. 2007. Introdução à mecânica dos solos dos estados críticos. 3ª Ed. *Terratek*, Portugal. 391 p.
- 5- Das BM. 2011. Fundamentos de Engenharia Geotécnica. 7ª Ed. *Cengage Learning*, Connecticut / USA. 560 p.
- 6- BOWLES, JE. 1997. Foundation Analysis and Design. 5th Ed. *McGraw-Hill*, New York / USA.
- 7- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6457: Amostras de solo – Preparação para Ensaios de Compactação e Ensaios de Caracterização.
- 8- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez.
- 9- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6508: Determinação da Massa Específica.
- 10- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade.

- 11- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica.
- 12- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo – Ensaio de Compactação.
- 13- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9895: Solo – Índice de Suporte Califórnia.
- 14- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6484: Solo – Sondagens de simples reconhecimento com SPT – Método de ensaio
- 15- California Bank and Shore Rock Slope Protection Design, Practitioner's Guide and Field Evaluations of Rip Rap Methods. 2000. California Dept Transp Off New Tech and Research. 109p.
- 16- Gerscovich, D. M. (2009). Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro: FEUERJ - Faculdade de Engenharia da UERJ
- 17- Brighetti, G. (2001). Obras Fluviais. São Paulo: Universidade de São Paulo.

ANEXOS

Anexo I – Ensaio de caracterização completa Jazida Gabriel III

Resultados de Ensaio de Caracterização Completa

Cliente: Odebrecht
 Obra: Dique
 Furo: -

Data: 25/6/12
 Profundidade: -
 Amostra: Jazida Gabriel III

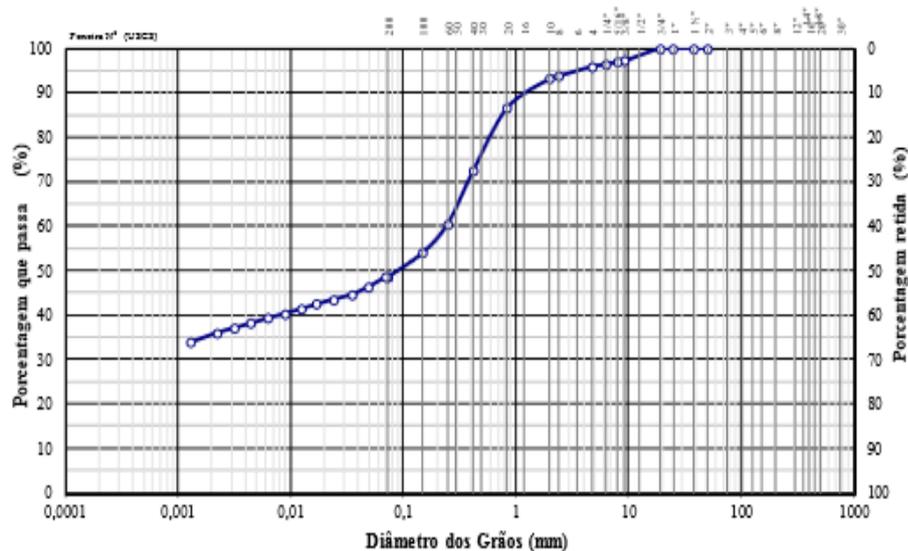
Características Granulométricas

Frações Granulométricas e Classificação Unificada

Pedregulho			Areia			Silte	Argila	Classificação (USCS)
Grosso	Médio	Fino	Grossa	Média	Fina			
-	3,7	3,2	14,6	21,2	9,8	12,0	35,4	CL

Diâmetros Característicos e Coeficientes de Curvatura e Uniformidade

D ₁₀	D ₁₅	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₈₅	Cc	Cu



	Argila	Silte	Areia		Pedregulho		Pedra	Mamão
			fin	grossa	fin	grossa		
100%	Argila	Silte						
100%	Argila	Silte						
100%	Argila	Silte						

Propriedades Físicas

Densidade:

Densidade Real dos Grãos = 2,67 g/cm³

Umidades:

Umidade Natural = - %

Umidade Higroscópica = 1,0 %

Índices de Atterberg:

Limite de Liquidez = 41,4 %

Limite de Plasticidade = 26,1 %

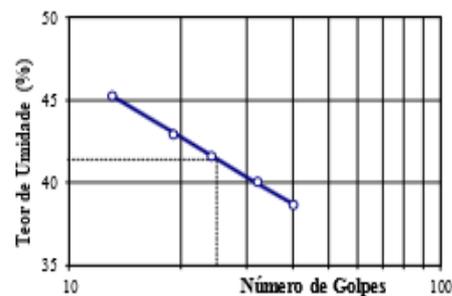
Índice de Plasticidade = 15,3 %

Índice de Consistência = - %

Atividade Skempton:

Atividade Coloidal = 0,43 (Inativa)

Limite de Liquidez



Anexo II – Ensaio de compactação Jazida Gabriel III

Resultados de Ensaio de Compactação

Interessado: ODEBRECTH

Data: 14/6/12

Local da Coleta: JAZIDA GABRIEL III

Ensaio: 3

Furo: -

Amostra: 3

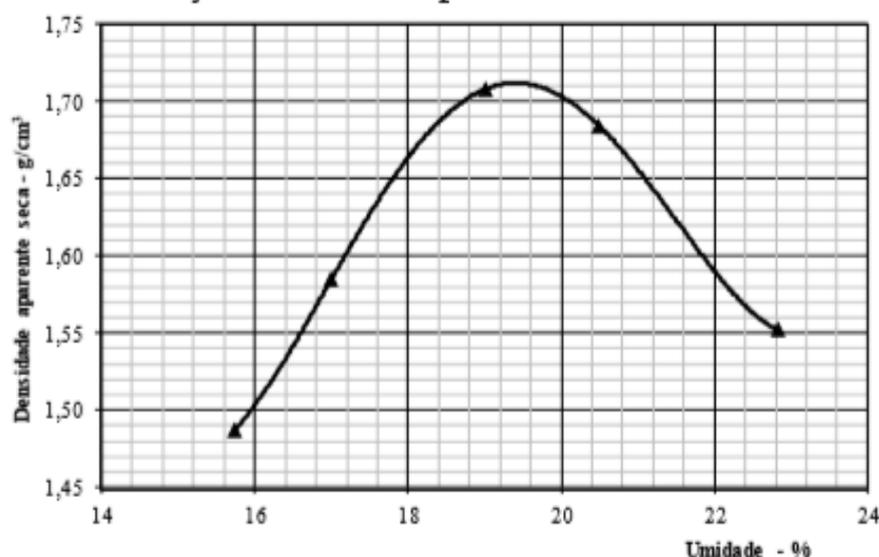
Características do ensaio

Tipo:	Proctor Normal		Número de camadas: 3 camadas				
Cilindro:	Pequeno		Número de golpes por camada: 26 camadas				
Soquete:	Pequeno						
Número do cilindro	1	1	1	1	1	Grande	Pequeno
Água adicionada (g)	300	350	400	450	500	CBR	Permeabilidade
Solo húmido compactado + molde (g)	3800	3936	4118	4115	3990	9080	2985
Molde (g)	2043	2043	2043	2043	2043	4836	930
Solo húmido compactado (g)	1757	1893	2075	2072	1947	4244	2055
Volume do molde (cm ³)	1021	1021	1021	1021	1021	2083	1013
Densidade aparente úmida (g/cm ³)	1,721	1,854	2,032	2,029	1,907	2,037	2,029
Número da Cápsula	177	134	102	107	93	161	16
Solo úmido+cápsula (g)	142,92	104,95	112,23	99,33	156,89	59,78	45,25
Solo seco + cápsula (g)	127,34	93,84	98,86	87,18	133,24	52,44	40,41
Cápsula (g)	28,29	28,48	28,54	27,90	29,67	12,45	14,15
Água (g)	15,58	11,11	13,37	12,15	23,65	7,34	4,84
Solo seco (g)	99,05	65,36	70,32	59,28	103,57	39,99	26,26
Umidade (%)	15,73	17,00	19,01	20,50	22,83	18,35	18,43
Densidade aparente seca (g/cm ³)	1,487	1,585	1,708	1,684	1,552	1,721	1,713

Resultados dos Ensaio

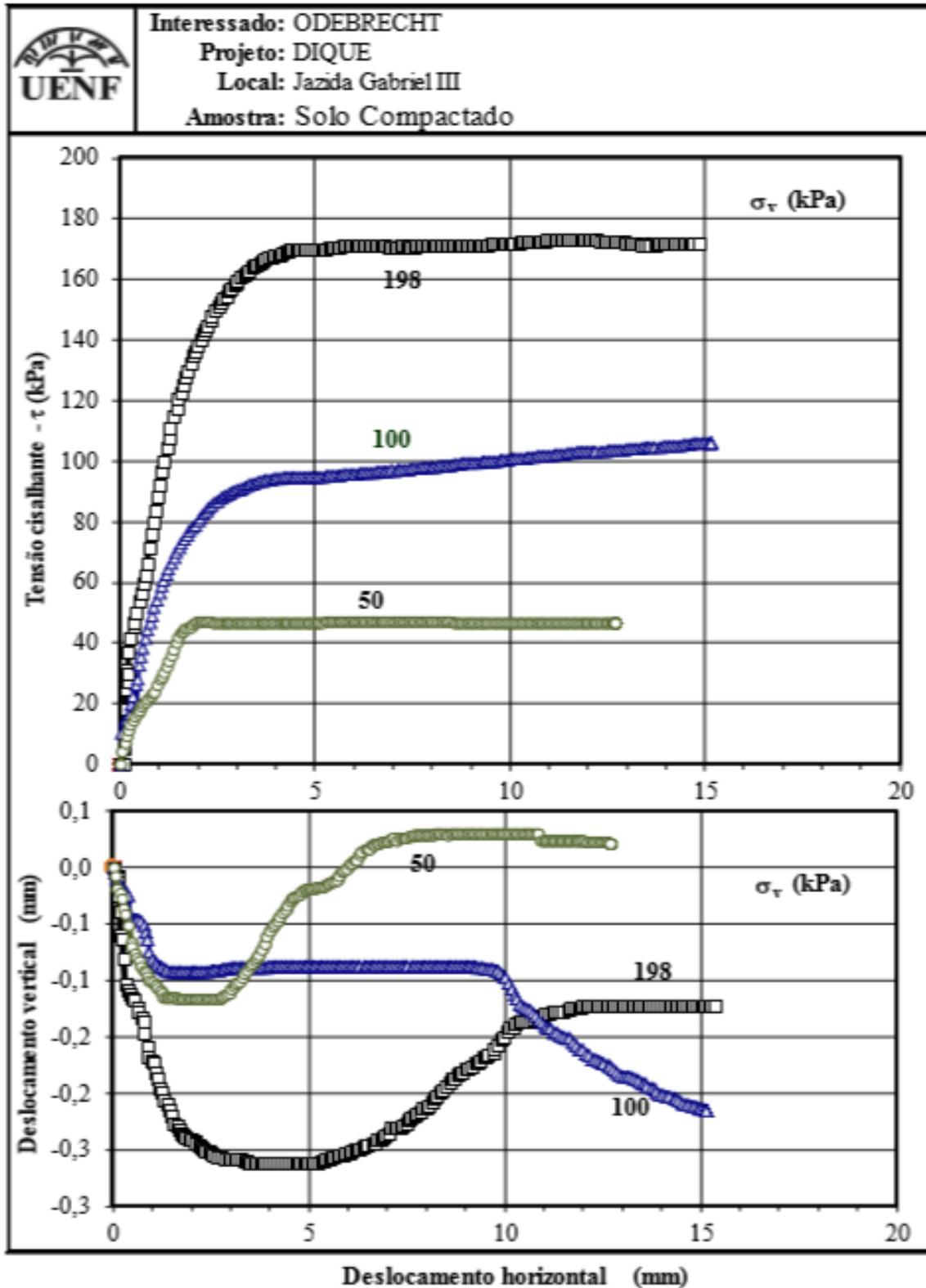
Densidade aparente seca máxima	1,710 g/cm ³	Umidade ótima	19,4	%
Índice suporte Califórnia (CBR)	4,2%	Índice de expansão	3,6	%

Varição da densidade aparente seca com a umidade



Anexo III – Ensaio de cisalhamento direto Jazida Gabriel III

Ensaio de Cisalhamento Direto
Curvas τ vs. Desl. Horiz. e Desl. Vert. vs. Desl. Horiz.



Ensaio de Cisalhamento Direto Estimativa da Envoltória de Ruptura



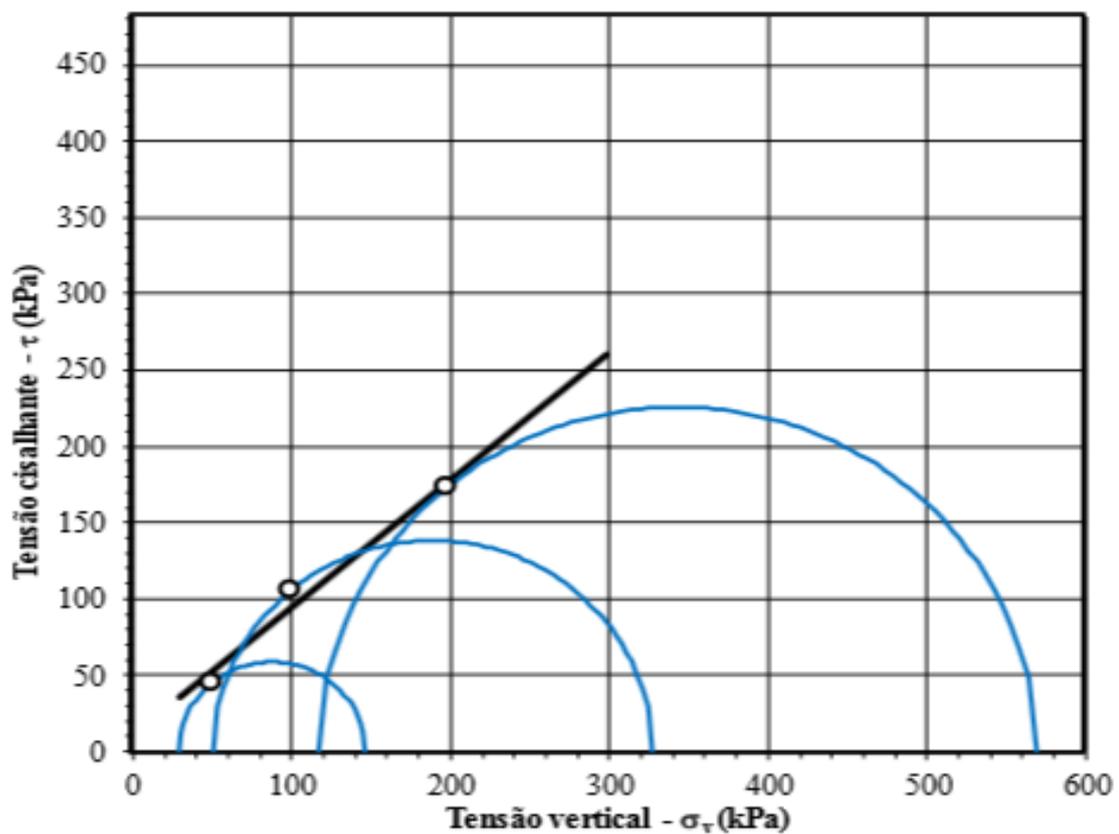
Interessado: ODEBRECHT
 Projeto: DIQUE
 Local: Jazida Gabriel III
 Amostra: Solo Compactado

Tensões de ruptura

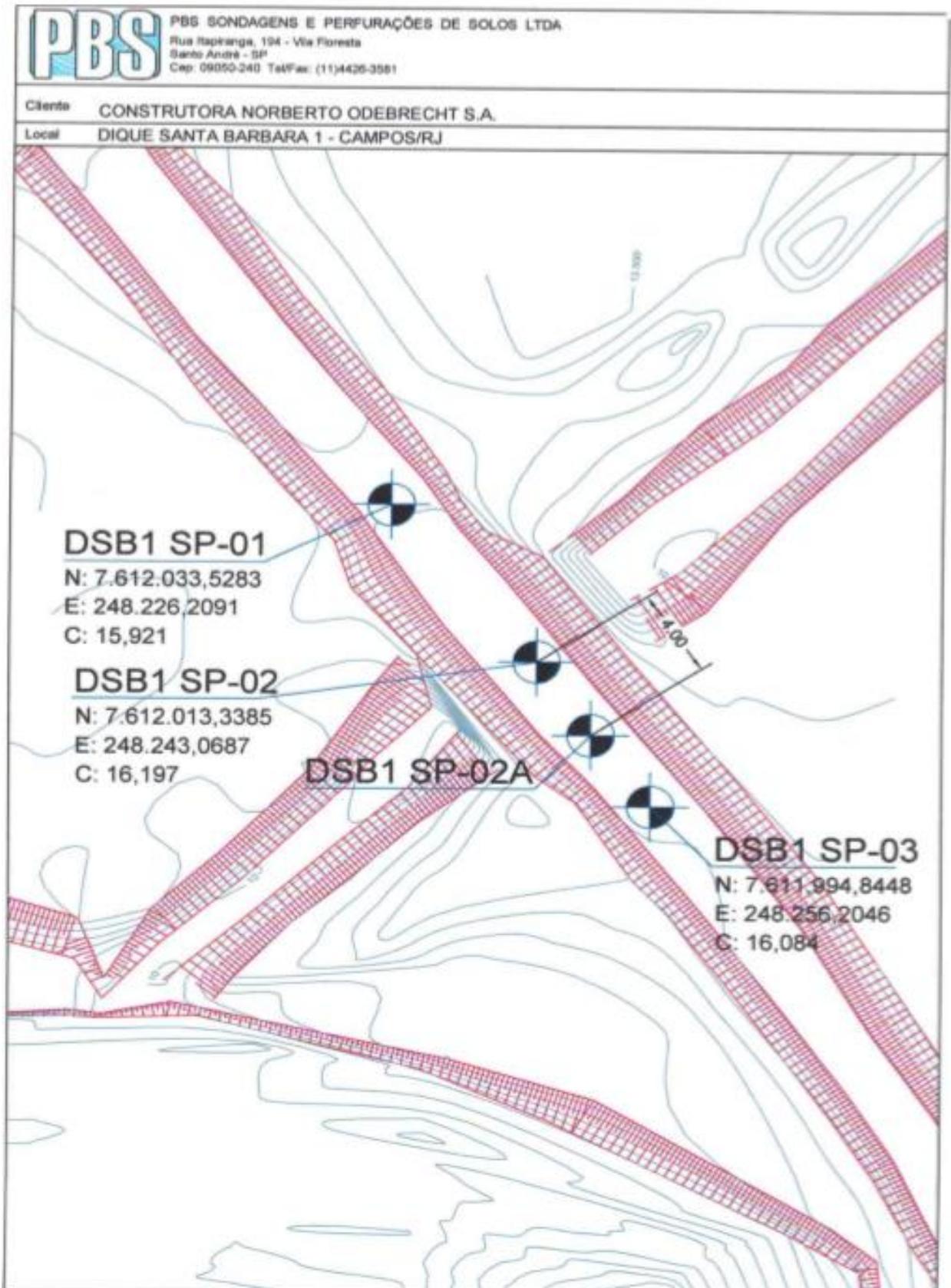
Ponto	σ_v (kPa)	τ_{max} (kPa)
01	50	45
02	100	106
03	198	173

Parâmetros da envoltória de ruptura

ϕ'	=	40,0	°
c'	=	10,70	kPa



Anexo VI – Localização de sondagem SPT



Anexo VII – Sondagem DSB1-SP-01 Parte 1

 PBS SONDAJENS E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA Rua Hapiiranga, 194 - Via Floresta Santo André - SP Cep: 09050-240 Tel/Fax: (11)4426-3581		COORDENADAS N = 7.612.033,5283 E = 248.226.2091				
Cliente CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.						
Local DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ						
Escala: 1:100	Data: 20/05/2012	Des - DMS	Des nº RS2012-521			
SONDAJEM		DSB1-SP-01	COTA: 15.921 m.			
		Início: 23/04/2012	Término: 24/04/2012			
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)		Revestimento Ø	76,2 mm
			--- 1ª e 2ª penetrações ——— 2ª e 3ª penetrações			
Nível d'água			Nº de golpes		Amostrador	{ Ø interno: 34,9 mm Ø externo: 50,8 mm
			1ª e 2ª	2ª e 3ª		
			Gráfico		Peso 65 Kg - Altura de queda 75 cm	
			10	20	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
15	1	1.60	8	13	Site arenoso pouco argiloso Marrom claro variegado Medianamente compacto (Aterro)	
	2		3	5	Argila com areia fina Marrom clara variegada Mole a média (Aterro)	
	3		4	6		
	4	3.85	4	7	Argila siltosa com pouca areia fina Marrom clara variegada Média (Sedimentos Recentes)	
10,391	5	5.50	5	7		
10	6		4	4	Areia fina e média siltosa Cinza amarelada variegada Fofa (Sedimentos Recentes)	
	7	7.30	4	3		
	8		P/78	1/33	Argila orgânica siltosa Cinza escura Muito mole a mole (Sedimentos Recentes)	
	9		1/45			
	10	9.90	3	7	Argila siltosa Cinza clara variegada Mole a média (Sedimentos Recentes)	
5	11	11.15	2	2		
	12		4	5		
	13		8	13	Areia fina e média siltosa Cinza clara Fofa a medianamente compacta (Sedimentos Recentes)	
	14		4	6		
0			2	3		
CONTINUA NA PRÓXIMA FOLHA						
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)			SIMBOLOGIA		q _N O AMOSTRADOR PENETROU Nem SOB O PESO DAS HASTES	
INICIAL	FINAL		⊗ AMOSTRA NÃO RECUPERADA		r _N O AMOSTRADOR PENETROU Nem SOB O PESO DAS HASTES-PESO BATENTE	
5.70	5.53		○ AMOSTRA SHELBY			
23/04/2012	26/04/2012		⊗ AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA		NFE NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO	
			NFO NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO			

Anexo VIII – Sondagem DSB1-SP-01 Parte 2

PBS		PBS SONDAÇÕES E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA			COORDENADAS									
		Rua Itapiranga, 184 - Via Floresta Santo André - SP Cep: 09050-240 Tel/Fax: (11)4426-3581			N = 7.612.033,5283 E = 248.226,2091									
Cliente CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.														
Local DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ														
Escala: 1:100		Data: 20/05/2012		Des. = DMS		Geol.								
Des.n° RS2012-521		Início: 23/04/2012		Término: 24/04/2012										
SONDAGEM		DSB1-SP-01		COTA: 15.921 m.										
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)				Revestimento Ø	76.2 mm						
			N° de golpes		Gráfico		Amostrador { Ø interno: 34.9 mm Ø externo: 50.8 mm							
Nível d'água			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40						
0		15.70	2	3					CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL Areia fina e média siltosa Cinza clara Fofa (Sedimentos Recentes)					
		16.50	12	19					Areia fina e média argilosa Cinza clara variegada Medianamente compacta a compacta (Sedimentos Recentes)					
		18.70	10	16					Argila siltosa Amarela escura Rija (Sedimentos Recentes)					
			9	14					Silte argiloso pouco arenoso Cinza claro variegado Medianamente compacto (Solo de Alteração de Rocha)					
-5		20.50	10	14					Areia média e grossa siltosa Marrom clara variegada Medianamente compacta a compacta (Solo de Alteração de Rocha)					
			11	17										
			10	17										
			15	24										
			14	22										
			15	22										
-10		26.45	16	25										
			19	33										
LIMITE DA SONDAGEM														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Avanço (m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Trado</td> <td>0.00 a 6.00</td> </tr> <tr> <td>Lavagem</td> <td>6.45 a 26.00</td> </tr> <tr> <td>Revestimento</td> <td>0.00 a 10.00</td> </tr> </tbody> </table>							Avanço (m)		Trado	0.00 a 6.00	Lavagem	6.45 a 26.00	Revestimento	0.00 a 10.00
Avanço (m)														
Trado	0.00 a 6.00													
Lavagem	6.45 a 26.00													
Revestimento	0.00 a 10.00													
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		<input checked="" type="checkbox"/> AMOSTRA NÃO RECUPERADA <input type="checkbox"/> AMOSTRA SHELBY <input type="checkbox"/> AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA		G _N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES N _N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES+PESO BATENTE										
INICIAL	FINAL	SIMBOLOGIA		NFE NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO										
5.70	5.53	NFE		NFE NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO										
23/04/2012	26/04/2012													

Anexo IX – Sondagem DSB1-SP-02

PBS		PBS SONDAJENS E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA Rua Itapiranga, 194 - Vila Floresta Santo André - SP Cap: 09050-240 Tel/Fax: (11)4426-3081			COORDENADAS N = 7.612.013,3385 E = 248.243.0687												
Cliente CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.																	
Local DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ																	
Escala: 1:100		Data: 20/05/2012	Des. = DMS	Geol.	Des.nº RS2012-522												
SONDAGEM		DSB1-SP-02	COTA: 16.197 m.	Início: 24/04/2012	Término: 24/04/2012												
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)				Revestimento Ø	76.2 mm									
			Nº de golpes		Gráfico		Amostrador {	Ø interno: 34.9 mm									
Nível d'água			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	Ø externo: 50.8 mm								
									Peso 65 Kg - Altura de queda 75 cm								
									CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL								
15	1	1.15	5	4					Silte arenoso pouco argiloso Marrom claro variegado Fofa (Aterro)								
	2		4	5					Areia fina e média silteosa Marrom clara variegada Pouco compacta (Aterro)								
	3		5	5													
	4	3.80	6	5					Areia média e grossa silteosa, com pedregulhos Marrom clara variegada Fofa a pouco compacta (Aterro)								
	5		2	3													
10		5.86															
LIMITE DA SONDAGEM - Impenetrável em aterro																	
<table border="1"> <tr> <td colspan="2">Avanço (m)</td> </tr> <tr> <td>Trado</td> <td>0.00 a 5.86</td> </tr> <tr> <td>Lavagem</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Revestimento</td> <td>-</td> </tr> </table>										Avanço (m)		Trado	0.00 a 5.86	Lavagem	-	Revestimento	-
Avanço (m)																	
Trado	0.00 a 5.86																
Lavagem	-																
Revestimento	-																
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		INICIAL		FINAL		NFE		NFE									
24/04/2012		24/04/2012															
SIMBOLÓGIA		☒ AMOSTRA NÃO RECUPERADA		☉ AMOSTRA SHELBY		☉ AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA		NFO NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO									
		q _N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES		r _N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES+PESO BATENTE		NFE NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO											

Anexo X – Sondagem DSB1-SP-02-A Parte 1

 PBS SONDAJENS E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA Rua Itapiranga, 164 - Via Floresta Santo André - SP Cep: 09050-240 Tel/Fax: (11)4426-3581		COORDENADAS N = - E = -		
Cliente CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.				
Local DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ				
Escala: 1:100	Data: 21/05/2012	Des. - DMS	Geól. 	
Des.n° RS2012-523		Início: 26/04/2012	Término: 27/04/2012	
SONDAGEM DSB1-SP-02-A		COTA: - m.		
Cotas em relação ao R.N. Nível d'água	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm) --- 1ª e 2ª penetrações --- 2ª e 3ª penetrações	Revestimento Ø 76.2 mm Amostrador { Ø interno: 34.9 mm Ø externo: 50.8 mm Peso 65 Kg - Altura de queda 75 cm
			N° de golpes	CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL
			Gráfico 10 20 30 40	
			1ª e 2ª 2ª e 3ª	
				Silte arenoso pouco argiloso Marrom claro variegado Pouco compacto (Aterro)
				Silte arenoso Marrom claro variegado Fofo a pouco compacto (Aterro)
				Argila siltosa com pouca areia fina Marrom clara variegada Mole (Sedimentos Recentes)
				Argila siltosa Cinza clara Muito mole (Sedimentos Recentes)
				Argila orgânica siltosa Cinza escura Muito mole (Sedimentos Recentes)
				Argila siltosa Cinza clara Mole (Sedimentos Recentes)
CONTINUA NA PRÓXIMA FOLHA				
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SÍMBOLOGIA		Q _N O AMOSTRADOR PENETROU Nem SOB O PESO DAS HASTES
INICIAL	FINAL	<input checked="" type="checkbox"/>	AMOSTRA NAO RECUPERADA	P _N O AMOSTRADOR PENETROU Nem SOB O PESO DAS HASTES+PESO BATENTE
7.55	6.14	<input checked="" type="checkbox"/>	AMOSTRA SHELBY	
26/04/2012	26/04/2012	<input checked="" type="checkbox"/>	AMOSTRA SHELBY NAO RECUPERADA	
		NFO	NÍVEL D'ÁGUA NAO FOI OBSERVADO	NFE NÍVEL D'ÁGUA NAO FOI ENCONTRADO

Anexo XI – Sondagem DSB1-SP-02-A Parte 2

PBS		PBS SONDAJENS E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA			COORDENADAS					
		Rua Rapiranga, 194 - Via Floresta Santo André - SP Cep: 09050-240. Tel/Fax: (11)4426-3551			N = - E = -					
Cliente: CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.										
Local: DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ										
Escala: 1:100		Data: 21/05/2012		Des.: DMS	Geol.:	Des.nº: RS2012-523				
SONDAGEM		DSB1-SP-02-A		COTA: - m.		Início: 26/04/2012	Término: 27/04/2012			
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração: (golpes/30cm)				Revestimento Ø 76.2 mm			
			Nº de golpes		Gráfico		Amostrador { Ø interno: 34.9 mm Ø externo: 50.8 mm			
Nível d'água			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20	30	40	Peso 65 Kg - Altura de queda 75 cm	
									CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
	15	15.50	3	4					Argila siltosa Cinza clara Mole (Sedimentos Recentes)	
	16		7	10					Argila siltosa Marrom clara variegada Rija (Sedimentos Recentes)	
	17		7	11					Argila siltosa Marrom clara variegada Rija (Sedimentos Recentes)	
	18	17.90	15	16					Areia fina e média siltosa Cinza amarelada variegada Medianamente compacta (Sedimentos Recentes)	
-20	19	19.80	12	15					Areia fina e média siltosa Cinza amarelada variegada Medianamente compacta (Sedimentos Recentes)	
	20	20.50	3	4					Argila siltosa Cinza amarelada variegada Mole (Sedimentos Recentes)	
	21		P/35	2/30					Argila siltosa Cinza amarelada variegada Mole (Sedimentos Recentes)	
	22		P/30	2/35					Argila siltosa Cinza amarelada variegada Mole (Sedimentos Recentes)	
	23	23.50	2/45	1/20					Argila siltosa Cinza escura Muito mole a mole (Sedimentos Recentes)	
	24	23.90	5	8					Argila siltosa Cinza escura Muito mole a mole (Sedimentos Recentes)	
-25	25	25.50	6	9					Areia fina e média siltosa Cinza clara Fofa (Sedimentos Recentes)	
	26		8	12					Areia fina e média siltosa Cinza clara Fofa (Sedimentos Recentes)	
	27		10	14					Argila siltosa Cinza clara Média (Sedimentos Recentes)	
	28	28.60	10	16					Argila siltosa Cinza clara Média (Sedimentos Recentes)	
	29		14	20					Silt argiloso pouco arenoso Cinza claro variegado Rijo (Solo de Alteração de Rocha)	
-30	30		17	27					Silt arenoso pouco argiloso Marrom claro variegado Compacto (Solo de Alteração de Rocha)	
CONTINUA NA PRÓXIMA FOLHA										
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)			AMOSTRA NÃO RECUPERADA		Q _N		O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES			
INICIAL	FINAL		AMOSTRA SHELBY		R _N		O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-PESO BATENTE			
7.55	6.14		AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA		NFO		NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO			
26/04/2012	28/04/2012		NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO		NFE		NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO			

Anexo XII – Sondagem DSB1-SP-03 Parte 1

 PBS SONDAGENS E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA Rua Itapiranga, 194 - Vila Floresta Santo André - SP Cep: 09050-240 Tel/Fax: (11)4426-3581		COORDENADAS N = 7.611.994,8448 E = 248.256,2046	
Cliente CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.			
Local DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ			
Escala: 1:100	Data: 21/05/2012	Des. = DMS	Geól. 
Sondagem DSB1-SP-03		Cota: 16.084 m.	Des.n° RS2012-524
Início: 25/04/2012		Término: 26/04/2012	
Cotas em relação ao R.N. Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm) --- 1ª e 2ª penetrações ——— 2ª e 3ª penetrações	
Nível d'água		N° de golpes 1ª e 2ª 2ª e 3ª	Gráfico 10 20 30 40
15 10,494 10 5	2.10 5.50 6.80 7.90	9 7 5 5 4 2 2/45 P/45 P/47 P/51 P/45 P/35 P/45 P/45 1/45	13 11 7 8 7 3 1/15 1/30 1/27 1/30 2/35 1/25 1/30
Revestimento Ø 76.2 mm Amostrador { Ø interno: 34.9 mm Ø externo: 50.8 mm Peso 65 Kg - Altura de queda 75 cm			
CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL			
Silte arenoso pouco argiloso Marrom claro variegado Medianamente compacto (Aterro)			
Argila siltosa com pouca areia fina Marrom clara Média a rija (Aterro)			
Argila siltosa com pouca areia fina Marrom clara variegada Mole (Sedimentos Recentes)			
Argila siltosa Cinza clara Muito mole (Sedimentos Recentes)			
Argila orgânica siltosa Cinza escura Muito mole (Sedimentos Recentes)			
CONTINUA NA PRÓXIMA FOLHA			
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SIMBOLOGIA	
INICIAL	FINAL	 AMOSTRA NÃO RECUPERADA	G N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES
7.53	5.59	 AMOSTRA SHELBY	P N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES+PESO BATENTE
25/04/2012	27/04/2012	 AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA	NFE NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO
		NFO NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO	

Anexo XIII DSB1-SP-03 Parte 2

PBS		PBS SONDAGENS E PERFURAÇÕES DE SOLOS LTDA Rua Rapiranga, 194 - Vila Floresta Santo André - SP Cep: 09050-240 Tel/Fax: (11)4426-3381			COORDENADAS N = 7.611.994,8448 E = 248.256.2046			
Cliente CONSTRUTORA NORBERTO ODEBRECHT S.A.								
Local DIQUE SANTA BARBARA 1 - CAMPOS/RJ								
Escala: 1:100		Data: 21/05/2012		Des. = DMS	Geol.	Des.n° RS2012-524		
SONDAGEM DSB1-SP-03			COTA: 16.084 m.		Início: 25/04/2012	Término: 26/04/2012		
Cotas em relação ao R.N.	Amostra	Profundidade da camada (m)	Penetração : (golpes/30cm)				Revestimento Ø 76.2 mm	
			--- 1ª e 2ª penetrações ——— 2ª e 3ª penetrações				Amostrador { Ø interno: 34.9 mm Ø externo: 50.8 mm Peso 65 Kg - Altura de queda 75 cm	
Nível d'água			N° de golpes		Gráfico		CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL	
			1ª e 2ª	2ª e 3ª	10	20		30
0	15	15.80	1/45				Argila orgânica siltosa Cinza escura Muito mole (Sedimentos Recentes)	
	16		5	6				
	17		6	8			Argila siltosa Cinza clara Média (Sedimentos Recentes)	
	18	17.90	5	8				
	19		5	7			Areia fina e média siltosa Cinza amarelada variegada Pouco compacta (Sedimentos Recentes)	
	20	19.80	5	6				
-5	21	20.60	2/48	1/20			Argila com areia fina Cinza amarelada variegada Muito mole (Sedimentos Recentes)	
	22		2/40	2/30				
	23		2/45	1/20			Argila siltosa Cinza escura Mole (Sedimentos Recentes)	
	24		2	2				
	25		2	3				
-10	26	26.50	3	4				
	27	26.90	16	11			Areia fina siltosa Cinza clara Pouco compacta (Sedimentos Recentes)	
	28		4	6				
	29		10	18			Areia fina e média siltosa, com pedregulhos Cinza clara variegada Pouco compacta a medianamente compacta (Sedimentos Recentes)	
	30		10	17				
CONTINUA NA PRÓXIMA FOLHA								
PROFUNDIDADE DO NÍVEL D'ÁGUA (m)		SIMBOLOGIA		AMOSTRA NÃO RECUPERADA		Q _N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES		
INICIAL	FINAL		AMOSTRA SHELBY		Q _N O AMOSTRADOR PENETROU Ncm SOB O PESO DAS HASTES-PESO BATENTE			
7.53	5.59		AMOSTRA SHELBY NÃO RECUPERADA		NFE NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI ENCONTRADO			
25/04/2012	27/04/2012		NÍVEL D'ÁGUA NÃO FOI OBSERVADO					

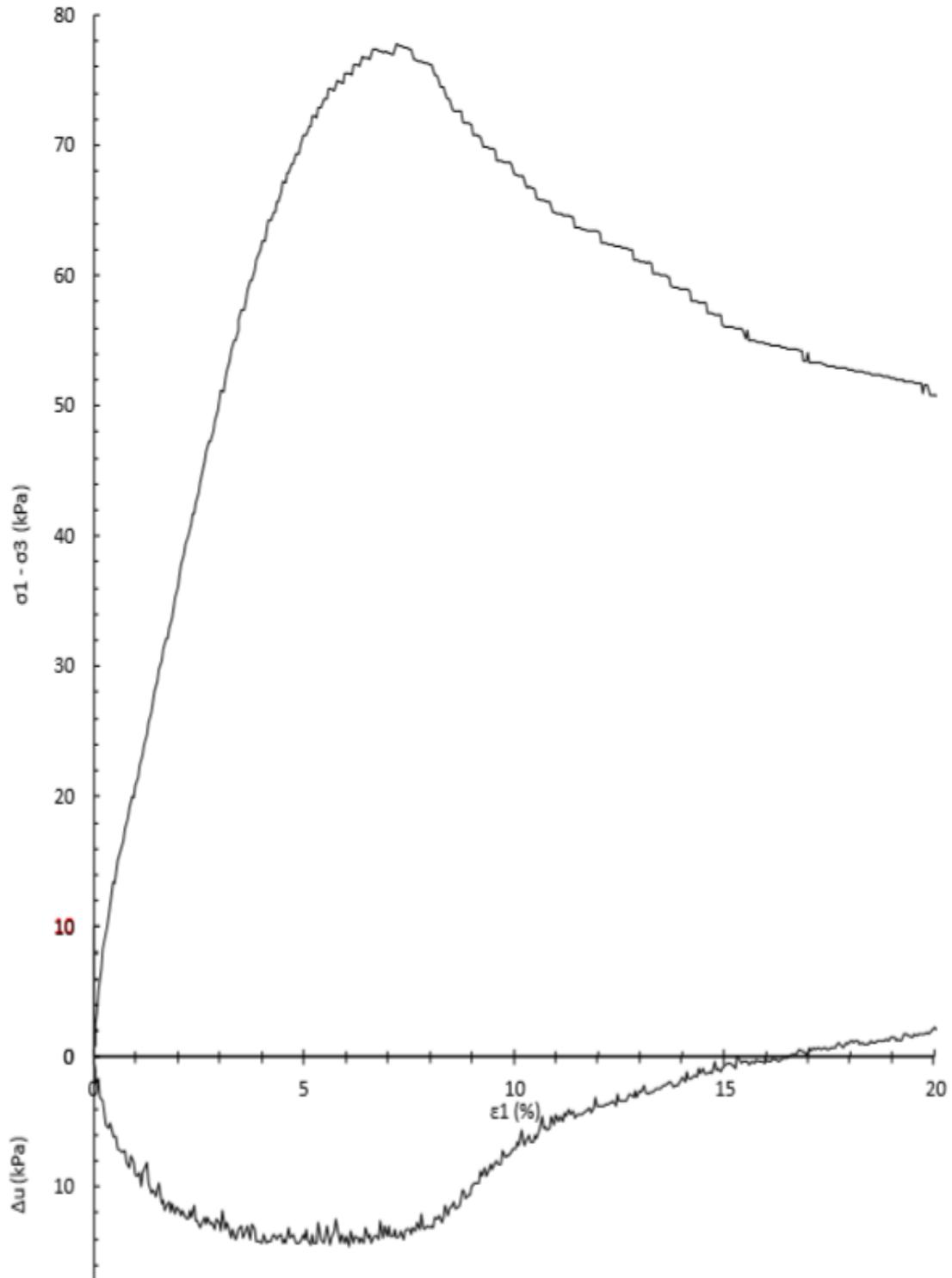
Anexo XIV – Ensaio triaxial UU em amostra da fundação do Dique Santa Bárbara I



UENF

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

**CCT
LECIV**



Anexo XV – Ensaio de cisalhamento direto em amostra indeformada do Dique Santa Bárbara I

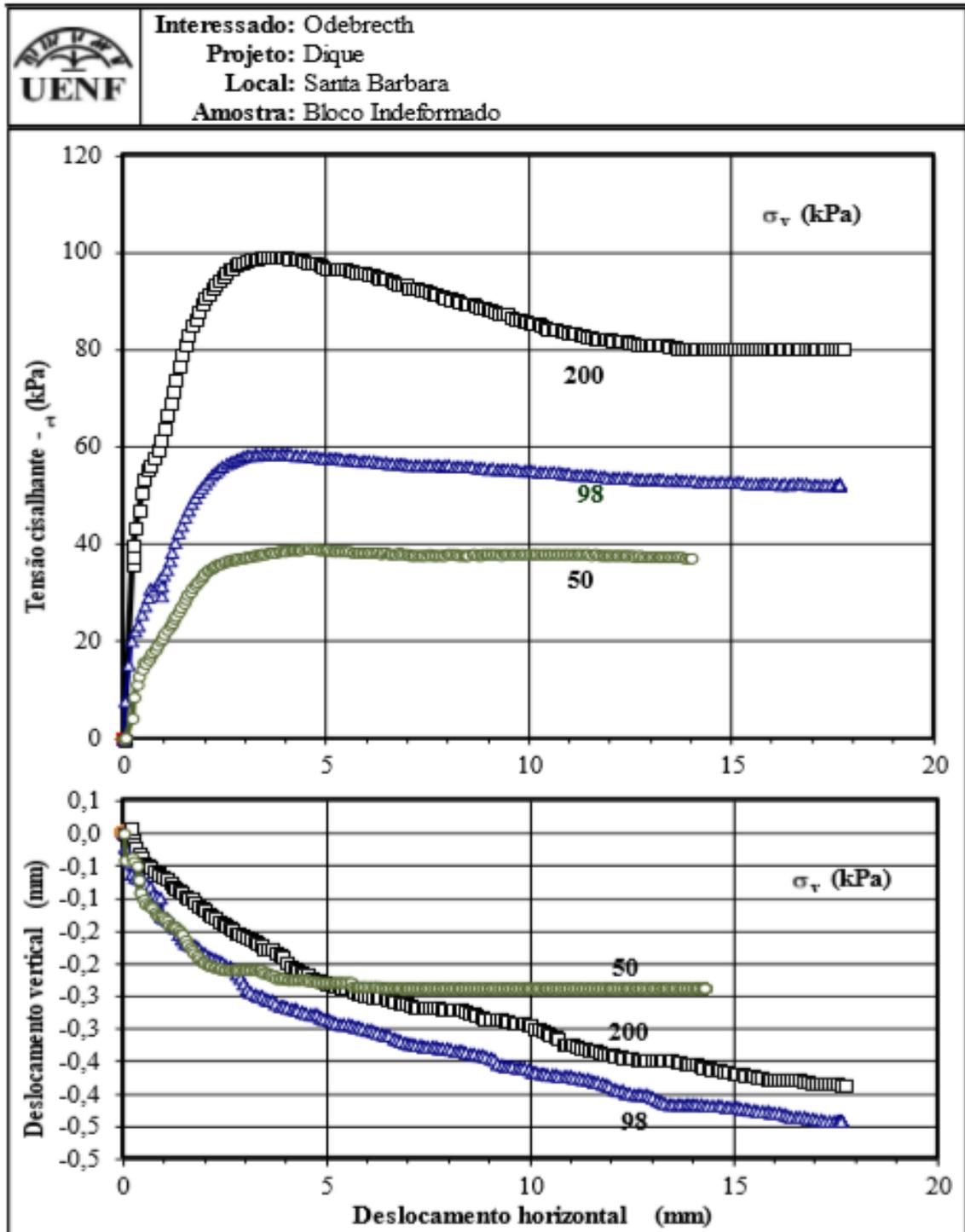


UENF

Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro

**CCT
LECIV**

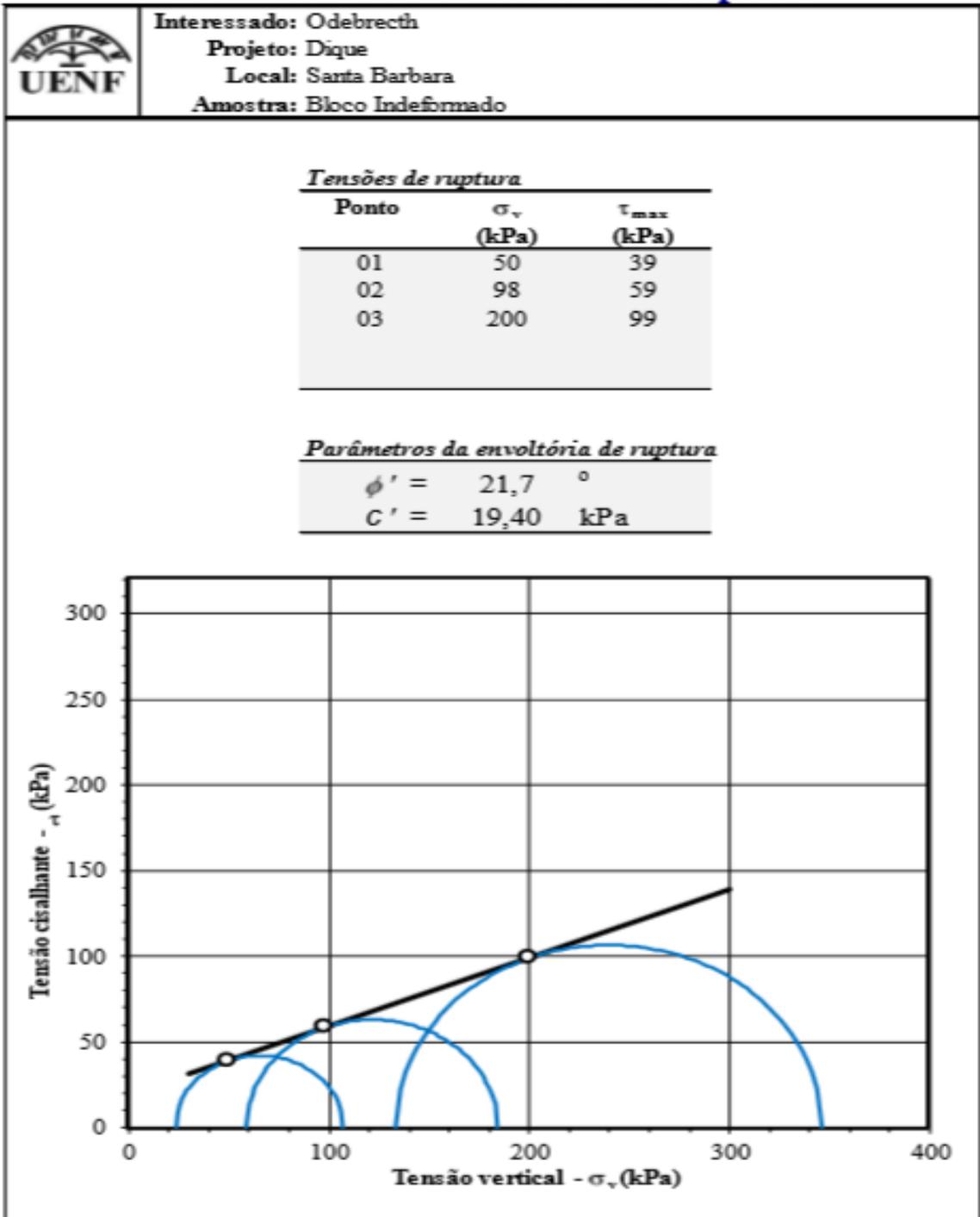
Ensaio de Cisalhamento Direto
Curvas τ vs. Desl. Horiz. e Desl. Vert. vs. Desl. Horiz.



Anexo XVI – Estimativa de envoltória de ruptura Amostra indeformada do Dique Santa Bárbara I



**Ensaio de Cisalhamento Direto
Estimativa da Envoltória de Ruptura**

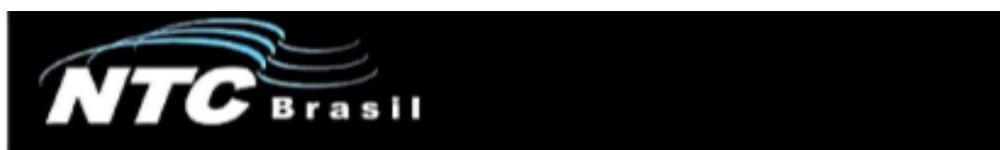


Anexo XVII – Sistema unificado de classificação dos solos - SUCS

SISTEMA UNIFICADO DE CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS – SUCS

TABELA III - Classificação Unificada dos Solos						
Processo para identificação no campo				Grupo	Designação característica	
SOLOS DE GRANULAÇÃO GROSSA Mais de metade é maior que a abertura da peneira de malha n.º 40	PEDREGULHOS Mais de metade da fração grosseira é maior que a # n.º 10	PEDREGULHOS Puros (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	GW	Pedregulhos bem graduados, misturas de areia e pedregulho com pouco ou nenhum fino.	
			Predominância de um tamanho de grão ou graduação falhada (ausência de alguns tamanhos de grão)	GP	Pedregulhos mal graduados, misturas de pedregulho e areia com pouco ou nenhum fino.	
		PEDREGULHOS COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH).	GF	Pedregulhos siltosos, misturas de pedregulho, areia e silte mal graduados.	
			Finos plásticos (CL ou CH)	GC	Pedregulhos argilosos, misturas de pedregulho, areia e argila bem graduados.	
	AREIAS Mais que metade da fração grosseira menor que a # n.º 10	AREIAS Puras (pouco ou nenhum fino)	Grãos cobrindo toda a escala de granulação com quantidade substancial de todas as partículas intermediárias	SW	Areias bem graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.	
			Predominância de um grão ou graduação falhada	SP	Areias mal graduadas, areias pedregulhosas, com pouco ou nenhum fino.	
		AREIA COM FINOS (apreciável quantidade de finos)	Finos não plásticos (ML ou MH)	SF	Areias siltosas, misturas mal graduadas de areia e silte.	
			Finos plásticos (CL ou CH ou OH)	SC	Areias argilosas, misturas bem graduadas de areia e argila.	
SOLOS DE GRANULAÇÃO FINA Mais que a metade do material é menor que a abertura de malha da # 200	Processo de identificação executado sobre a fração < # n.º 40				A abertura da malha # n.º 200 corresponde aproximadamente à menor partícula visível a olho nu	
	ENSAIO EXPEDITO →	RESISTÊNCIA a SECO (esmagamento pelos dedos)	DILATÂNCIA (DILAÇÃO)	RIGIDEZ (consistência na proximidade do LP)		
	SILTES E ARGILAS Limite de Liquidez menor que 50	nenhuma a pequena	rápida a lenta	nenhuma	ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, alteração de rocha, areias finas, siltosas ou argilosas com pequena plasticidade.
		média a elevada	Nenhuma a muito lenta	média	CL	Argilas inorgânicas de baixa e média plasticidade, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras.
		Pequena a média	lenta	pequena	OL	Siltes orgânicos e siltes argilosos orgânicos de baixa plasticidade
	SILTES E ARGILAS Limite de liquidez maior que 50	Pequena a média	Lenta a nenhuma	Pequena a média	MH	Siltes inorgânicos, micáceos ou diatomáceos, finos arenosos ou solos siltosos, siltes elásticos.
		Elevada a muito elevada	nenhuma	elevada	CH	Argilas inorgânicas de alta plasticidade, argilas gordas.
		Média a elevada	Nenhuma a muito lenta	Pequena a média	OH	Argilas orgânicas de média e alta plasticidade
	TURFAS	Facilmente identificáveis pela cor, cheiro, porosidade e frequentemente pela textura fibrosa.			Pt	Solos com elevado teor de matéria orgânica
	<i>(forte: Milton Vargas, "Introdução à Mecânica dos Solos")</i>					

Anexo XVIII – Especificação do Geotêxtil



DADOS TÉCNICOS – GEOFORT GF-31

Por meio do presente documento, informamos que o geotêxtil não-tecido com fibras virgens, 100% poliéster, unidas mecanicamente por um processo de agulhagem, aditivadas para possuir uma maior resistência aos raios UV e sistema de qualidade que está em conformidade com a Norma NBR ISO 9001-2000 sob a referência GF-31, possui as seguintes especificações:

PROPRIEDADES	MÉTODO DE ENSAIO	UNIDADE	DIREÇÃO	VALOR
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO (Faixa Larga)	ABNT NBR 12824	kN/m	Transversal	31
			Longitudinal	27
%		Transversal	>70	
		Longitudinal	>70	
Alongamento na ruptura	ASTM D-4533	N	Transversal	770
RESISTÊNCIA AO RASGO TRAPEZOIDAL			Longitudinal	980
RESISTÊNCIA AO PUNÇONAMENTO	ABNT NBR 13359	N	-	6,00
PERMISSIVIDADE	ASTM D-4491	s-1	-	0,74
Permeabilidade Normal	ASTM D 4491	cm/s	-	0,4
TRANSMISSIVIDADE	ASTM D-4716	m ² /s	-	2,10E-05
LARGURA		m	-	2,30-4,60
COMPRIMENTO BOBINA		m	-	50
ÁREA		m ²	-	115/230

Os valores apresentados são resultados de ensaios realizados em diversos laboratórios, podendo sofrer alterações sem consulta prévia.
A NTC Brasil, não se responsabiliza por danos decorrentes de especificação e/ou instalações inadequadas.

O GEOTÊXTEL, por se tratar de um material de construção com características e funções técnicas específicas, deve ter sua indicação/utilização orientada através de projetos, que levem em consideração as particularidades de cada obra e devem ser elaborados por profissionais habilitados.

NTC DISTRIBUIDORA